

BAC

Centros de Actividad Biológica del Pacífico mexicano

Editado por:

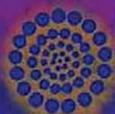
D. Lluch-Belda, J. Elourduy-Garay,
S.E. Lluch-Cota y G. Ponce-Díaz



CENTRO DE INVESTIGACIONES
BIOLÓGICAS DEL NOROESTE, S.C.



CICIMAR



CONACYT

B A C

**Centros de Actividad Biológica
del Pacífico mexicano**

**D. Lluch-Belda, J. Elorduy-Garay,
S.E. Lluch-Cota y G. Ponce-Díaz**

Editores



Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Diseño gráfico: Edgar Yuen Sánchez.

Cuidado de la edición: Edgar Yuen Sánchez, Daniel Lluch Belda, Juan F. Elorduy Garay, Salvador E. Lluch Cota y Germán Ponce Díaz.

Diseño de portada: Gerardo Rafael Hernández García.

Cuidado de la impresión: Margarito Rodríguez Alvarez, Santiago Rodríguez Alvarez y Rubén Andrade Velázquez.

Clasificación del Congreso de los E.E.U.U.

QH 541.5.S32B 2000

BAC: Centros de Actividad Biológica del Pacífico mexicano / Editado por D. Lluch-Belda, J. Elorduy-Garay, S.E. Lluch-Cota y G. Ponce-Díaz.-- México: Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., 2000. ISBN 970-18-6285-6

1. Ecología marina. 2. Oceanografía biológica. 3. Productividad marina.

D.R. © 2000

Derechos reservados conforme a la ley

Primera edición

Impreso y hecho en México

Ninguna parte de esta obra puede ser reproducida o transmitida, mediante ningún sistema o método electrónico o mecánico sin el consentimiento por escrito de los editores.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. (CIBNOR) por su apoyo para la edición e impresión del presente volumen.

Al personal del Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas que participó en la realización de esta obra.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) quien proporcionó el apoyo financiero a través del Proyecto R29374B.

Al Instituto Interamericano para el Estudio del Cambio Global (IAI), a través de la US National Science Foundation (NSF) por su apoyo en la realización de los talleres de trabajo que dieron origen a esta iniciativa (Ref. ATM-9530224).

Al Ing. Edgar Yuen Sánchez (Subdirección de Informática del CIBNOR), por su intensa participación en el diseño gráfico y cuidado de la edición, sin la cual esta obra no se hubiese podido realizar.

Al Ing. Margarito Rodríguez Alvarez, Santiago Rodríguez Alvarez y Rubén Andrade Velázquez (Taller de Impresiones del CIBNOR), por el cuidado en la impresión. A Gerardo Hernández García (Diseño Gráfico del CIBNOR) por el diseño de la portada. Finalmente, a la Lic. Ana María Talamantes Cota (Biblioteca del CIBNOR) por la clasificación del libro.

CONTENIDO

<p>CAPÍTULO 1 CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL Y CENTROS DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA <i>Mario Martínez-García & Daniel Lluch-Belda</i></p>	1
<p>CAPÍTULO 2 MODELACIÓN DE FLUJOS DE BIOMASA EN CENTROS DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA <i>Francisco Arreguín-Sánchez</i></p>	13
<p>CAPÍTULO 3 POSIBILIDADES PARA EL MONITOREO AMBIENTAL Y BIOLÓGICO EN BAC MEXICANOS COMO UNA ESTRATEGIA PARA LA PREVENCIÓN, DETECCIÓN Y MITIGACIÓN DE FLORACIONES ALGALES NOCIVAS <i>Arturo P. Sierra-Beltrán</i></p>	29
<p>CAPÍTULO 4 CENTROS DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA EN LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA <i>Daniel Lluch-Belda</i></p>	49
<p>CAPÍTULO 5 EL CENTRO DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE LA BAHÍA DE SEBASTIÁN VIZCAÍNO, UNA PRIMERA APROXIMACIÓN <i>Martín E. Hernández-Rivas, Sylvia Patricia Jiménez-Rosenberg, René Funes-Rodríguez & Ricardo J. Saldierna-Martínez</i></p>	65
<p>CAPÍTULO 6 EXPLORACIÓN DE LA CAPACIDAD PREDICTIVA DE LOS BAC EN ESPACIO Y TIEMPO: PUNTA EUGENIA Y EL SUR DE CALIFORNIA <i>Ehecatl Manuel Muñoz-Mejía, Salvador E. Lluch-Cota, Doménico Voltolina & María Verónica Morales-Zárate</i></p>	87
<p>CAPÍTULO 7 COMPARACIÓN ENTRE ZONAS DE ALTA ACTIVIDAD BIOLÓGICA EN LA COSTA OCCIDENTAL DE BAJA CALIFORNIA: PUNTA EUGENIA Y PUNTA BAJA <i>María Verónica Morales-Zárate, Salvador E. Lluch-Cota, Doménico Voltolina & Ehecatl Manuel Muñoz-Mejía</i></p>	99
<p>CAPÍTULO 8 ASPECTOS DE LA GEOQUÍMICA DEL MATERIAL ORGÁNICO EN EL BAC DEL GOLFO DE ULLOA, B.C.S. <i>Sergio Aguñiiga</i></p>	111

CAPÍTULO 9	
COMPOSICIÓN Y DINÁMICA DEL FITOPLANCTON EN EL BAC DE BAHÍA MAGDALENA, B.C.S.	125
<i>Aída Martínez-López & Gerardo Verdugo-Díaz</i>	
CAPÍTULO 10	
DINÁMICA DEL FITOPLANCTON EN EL SISTEMA LAGUNAR MAGDALENA- ALMEJAS	143
<i>Ismael Gárate-Lizárraga, David A. Siqueiros-Beltrones, Gerardo Verdugo-Díaz & Rafael Guerrero-Caballero</i>	
CAPÍTULO 11	
FLORA FICOLÓGICA DEL BAC DE PUNTA EUGENIA	157
<i>Margarita Casas-Valdez</i>	
CAPÍTULO 12	
VARIABILIDAD INTERANUAL DEL ZOOPLANCTON EN DOS CENTROS DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA DEL NOROESTE MEXICANO: RESPUESTA DE LA POBLACIÓN DE <i>Calanus pacificus</i> AL CAMBIO AMBIENTAL	165
<i>Sergio Hernández-Trujillo</i>	
CAPÍTULO 13	
COMPOSICIÓN Y ABUNDANCIA DEL ICTIOPLANCTON DEL GOLFO DE ULLOA, BAJA CALIFORNIA SUR, UN CENTRO DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA	185
<i>René Funes-Rodríguez, Martín E. Hernández-Rivas, Ricardo J. Saldierna-Martínez, Alejandro T. Hinojosa-Medina, Raymundo Avendaño-Ibarra & Sylvia P. Adelheid Jiménez-Rosenberg</i>	
CAPÍTULO 14	
BAC VERSUS ÁREAS ADYACENTES: UNA COMPARACIÓN DE LA VARIABILIDAD INTERANUAL DE PIGMENTOS FOTOSINTÉTICOS A PARTIR DEL COASTAL ZONE COLOR SCANNER (CZCS)	199
<i>Daniel B. Lluch-Cota & Georgina Teniza-Guillén</i>	
CAPÍTULO 15	
LAS POBLACIONES DE ALMEJA CATARINA <i>Argopecten ventricosus</i> EN EL CENTRO DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA DE BAHÍA MAGDALENA, MÉXICO	219
<i>Alfonso N. Maeda-Martínez, María Teresa Sicard, Liliana Carvalho, Salvador E. Lluch-Cota & Daniel B. Lluch-Cota</i>	
CAPÍTULO 16	
ANÁLISIS DE TRES VARIABLES OCEANOGRÁFICAS EN LA REGIÓN DE GUAYMAS, SONORA, MÉXICO	229
<i>Juana López-Martínez, Manuel O. Nevárez-Martínez, Armando Leyva-Contreras & Osvaldo Sánchez</i>	

CAPÍTULO 17	
SOBRE LA IMPORTANCIA DE CONSIDERAR LA EXISTENCIA DE CENTROS DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA PARA LA REGIONALIZACIÓN DEL OCEANO: EL CASO DEL GOLFO DE CALIFORNIA	255
<i>Salvador E. Lluch-Cota & Juan Pedro Arias-Aréchiga</i>	
CAPÍTULO 18	
VARIACIONES DE LOS VOLÚMENES ZOOPLANCTÓNICOS EN EL CENTRO DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA DEL GOLFO DE CALIFORNIA	265
<i>Alfonso Esquivel-Herrera, Gabriela Ma. Esqueda-Escárcega & Sergio Hernández-Trujillo</i>	
CAPÍTULO 19	
COMUNIDADES DE SIFONÓFOROS (CNIDARIA) EN EL CENTRO DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA DEL GOLFO DE CALIFORNIA	277
<i>Alfonso Esquivel-Herrera</i>	
CAPÍTULO 20	
LA PESQUERÍA DE CAMARÓN DE ALTAMAR EN SONORA	301
<i>Juana López-Martínez, Enrique Morales-Bojorques, Fausto Paredes-Mallon, Daniel Lluch-Belda & Celio Cervantes-Valle</i>	
CAPÍTULO 21	
LA PESQUERÍA DE CALAMAR GIGANTE EN BAJA CALIFORNIA SUR: INTERACCIÓN ENTRE FLUCTUACIONES DEL RECURSO, INDUSTRIA PROCESADORA, ECONOMÍA Y SOCIEDAD	313
<i>Saúl Sánchez-Hernández, Germán Ponce-Díaz & Sergio Hernández-Vázquez</i>	
CAPÍTULO 22	
EL GOLFO DE TEHUANTEPEC COMO UN CENTRO DE ACTIVIDAD BIOLÓGICA Y SU IMPORTANCIA EN LAS PESQUERÍAS	335
<i>Sofía Ortega-García, José Angel Trigueros-Salmerón, Rubén Rodríguez-Sánchez, Salvador Lluch-Cota & Héctor Villalobos</i>	
RECAPITULACIÓN	357
<i>Daniel Lluch-Belda, Juan F. Elorduy-Garay, Salvador E. Lluch-Cota & Germán Ponce-Díaz</i>	

PRÓLOGO

Prof. W.S. Wooster

School of Marine Affairs, University of Washington

The studies compiled in this volume concern a concept that arose out of international discussions in La Paz, B.C.S., Mexico, concerning variations in the abundance and distribution of small pelagic fishes and their possible relation to changes in the physical environment. Of particular interest were species of sardine and anchovy that are common to eastern boundary currents, such as those of California and Mexico, Peru, and southwest Africa, where they are nourished by the high productivity associated with the upwelling of plant nutrients.

Even in these generally productive regions, there are smaller areas where biological activity is particularly high. These areas appear to be fixed in space, tied to coastal features, and tend to show little seasonal variation in their level of productivity. They are often the locus of spawning of small pelagics and other species and of fisheries related to the aggregations of commercial species. They have been dubbed "Biological Action Centers" or BAC.

Because of their characteristics, BAC are likely to be good places to study interactions between ecosystem and climate variations and to examine the mechanisms of such interactions. It has also been proposed that they offer an opportunity to optimize monitoring of ecosystem changes, analogous to checking blood pressure and pulse as indices of human health.

The possibility of improving the efficiency of living marine resource monitoring by concentrating observations in these small areas of high biological activity was attractive to the Living Marine Resource Panel of the Global Ocean Observing System, an international program being developed by the Intergovernmental Oceanographic Commission and other international agencies. That Panel proposed a pilot study to investigate BAC and their ecosystem role, to identify existing BAC, to determine the extent to which observations in BAC could be extrapolated to surrounding areas, and to investigate the extent to which BAC provide an indication of climate change.

Under the sponsorship of Instituto Interamericano para la Investigacion del Cambio Global (IAI), several workshops were organized to explore these ideas. The papers in the present volume resulted from the first Mexican workshop on the subject. They cover a wide variety of topics based on observations in the BAC off the west coast of Mexico and in the Gulf of California and provide support for the concepts and useful suggestions for further research arising from present knowledge of the areas.

The importance of this collection of papers goes well beyond its regional focus. Not only should the approach of using indicator locations contribute to the development of efficient global monitoring of living marine resources, but it should also lead to improved understanding of interactions between climate and ecosystem variations elsewhere in the world ocean.

Los estudios compilados en este volumen tocan un concepto que nació de las discusiones a nivel internacional realizadas en La Paz, B.C.S., México, concernientes a las variaciones en la abundancia y distribución de peces pelágicos menores y su posible relación con los cambios en el ambiente físico. Fueron de interés particular las especies de sardina y anchoveta comunes a las corrientes con frontera al este, tales como las de California y México, Perú y Suroeste de África, donde son alimentadas por la gran productividad asociada con las surgencias de nutrientes de plantas.

Incluso en estas regiones generalmente productivas, existen áreas menores donde la actividad biológica es particularmente elevada. Estas áreas parecen estar fijas en el espacio, ligadas a características de la costa, y tienden a mostrar poca variación estacional en su nivel de productividad. A menudo son el lugar de desove de pelágicos menores y otras especies y de pesquerías relacionadas con las agregaciones de especies comerciales. Han sido denominadas "Centros de Actividad Biológica" o BAC (por sus siglas en inglés).

Debido a sus características, es probable que los BAC sean buenos lugares para el estudio de las interacciones entre el ecosistema y las variaciones climáticas y para examinar los mecanismos de tales interacciones. También se ha propuesto que ofrecen la oportunidad de optimizar el monitoreo de los cambios del ecosistema, de forma análoga a como se verifican la presión sanguínea y el pulso en cuanto a la salud humana.

La posibilidad de mejorar la eficiencia del monitoreo de recursos marinos vivos concentrando las observaciones en estas pequeñas áreas de elevada actividad biológica fue atractiva para el Panel de Recursos Marinos Vivos del Sistema de Observación Global de los Océanos (LMR-GOOS), un programa internacional que está siendo desarrollado por la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (IOC) y otras agencias internacionales. Dicho Panel propuso un estudio piloto para investigar los BAC y el papel de sus ecosistemas, para identificar los BAC existentes, para determinar en qué grado las observaciones en los BAC podrían ser extrapoladas a las áreas circundantes, y para investigar en qué grado los BAC proporcionan una indicación del cambio climático.

Se organizaron varias reuniones de trabajo, con el patrocinio del Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global (IAI), para explorar estas ideas. Los artículos del presente volumen son el resultado de la primera reunión mexicana sobre el tema. Cubren una amplia variedad de tópicos basados en observaciones en los BAC de la costa oeste de México y en el Golfo de California, y proporcionan bases para los conceptos y sugerencias útiles para investigaciones futuras que nazcan del conocimiento actual de tales áreas.

La importancia de esta colección de artículos va mucho más allá de su enfoque regional. No sólo la aproximación de utilizar localidades indicadoras contribuirá al desarrollo de monitoreos globales de los recursos marinos vivos eficientes, sino también deberá conducir a una mejor comprensión de las interacciones entre el clima y las variaciones del ecosistema en cualquier otro lugar del océano mundial.

16

ANÁLISIS DE TRES VARIABLES OCEANOGRÁFICAS EN LA REGIÓN DE GUAYMAS, SONORA, MÉXICO

Juana López-Martínez^{1,2}, Manuel O. Nevárez-Martínez^{3,2}, Armando Leyva-Contreras⁴ & Osvaldo Sánchez⁴

¹Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., A. P. 128. La Paz, B.C.S. México 23000. E-mail: jlopez@cibnor.mx. ²Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN). A. P. 592. La Paz, Baja California Sur, México. 23000. ³Centro Regional de Investigación Pesquera, Instituto Nacional de la Pesca. Calle 20 No. 605 sur. Centro. Guaymas, Sonora, México. 85400. ⁴Instituto de Geofísica, UNAM, C.U. México, D. F. 04510.

RESUMEN

Se presentan los resultados de un análisis espectral en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia de la temperatura, salinidad y nivel medio del mar, tres variables oceanográficas de las más usadas como indicadores de cambios ambientales en el Golfo de California para el periodo de 1952 a 1996. La información fue obtenida de la estación mareográfica de Guaymas, Sonora. Los resultados muestran una marcada estacionalidad en todas las series, con tendencia creciente en el nivel medio del mar y una tendencia a disminución en la salinidad, la cual presenta además alta heterogeneidad, mientras que la temperatura mostró una tendencia ascendente hasta 1978 y un posterior descenso hasta 1996. Los ciclos más recurrentes en las tres variables analizadas fueron el ciclo de 2.5 años que pudiera ser el reflejo (alterado) del ciclo cuasi bienal de la circulación estratosférica, relacionados con la actividad solar; y el ciclo de 3.5 años, posiblemente relacionado con eventos de larga escala espacial como el evento El Niño. Adicionalmente la temperatura y el nivel medio del mar mostraron un ciclo de 11-12 años posiblemente relacionado a procesos astronómicos como las manchas solares. La temperatura mostró además un ciclo de 45 años, del cual deberá ser explorado el mecanismo causal.

Palabras clave: Temperatura, Salinidad, Nivel del mar, Ciclos, Golfo de California.

ABSTRACT

Results are presented of an spectral analysis in the dominion of time and in

the dominion of the frequency of temperature, salinity and mean sea level, three of the oceanographic variables most used as indicators of environmental changes in the Gulf of California for the period from 1952 to 1996. The information was obtained from the mareographic station of Guaymas, Sonora. Results show a marked seasonality in all series, with an increasing tendency in the mean sea level, and a tendency to decrease in salinity, which also shows a high heterogeneity. Meanwhile temperature showed an ascending tendency to 1978, and a later decrease to 1996. The most recurrent cycles in the three analyzed variables were the cycle of 2.5 years which could be the reflection (altered) of the quasi biennial cycle of stratospheric circulation, related to solar activity. The 3.5 years cycle, possibly related to large spatial scale events, such as El Niño event. Additionally, temperature and mean sea level showed a 11 – 12 years cycle possibly related to astronomic processes such as the solar spots. Temperature also showed a 45 years cycle the causal mechanism of which should be explored.

Key words: Temperature, Salinity, Sea level, Cycles, Gulf of California.

INTRODUCCIÓN

El impacto de la variabilidad ambiental sobre la distribución y abundancia de los recursos marinos ha sido conocido por los pescadores por centurias y sólo recientemente ha sido descubierta o reconocida por la ciencia y categorizada en diferentes escalas temporales y espaciales; éstas abarcan, desde movimientos pequeños de las poblaciones (migraciones), que pueden estar relacionados con fluctuaciones de pequeña escala en el ambiente, cambios interanuales y en escala de décadas y de cuenca, que impactan a todo el ecosistema (Smith, 1978; Sharp, 1978; McCleave *et al.*, 1984; Mendelsohn & Cury, 1987; Aebischer *et al.*, 1990; Ebbesmeyer *et al.*, 1991; Polovina *et al.*, 1994; Beamish, 1995; Polovina, 1996). Estos cambios no sólo afectan la distribución y abundancia de los recursos, sino que tienen efectos a nivel fisiológico, en procesos tan importantes como son la reproducción, la supervivencia larval, el crecimiento, la mortalidad y el reclutamiento (Del-Valle-Lucero, 1989; Gracia, 1989a, b; Cushing, 1990; Farrell *et al.*, 1991; Hannah, 1993; Pineda, 1994; Criales & Lee, 1995). Como es natural, todos estos procesos repercuten en las capturas (Barrett & Ralph, 1977; Castello & Moller, 1978; Hettler & Chester, 1982; Da-Silva, 1986; Mendo & Tam, 1993; Sheridan, 1996).

Si bien, se ha reconocido el efecto del ambiente en los organismos, sólo recientemente el tema ha cobrado importancia y aún así la mayor parte de los estudios se centran en el efecto de cambios ambientales de corta escala. Aunque se reconoce la influencia de la variabilidad en el ambiente de larga escala, el principal problema para su estudio es la dificultad de encontrar series de datos cuya extensión permita analizar esta variabilidad (Del-Valle-Lucero, 1989). Entre otras, la temperatura del agua, la salinidad y el nivel medio del mar, son las variables del ambiente que más se observan o miden en la práctica oceanográfica y a las que se puede recurrir más frecuentemente para el estudio

de la influencia del medio ambiente en los ecosistemas acuáticos y las pesquerías. Históricamente, la temperatura y la salinidad han sido vistas como las variables del medio ambiente de mayor interés cuando se examinan las fluctuaciones de las pesquerías. Por otra parte, el nivel medio del mar a sido considerado un indicador confiable de eventos de larga escala espacial como El Niño (Robles & Marinone, 1987), cambios en la profundidad de la capa de mezcla, la entrada de ondas internas (Merrefield & Winant, 1989; Thunell *et al.*, 1996) y de otros fenómenos de carácter regional, cada uno de ellos con fuertes implicaciones en la distribución de los organismos acuáticos.

Con base en lo anterior, el presente trabajo es una primera aproximación al análisis de los patrones de variabilidad de estas tres variables oceanográficas, mediante el uso de series de tiempo, tanto en el dominio del tiempo (función de autocorrelación) como en el de la frecuencia (función de densidad espectral).

Características climáticas atmosféricas de la región

Debido a que la porción septentrional del país se encuentra en el cinturón de altas presiones del hemisferio norte, una buena parte del territorio nacional, el 52% según Schmidt (1989), lo constituyen zonas áridas y semiáridas. La región del noroeste mexicano, donde se ubica el Desierto de Sonora, cuenta con la influencia de la celda semipermanente de alta presión del Pacífico nororiental y de la corriente oceánica fría de California, con un componente importante que influye en el clima de su margen oriental, el Golfo de California (Hastings & Turner, 1965; García & Mosiño, 1968; Salinas-Zavala *et al.*, 1998).

De acuerdo a la clasificación de Köppen, modificada por García (1964), el tipo de clima prevaleciente en la región es el BWhw, que corresponde a clima seco desértico, con heladas ocasionales y dos temporadas de lluvias muy marcadas. La temperatura promedio anual del aire en superficie para la región de Guaymas es de 24.8 °C, presentándose temperaturas medias mensuales por arriba de los 18 °C (Tabla 1), que siguen la tendencia de la curva de insolación anual (García 1974). La precipitación pluvial anual media para la región es de 231.3 mm, con un período de lluvias de 27 días al año y una precipitación máxima en 24 horas de 150 mm, presentándose la media mensual más baja en abril y la máxima en agosto, con 1.7 mm y 66.7 mm, respectivamente. Los valores mensuales de precipitación varían con respecto al valor medio anual de precipitación, dependiendo de la influencia de fenómenos de diverso origen, como son las vaguadas polares que traen consigo frentes fríos en el invierno, además de las tormentas extratropicales, los eventos ciclónicos de origen tropical y lo que se conoce como la circulación monzónica de verano (Serra, 1971; Hales, 1972; Latorre & Penilla, 1988; Reyes & Cadet, 1988).

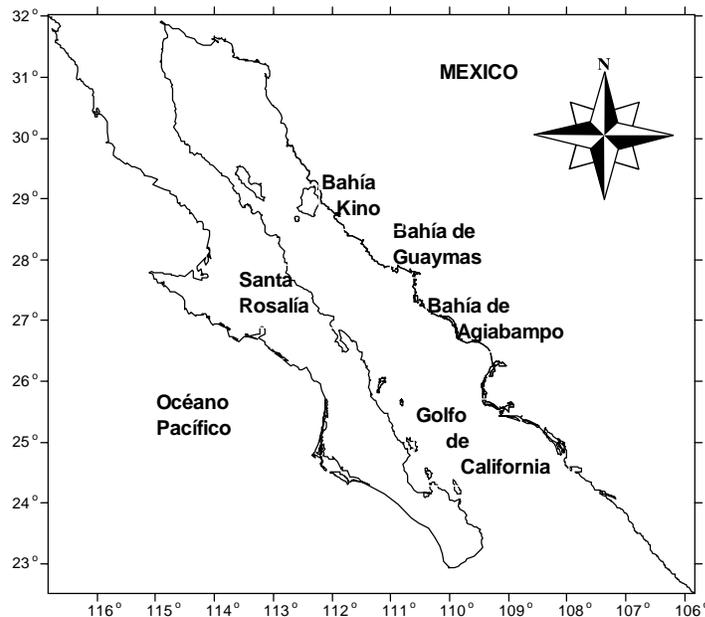
La evaporación anual mínima es de 0.01 mm y máxima de 21.6 mm y los vientos dominantes son del oeste-noroeste, en invierno, y durante el verano son del sur-suroeste con menor intensidad. La incidencia ciclónica es poca, con mayor riesgo relativo en septiembre, ya que durante este tiempo pueden presentarse trombas ó ciclones de diferentes intensidades.

Tabla 1. Temperatura del aire y precipitación pluvial media mensual en la Bahía de Guaymas

MES	Temperatura ambiental (°C)	Precipitación pluvial (mm)
Enero	18.0	12.7
Febrero	19.2	5.5
Marzo	20.8	4.1
Abril	23.3	1.7
Mayo	26.2	1.9
Junio	29.3	2.0
Julio	31.0	45.0
Agosto	30.9	66.7
Septiembre	30.2	45.0
Octubre	27	18.9
Noviembre	22.5	8.4
Diciembre	19.2	19.5

Características del ambiente oceánico

El Golfo de California, en el cual se encuentra el Puerto de Guaymas, es un mar marginal del Océano Pacífico limitado por la península de Baja California en el oeste y el continente mexicano en el este (Fig. 1). Tiene una longitud de 1,000 km y una anchura promedio de 150 km. Debido al exceso de evaporación sobre la precipitación se le ha caracterizado como una gran cuenca de evaporación, con un gran rango anual de temperaturas y salinidades relativamente altas (Roden, 1954; Robles & Marinone, 1987; Bray, 1988; Lavín *et al.*, 1997).

**Figura 1.** Bahía de Guaymas en el Golfo de California, México.

Hidrológicamente se ha dividido al golfo en tres regiones principales: 1) la región norte, comprendida entre la boca del Río Colorado y la Isla Tiburón, que se caracteriza por ser una zona somera con profundidad promedio de 200 m y amplios rangos de variación de temperatura, salinidad y de marea; 2) la región central, localizada entre la Isla Tiburón y Topolobampo, que es una zona profunda con comunicación directa con el Océano Pacífico y que presenta un rango amplio de variación de la salinidad, y 3) la región sur comprendida entre Topolobampo y Cabo Corrientes, región que se caracteriza por presentar profundidades mayores de 3000 m y por ser el punto de convergencia de tres masas de agua superficial con características fisicoquímicas diferentes: a) agua fría de la Corriente de California de baja salinidad, que fluye hacia el sur a lo largo de la costa Oeste de Baja California; b) agua cálida del Pacífico Tropical oriental de salinidad intermedia que fluye en el área del sureste y c) agua cálida del Golfo de California de alta salinidad (Rodén, 1958; Rodén & Groves, 1959; Bray, 1988; Lavín *et al.*, 1997).

La intensa fuerza de mareas, los vientos, la radiación solar, junto con la interacción con el Océano Pacífico abierto, crean una vigorosa circulación en el golfo. Esta circulación interactúa con la profundidad variable para crear un complejo espectro de energía cinética, limitado en tiempo principalmente a periodos menores de un mes (Badán-Dangón *et al.*, 1985). Usando imágenes de satélite Fu & Holt (1984) describieron trenes de olas internas sobre los umbrales de la Cuenca Tiburón y el Canal de Ballenas, con amplitudes de 50 m y atribuyeron el origen de éstas olas al amplio rango de mareas (4m). Así mismo se han descrito parches constantes de agua fría en el Canal de Ballenas, delineados por un sistema de frentes cuya configuración depende de la dirección de los vientos locales, así como plumas de agua fría de surgencias que atraviesan la parte sur del golfo (Badán-Dangón *et al.*, 1985).

La circulación general del golfo se caracteriza por una entrada de agua profunda y una salida de agua superficial (Gilbert & Allen, 1943). Bray (1988) propuso un patrón de circulación de tres capas: flujo hacia afuera entre los 50-250 m, entrada entre los 250-500 m y una capa superficial en la que la dirección del transporte cambia con las estaciones a gran escala en función de los vientos. Se ha observado que el flujo superficial promedio entre febrero y abril es hacia afuera del golfo (Wyllie, 1966) y que la mayor parte de éste flujo sale a lo largo de la costa de Baja California (Rosas-Cota, 1976; Lavín *et al.*, 1997). En junio, el flujo superficial se revierte, entrando al golfo a través de la boca, principalmente por la parte central y este, y persiste hacia el norte como una corriente que cambia hacia el este en agosto (Rosas-Cota, 1976).

Las surgencias, determinadas por la divergencia del transporte de Ekman, son más fuertes a lo largo del lado este del golfo durante invierno y principios de primavera, época en la que predominan los vientos del noroeste. Durante verano y principios de otoño, el régimen de vientos predominante es del sureste y las surgencias se presentan en el lado oeste del golfo, siendo menos intensas que en el invierno-primavera (Badán-Dangón *et al.*, 1985). Estos procesos causan una excepcional productividad del fitopláncton, con tasas en el golfo comparables

a las de la Bahía de Bengala o las áreas de surgencia de la costa oeste de Baja California o noroeste de África (Valdez-Holguín & Lara-Lara, 1987).

En el Golfo de California ocurren procesos de mezcla por efecto de vientos, surgencias (Roden, 1954) y diversos fenómenos oceánicos y atmosféricos inducen la formación de ecosistemas únicos (Brinton *et al.*, 1986) con una fuerte influencia regional, que exacerba la climatología característica del Noroeste Mexicano. La circulación superficial en la costa de Sonora y Sinaloa está influenciada además del patrón de vientos estacionales, por ondas internas que viajan a lo largo de la costa y que tienen su origen en los centros de baja presión comunes en el área cercana a Manzanillo, Colima y que originan tormentas y ciclones, muchos de los cuales viajan por la costa y se desvían en dirección NW o NE cerca de la boca del Golfo y que originan que dichas ondas internas queden atrapadas (Merrefield & Winant, 1989). Estas ondas pueden originar una diferencia en el nivel medio del mar de hasta 20 cm y un abatimiento en la profundidad de la termoclina de hasta 10 m.

La Bahía de Guaymas

En el eje central del Golfo de California se localiza la Cuenca de Guaymas, que es una depresión alargada en posición NW-SE, con su porción más amplia a la altura del Sur del Puerto de Guaymas (Rusnack & Fisher, 1964). La Bahía de Guaymas está localizada en el Estado de Sonora alrededor de los 27° 31'20" de latitud norte y los 110° 59'07" longitud oeste (Fig. 1). Cuenta con una superficie aproximada de 39.5 km², una profundidad promedio de 8.5 m y esta comunicada con la parte central del Golfo de California por una entrada de 1.2 km de ancho situada al sur (Díaz & Ruvalcaba, 1969). La amplitud de la marea es de 0.46 m y el tipo de marea característico de la región es mixta, aunque algunos autores la consideran diurna (Anónimo, 1995).

METODOLOGÍA

Con la finalidad de dar seguimiento a algunas condiciones oceanográficas relevantes, el Servicio Mareográfico del Instituto de Geofísica de la UNAM ha mantenido 12 estaciones mareográficas en el Pacífico mexicano y Golfo de California, una de ellas localizada en la Bahía de Guaymas, Sonora. Dicha estación mareográfica se encuentra operando desde 1952 y los datos que aquí se analizan corresponden a los valores medios mensuales para el periodo de 1952 a 1989 (38 años) del nivel del mar (en pies), referidos al cero de la regla de marea, así como promedios mensuales de temperatura (medida en grados centígrados; periodo 1952-1995, 44 años) y salinidad (medida en partes por mil; periodo 1952-1990, 39 años) de la capa de agua superficial. Los datos mareográficos fueron tomados con un mareógrafo de gráfica continua y la temperatura y salinidad del agua de mar se obtuvieron por mediciones realizadas con un termómetro y un hidrómetro de muestras de agua *in situ*. La salinidad del agua de mar, definida como el número de gramos de sal contenida en 1,000 gramos de agua de mar se obtuvo en base a la densidad media obtenida con el

hidrómetro y reducida a una temperatura estándar de 15 °C.

Las series de tiempo de las variables analizadas tenían omisiones que iban de un mes a dos y medio años. Con la finalidad de tener las series de tiempo completas, las omisiones fueron estimadas de la siguiente manera: para el caso en que faltaba sólo un mes, el valor se obtuvo por interpolación tomando en cuenta los valores de los meses vecinos, así como el valor de ese mes en el año anterior y el año posterior. Para el caso de omisiones en periodos de tiempo más largos, el valor de cada mes se obtuvo a través de interpolación siguiendo el comportamiento gráfico de cada mes en particular, a lo largo de toda la serie de tiempo. Es decir, se reprodujo la curva anual promedio, pero apoyada en los meses con datos observados en el año correspondiente. Para probar la confiabilidad de los valores estimados, se efectuó una prueba de independencia de X^2 entre la distribución de frecuencias de los datos observados y los calculados, no encontrando diferencias significativas entre ambas distribuciones ($X^2=5$; $p>0.05$).

Una vez rellenas las series de datos, se realizó un análisis exploratorio gráfico con la finalidad de observar si presentaban tendencia, estacionalidad y datos anómalos, además de caracterizar el ciclo anual promedio. Para la determinación de la estacionalidad se utilizó una prueba de rangos múltiples entre el valor promedio de los meses (Sokal & Rolf, 1981), que demostró que los datos podían ser agrupados en dos estaciones: invierno y verano. Para quitar la estacionalidad a las series (debido a que la varianza en los datos inducida por la estacionalidad es la más dominante de las diversas fuentes de variación total en las tres series), en base a los resultados de las pruebas de rangos múltiples, cada serie (temperatura, salinidad y nivel medio del mar) fue separada en dos sub-series (promedio de los meses de verano y de invierno de cada año).

Con la finalidad de transformar a cada una de esas sub-series de no-estacionarias a estacionarias y poder aplicar así los diversos análisis de series de tiempo (que están básicamente desarrollados para series estacionarias), se eliminó la tendencia de las series mediante una diferenciación de primer orden (Box & Jenkins, 1970; Chatfield, 1992), donde las nuevas series son formadas de las originales $\{x_1, \dots, x_N\}$ por

Con la finalidad de describir la evolución de las variables analizadas a través del tiempo (análisis en el dominio del tiempo) se aplicó la función de

$$y_t = x_{t+1} - x_t = \nabla x_{t+1}$$

autocorrelación, la cual mide la correlación entre observaciones de la misma serie a diferentes distancias, de acuerdo a la siguiente ecuación:

En donde:

El error estándar al retraso k es

donde:

$$r_k = \frac{C_k}{C_0}$$

$$C_k = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-k} (y_t - \bar{y})(y_{t+k} - \bar{y})$$

$$\bar{y} = \frac{\left(\sum_{t=1}^n y_t \right)}{n}$$

y_t = observación al tiempo t

$$k = \sqrt{\frac{1}{n} \left\{ 1 + 2 \sum_{v=1}^{k-1} r_v^2 \right\}}$$

n = numero de observaciones

c_k = coeficiente de autocovarianza al retraso k

r_k = coeficiente de autocorrelación al retraso k

Posteriormente se calculó la función de densidad espectral (periodograma) usando la Transformada Rápida de Fourier (FFT), en donde el valor de la

$$I(f_i) = \frac{n}{2} (a_i^2 + b_i^2)$$

ordenada a cada frecuencia f_i esta dado por:

Donde:

que describe como la variación en el tiempo puede ser explicada por componentes cíclicos en diferentes frecuencias (análisis en el dominio de la

$$a_i = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n y_t \cos(2\pi f_i t)$$

$$f_i = \frac{i}{n}$$

$$b_i = \frac{2}{n} \sum_{t=1}^n y_t \sin(2\pi f_i t)$$

frecuencia; Chatfield, 1992). Todos los cálculos fueron efectuados con el paquete estadístico STATGRAPHICS PLUS v. 1.1.

RESULTADOS

Las series de tiempo de temperatura superficial del mar, nivel medio del mar y salinidad mostraron estacionalidad muy marcada (Figs. 2 y 4), además de una obvia tendencia (Fig. 3), que en el caso de la temperatura muestra incremento sostenido de 1950 a 1977 y un posterior descenso desde 1978 en adelante. Igualmente resalta una mayor variabilidad para los años 50s y los 90s, o sea, la parte inicial y terminal de la serie. En el caso de la salinidad la serie muestra una franca tendencia a la disminución, mostrando un punto de quiebre de la serie en los años de 1979-1880, además de mostrar un incremento en la estacionalidad en la serie, lo cual hizo necesario separar la serie en dos periodos. El nivel medio

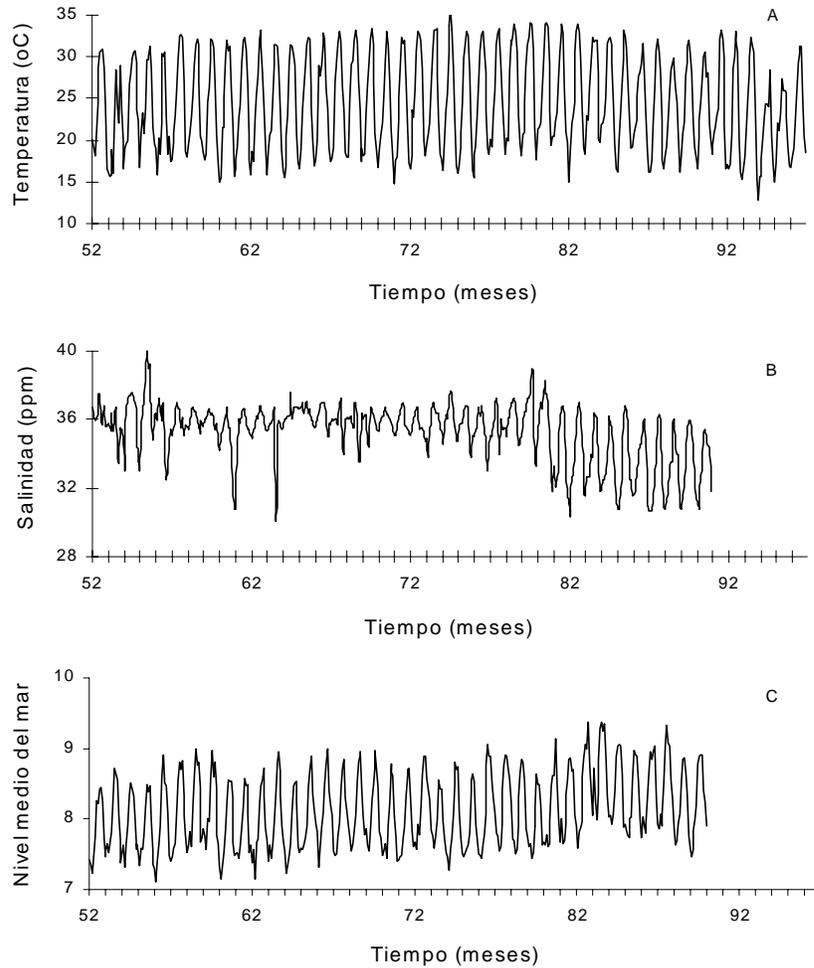


Figura 2. Series de tiempo de temperatura (A), salinidad (B) y nivel medio del mar (C) en Guaymas, Sonora.

del mar por otra parte mostró una tendencia a incrementarse en forma sostenida (Fig. 3).

Con respecto a los meses que se agruparon para cada estación, estos fueron los mismos para las tres variables, excepto en el caso del nivel medio del mar, variable en la que la estación invernal fue de enero a marzo en lugar de diciembre a febrero (Fig. 4c y Tabla 2). La salinidad mostró un punto de quiebre en la serie en 1979-1980, hecho que hizo necesario separar la serie original en dos periodos para su análisis (Tabla 2).

Los correlogramas indican que las series de tiempo analizadas tienen un comportamiento aleatorio, si bien las subseries de temperatura de invierno, y las

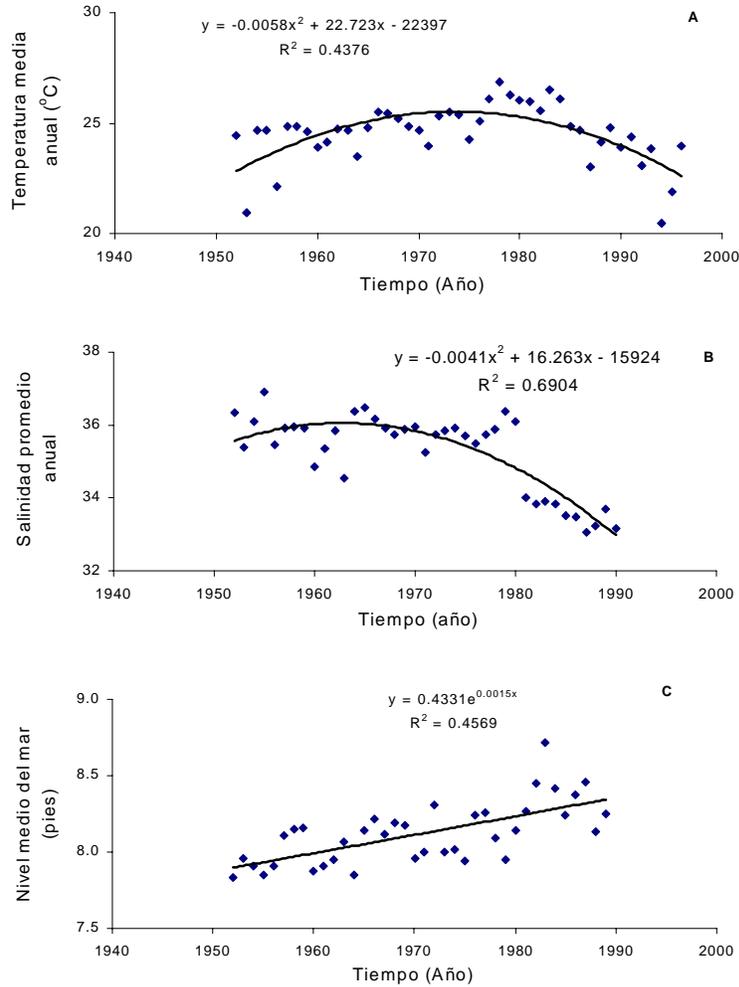


Figura 3. Tendencia de la temperatura (A), salinidad (B) y nivel medio del mar (C) en Guaymas, Sonora.

de salinidad y nivel medio del mar de verano muestran una correlación significativa de corto término (Tabla 2; Anexo).

Por otra parte, los periodogramas indicaron que el nivel medio del mar presenta ciclos de 3.6 y 2.1 años, si bien la señal de 3.6 es más fuerte durante invierno y la de 2.1 en verano (Tabla 3; Anexo). En el caso de la temperatura esta mostró los ciclos mas importantes de 3.6 y 2.5 años, pero también se marcan ciclos de 11 y 45 años, tanto en la serie de invierno como en la de verano (Tabla 3; Anexo). En el caso de la salinidad, durante el primer periodo (1952-79) predomina la señal de 3.3 años, tanto en invierno como en verano, mientras que para el segundo periodo (1980-1990) en ambas estaciones predomina la señal de 5 años si bien también se presentó la de 3.3 años (Tabla 2; Anexo).

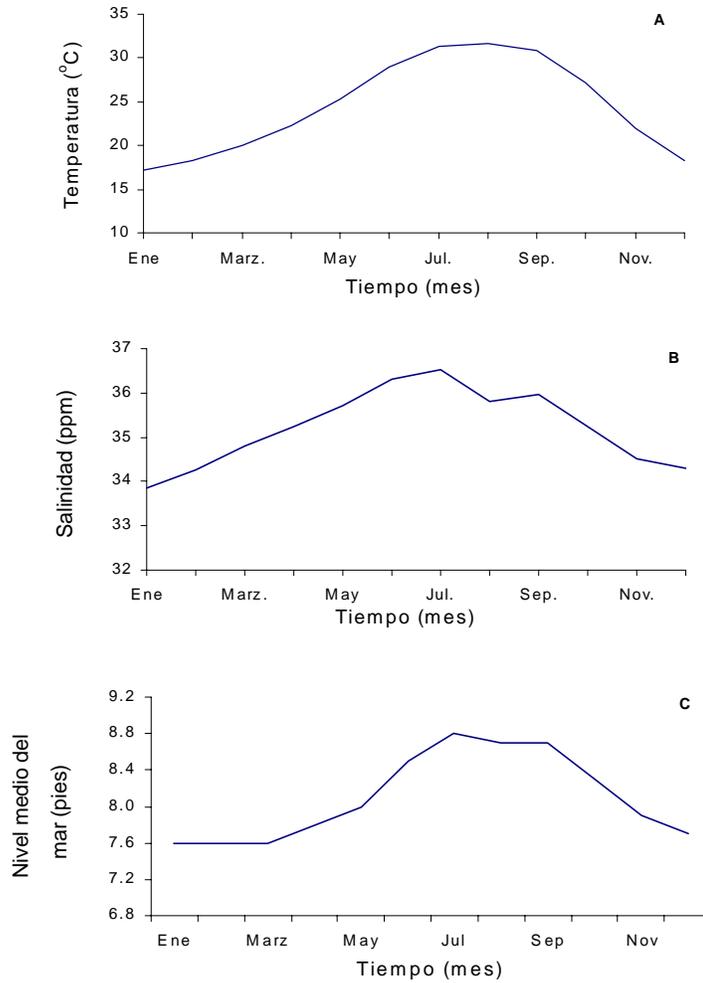


Figura 4. Patrón medio anual de la temperatura (A), salinidad (B) y nivel medio del mar (C) en Guaymas, Sonora.

Tabla 2. Indicadores de la series de nivel medio del mar (NMM), salinidad (S) y temperatura (T).

Característica	NMM	S 1	S 2	T
Periodo de la serie	ene 1952 - dic 1990	ene 1952 - dic 1979	ene 1980 - dic 1990	ene 1952 - dic 1995
Estacionalidad	+	+	+	+
meses de invierno	enero-marzo	diciembre-febrero	diciembre-febrero	diciembre-febrero
meses de verano	julio-septiembre	julio-septiembre	julio-septiembre	julio-septiembre
media invierno	7.6	35.5	31.0	19° C
media verano	8.7	37.0	36.5	31° C
Correlograma invierno	serie aleatoria	serie aleatoria	serie aleatoria	Autocorrelación de corto término
Correlograma verano	autocorrelación de corto termino	autocorrelación de corto termino	autocorrelación de corto termino	serie aleatoria

Tabla 3. Frecuencia fundamental (F en años) de los ciclos y su amplitud (A) en las series de temperatura (T), salinidad (S) y nivel medio del mar (NMM) en Guaymas, Sonora. I= invierno, V=verano.

NMM-I		NMM-V		S1-I		S1-V		S2-I		S2-V		T-I		T-V	
F	A	F	A	F	A	F	A	F	A	F	A	F	A	F	A
3.6	0.39	2.12	0.48	3.3	4.9	3.25	14.5	5.0	3.0	5.0	1.75	3.6	21.0	2.8	32.0
2.0	0.23	3.03	0.25	6.4	3.7	2.38	12.5	3.3	2.8	2.5	1.15	2.6	18.0	3.1	15.0
2.7	0.16	5.12	0.12	2.6	2.3	5.2	4.0					3.1	10.5	3.7	13.0
5.1	0.09	6.06	0.14	2.4	2.3							5.5	8.0	11.1	7.0
12.0	0.02	8.9	0.09	2.0	1.55							4.4	4.0	6.2	3.0
		3.6	0.07	25.0	0.04							11.1	2.5	4.4	2.5
												45.0	1.0	45.0	2.5

DISCUSIÓN

Como se observa en los resultados, la estacionalidad es la principal fuente de variación en las tres variables analizadas, observándose bajos valores de temperatura, salinidad y nivel medio del mar en invierno y altos en verano, lo que se esperaría para esta región del planeta; también se observa una tendencia ascendente en la temperatura y en el nivel medio del mar y una disminución en la salinidad, así es claro que la gráfica es suficiente para mostrarnos los rasgos obvios y describirnos la variación dominante en las series de tiempo. Sin embargo, un análisis más completo (en el dominio del tiempo y de la frecuencia) se requirió para detallarnos los rasgos no visibles en las series. Las variaciones en el tiempo de una serie puede ser causada por variaciones a diferentes frecuencias, por ejemplo, en nuestro caso, por la longitud de las series, estacionales, interanuales o de década. Estos son los armónicos que contribuyen a la varianza total de los datos, lo que ha sido previamente mencionado por Chatfield (1992).

De acuerdo a los resultados aquí presentados, en general se puede decir que si bien las series en el análisis en el dominio del tiempo (correlogramas) no mostraron mas que autocorrelaciones de corto término, el comportamiento del mismo correlograma mostró oscilaciones que sugieren la presencia de ciclos “no visibles” en los datos de mayor amplitud, los cuales a través del análisis de densidad espectral (periodogramas) si se lograron separar. De acuerdo a dicho análisis existen variaciones interanuales, de 3.6 años en el nivel medio del mar, de 3.3 y 2.6 años en salinidad y de 11, 4.4, 3.5 y 2.6 años en la temperatura, con diferencias en la composición espectral entre las épocas de invierno y verano. Sin embargo, las variaciones de 3.3 a 3.6 años presentes en todas las series, fueron el rasgo dominante. Es probable que esta periodicidad este relacionada con la señal de El Niño-Oscilación del Sur, un evento oceanográfico-atmosférico de gran escala espacial y que se ha demostrado (Baumgartner &

Christensen, 1985; Robles & Marinone, 1987; Lavín *et al.*, 1997; Parés *et al.*, 1997) afecta también al Golfo de California.

La serie de temperatura mostró una tendencia a incrementarse y posteriormente a disminuir (forma de parábola) lo que coincide con lo reportado por Hansen *et al.* (1981). El periodograma de ésta serie mostró ciclos tanto en escala interanual (2.5, 3.3, 5), de década (11 años) y cuadridecadal (45 años); estos resultados coinciden con los previamente reportados por Lau y Weng (1998) para la región entre las latitudes 60° Norte y 40° Sur, si bien estos autores utilizan otra fuente de información (COADS). Es posible que la periodicidad de 11 años este relacionada a procesos astronómicos como las manchas solares (A. Leyva Contreras, com. per.)

La serie de nivel medio del mar mostró una franca tendencia creciente, coincidiendo con la tendencia reportada en regiones tales como San Francisco, CA., Key West, Fl., Baltimore, MD, Nueva York, etc. (Titus & Narayanan, 1995; Titus *et al.*, 1998). Sin embargo, debido a que han sido registrados ciclos de larga escala en otras regiones del mundo (Gornitz *et al.*, 1982; Hoffman *et al.*, 1993) cuya duración es mayor que la longitud de la serie de tiempo examinada, esta tendencia pudiera ser parte de un ciclo que no se ha completado.

El punto de quiebre de la serie de salinidad es muy interesante debido a que durante la primera parte de la serie, la diferencia en el valor medio entre las estaciones es menor que en la segunda parte de la serie, además que la primera parte de la serie no mostró ninguna tendencia, mientras que la segunda mostró una tendencia negativa definida y se incremento la diferencia entre el valor medio de cada estación. Este hecho puede tener repercusiones muy importantes para el ecosistema marino de la Bahía de Guaymas, dado que la salinidad es uno de los factores limitantes más importante para algunos organismos, afectándolos tanto en su distribución, como en su desarrollo. Si se considera la diferencia de salinidad entre verano e invierno, es muy probable que los componentes de la comunidad hayan cambiado, tendiendo a disminuir los organismos estenohalinos (poco tolerantes a los cambios en la salinidad) y predominando los organismos eurihalinos (con rangos amplios de tolerancia a la salinidad).

Las posibles causas de la disminución en la salinidad y de los cambios más marcados entre estaciones pueden ser diversas, como son la construcción del Patio Fiscal "Sánchez Taboada", localizado en el lado norte de la boca de la Bahía, para el cual se le "ganó" terreno al mar, hecho que pudo haber cambiado la tasa de recambio de las aguas. Por otra parte, el incremento de las descargas domésticas (Burrola-Sánchez, com. per.), aunado a la disminución de la tasa de recambio de la Bahía, pudieron originar un "efecto domino" en el sistema. Aún con todo esto, y las variaciones entre estaciones y las tendencias, las dos partes de la serie mostraron dos ciclos definidos: uno de ellos de 5 años y otro de 3.3-3.6 años tanto para primavera como para verano, posiblemente relacionados con eventos de larga escala espacial tipo El Niño. En cuanto a los ciclos de menos de 2.5 años, pudieran ser reflejos (alterados) del ciclo cuasi bienal de la circulación estratosférica, relacionados con la actividad solar (A. Leyva Contreras, com. per.).

BIBLIOGRAFÍA

- Aebischer, N.J., J.C. Coulson & J.M. Colebrook. 1990. Parallel long trend across four marine trophic levels and weather. *Nature.*, (347):753-755.
- Anónimo, 1995. Tabla de predicción de Mareas. Instituto de Geofísica UNAM.
- Badan-Dangon, A., C.J. Koblinsky & T. Baumgartner. 1985. Spring and summer in the Gulf of California: observations of surface thermal patterns. *Oceanologica Acta*, 8(1):13-22.
- Barrett, B. & E.J. Ralph 1977. Environmental conditions relative to shrimp production in coastal Louisiana along with shrimp catch data for the Gulf of México. *Tech. Bull.*, 26. Dpto. Wildlife Fisheries.
- Baumgartner, T. & N. Christensen. 1985. Coupling of the Gulf of California to large-scale interannual climatic variability. *J. Mar. Res.*, (43):825-848.
- Beamish, R.J. (Ed.). 1995. Climate change and northern fish populations, 121. Can. Spec. *Publ. Fish. Aquat. Sci.*, 739 p.
- Box, G.E.P. & G.M. Jenkins. 1970. Time series analysis, forecasting and control. San Francisco: Holden-Day.
- Bray, N.A. 1988. Thermohaline circulation in the Gulf of California. *J. Geophys. Res.*, 95(C5):4993-5020.
- Brinton, E., A. Fleminger & D.C. Siegel. 1986. The temperate and tropical planktonic biotas of the Gulf of the California. *CalCOFI Rep.*, (27):228-266.
- Castello, J.P. & O.O. Moller. 1978. On the relationship between rainfall and shrimp production in the estuary of the Patos Lagoon, Río Grande, Brasil. *CDU-595.384*. 34 (285).
- Criales, M.M. & N.T. Lee 1995. Larval distribution and transport of penaeoid shrimps during the presence of the Tortugas Gyre in may-june 1991. *Fish. Bull.*, (93):471-482.
- Cushing, D.H. 1990. *Adv. Mar. Biol.*, (26):249-293.
- Chatfield, C. 1992. The analysis of time series. An introduction. Chapman & Hall. 241 p.
- Da-Silva. 1986. River runoff and shrimp abundance in a tropical coastal ecosystem. The example of the Safala Bank, Central Mozambique. *NATO ASI Series* (67).
- Del-Valle, L. 1989. Estrategia de producción y explotación en una laguna costera de México. Tesis de doctorado. Universidad Politécnica de Cataluña, España. 265 p.
- Díaz, H.B. & R.C. Ruvalcaba, 1969. Estudio Hidrográfico de la Bahía de Guaymas. Tesis de Licenciatura. ITESM-Guaymas. Guaymas, Son. 90 p.
- Ebbesmeyer, C.C., D.R. Cayan, D.R. McLain, F.H. Nichols, D.H. Peterson & R.T. Redmond. 1991. 1976 step in the Pacific Climate: forty parameter

- changes between 1968-1975 and 1977-1984, 115-126. En: Betancourt, J.L. & V.L. Tharp, (Eds.). Proceeding of the 9th Annual Pacific Climate (PACLIM) Workshop, 1991. Asilomar, California. Tech. Rep. Interagency Ecol. Studies Prog. Sacramento-San Joaquin Estuary. CL|PACLIM01ATR|91-26, Cal. Dep. Water Resources, Sacramento.
- Farrell, T. M., D. Bracher & J. Roughgarden. 1991. Cross-shelf transport causes recruitment to intertidal populations in Central California. Limnol. and Oceanog., 36(2):279-288.
- Fu, L.L. & B. Holt. 1984. Internal waves in the Gulf of California: observations from a spaceborne radar. J. Geophys. Res., 89(C2):2053-2060.
- García, E. 1964. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- García, E. & A.P. Mosiño, 1968. Los climas de Baja California. Memoria 1966-67. Decenio Hidrológico Internacional. UNAM.
- Gilbert, J.Y. & W.E. Allen. 1943. The phytoplankton of the Gulf of California obtained by the "E.W. Scripps" in 1939 and 1940. J. Mar. Res., 5(2):89-110.
- Gornitz, V., S. Lebedeff & J. Hansen. 1982. Global sea level trend in the past century. Science 215:1611-1614.
- Gracia, A. 1989a. Ecología y pesquería de camarón blanco *Penaeus setiferus* 1767 en la Laguna de Términos-Sonda de Campeche. Tesis de Doctorado. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 127 p.
- Gracia, A. 1989b. Relationship between environmental factors and white shrimp abundance in the southwestern Gulf of México. An. Inst. Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Auton. México, 16(1):171-182 .
- Hales, J.E. 1972. Surges of maritime tropical air northward over the Gulf of California. Mon. Wea. Rev., (100):298-306.
- Hannah, R.W. 1993. Influence of environmental variation and spawning stock levels on recruitment of ocean shrimp (*Pandalus jordani*). Can. J. Fish. Aquat. Sci., (50):612-622.
- Hansen, J.E., D. Johnson, A. Lacis, S. Lebedeff, D. Rind & G. Russell. 1981. Climate impact of increasing atmospheric carbon dioxide. Science, (213):957-966.
- Hastings, J.R. & R.M. Turner. 1965. Seasonal precipitation regimes in Baja California, Mexico. Geograf. Annal., (47):204-223.
- Hettler, W.F. & A.J. Chester 1982. The relationship of winter temperature and spring landings of pink shrimp. Fish. Bull., 80(4).
- Hoffman, J.S., D. Keyes & J.G. Titus. 1993. Projecting future sea level rise. U.S. GPO # 055-000-0236-3. Washington, D.C.: Government printing office.
- Latorre, C. & L. Penilla. 1988. Influencia de los ciclones en la precipitación de Baja California Sur. Atmosfera., 1(2):99-112.

- Lau, K.M. & H. Weng. 1998. Interannual, decadal-to-interdecadal and global warming signals in sea surface temperature during 1955-1997. J. Climate. En prensa.
- Lavin, M.F., E. Beier E. & A. Badan. 1997. Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: escalas estacional e interanual, 139-169. En: Lavin, M.F. (Ed.). Contribuciones a la oceanografía física de México. Monografía 3 UGM.
- McCleave, J.D., G.P. Arnold, J.J. Dodson & W.H. Neill, (Eds.). 1984. Mechanisms of migration in fishes. Plenum Press, New York. 574 p.
- Mendelsohn, R. & P. Cury. 1987. Fluctuations of a fortnightly abundance index of the Ivorian coastal pelagic species and associated environmental conditions. Can. J. Fish. Aquat. Sci., (44): 408-421.
- Mendo, J. & J. Tam 1993. Multiple environmental states affecting Penaeid shrimp production in Perú. Naga, the ICLARM quarterly april-july. 44-46.
- Merrefield, M.A. & C.D. Winant, 1989. Shelf circulation in the Gulf of California: A description on the variability, J. Geophys. Res., 94 (c12):18133-18160.
- Pares-Sierra, A., M. López & E. G. Pavia. 1997. Oceanografía física del Océano Pacífico Nororiental, 1-24. En: Lavin, M.F. (Ed.). Contribuciones a la oceanografía física de México. Monografía 3 UGM P.
- Pineda, J. 1994. Internal tidal bores in the near shore: water fronts, seaward gravity, currents, and the on shore transport of neustonic larvae. Journal of Mar. Res., (52):427-458.
- Polovina, J.J. 1996. Decadal variation in the trans-Pacific migration of northern bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) coherent with climate-induced change in prey abundance. Fisheries Oceanography., (5):114-119.
- Polovina, J.J., G.T. Mitchum, N.E. Graham, M.P. Craig, E.E. De Martini & E.N. Flint. 1994. Physical and biological consequences of a climate event in the central North Pacific. Fisheries Oceanography., (3):15-21.
- Reyes, S. & D.L. Cadet. 1988. The southwest branch of the North American monsoon during summer 1979. Mon. Wea. Rev., (116):1175-1187.
- Robles-Pacheco, J.M. & S.G. Marinone. 1987. Seasonal and interannual thermo-haline variability in the Guaymas Basin of the Gulf of California. Continental Shelf Res., (7):715-733.
- Roden, G.I. 1954. Oceanographic aspects of the Gulf of California, Mem. 3: 20-38. En: Am. Assoc. Petrol. Geol. Marine geology of the Gulf of California.
- Roden, G.I. 1958. Oceanographic and meteorological aspects of the Gulf of California. Pac. Sci., 12(1): 21-45.
- Roden, G.I. & G.W. Groves. 1959. Recent oceanographic investigations in the

- Gulf of California. J. Mar. Res., 18(1):10-35.
- Rosas-Cota, A. 1976. Corrientes geostróficas en el Golfo de California en la superficie y a 200 m durante las estaciones de invierno y verano. CalCOFI Rep., (19):89-106.
- Rusnack, G.A. & R. L. Fisher 1964. Structural history and evolution of Gulf of California, 144-156. En: Van-Andel, T.H. & G.G. Shor (Eds.). Marine Geology in the Gulf of California. American Association Petroleum Geologists Memoir 3.
- Salinas-Zavala, C.A., D. Lluch-Belda, S. Hernández-Vázquez & D.B. Lluch-Cota. 1998. La aridez en el noroeste de México. Un análisis de su variabilidad espacial y temporal. Atmosfera, (11):29-44.
- Schmidt, Jr.R.H. 1989. The arid zones of Mexico: climate extremes and conceptualization of the Sonoran Desert. J. Arid Environ., (16):241-256.
- Serra, S. 1971. Hurricanes and tropical storms of the West Coast of Mexico. Mon. Wea. Rev., 99(4):302-308.
- Sharp, G.D. 1978. Behavioral and physiological properties of tunas and their effects on the vulnerability to fishing gear, 397-449. En: The physiological ecology of tunas.
- Sharp & A.E. Dizon (Eds.). Academic Press, San Francisco.
- Sheridan, P. 1996. Forecasting the fishery for pink shrimp, *Penaeus duorarum*, on the Tortugas Grounds. Florida. Fish. Bull., (94):743-755.
- Smith, E. P. 1978. Biological effects of ocean variability: time and space scales of biological response. Rapp. P. V Reun. Cons. Int. Explor. Mer., (173):117-127.
- Sokal, R. R. & J. Rolf. 1981. Biometry. W.H. Freeman & Co., Nueva York. 859 p.
- Thunell, R. 1996. Continental margin particle flux. Seasonal cycles and archives of global change. Oceanus, 40(2):20-23.
- Titus, G.J., R. Park, S. Leatherman, R. Weggel, M. Greene, P. Mausel, S. Brown, G. Gaunt, M. Trehan & G. Yohe. 1998. Greenhouse effect and sea level rise. The cost of holding back the sea. Environmental Protection Agency. Library of Congress Cataloging in publication data. 37 p.
- Titus, G.J. & V.K. Narayanan. 1995. The probability of sea level rise. Environmental Protection Agency. Library of Congress Cataloging in publication data. 195 p.
- Valdez-Holguin, J.E. & J.R. Lara-Lara. 1987. Productividad primaria en el Golfo de California: efectos del evento El Niño 1982-1983. Ciencias Marinas, 13(2):34-50.
- Willie, J.G. 1966. Geostrophic flow of the California Current at the surface and at 200 meters. CalCOFI Atlas 4: (VII-XIII):288 cartas.

A N E X O

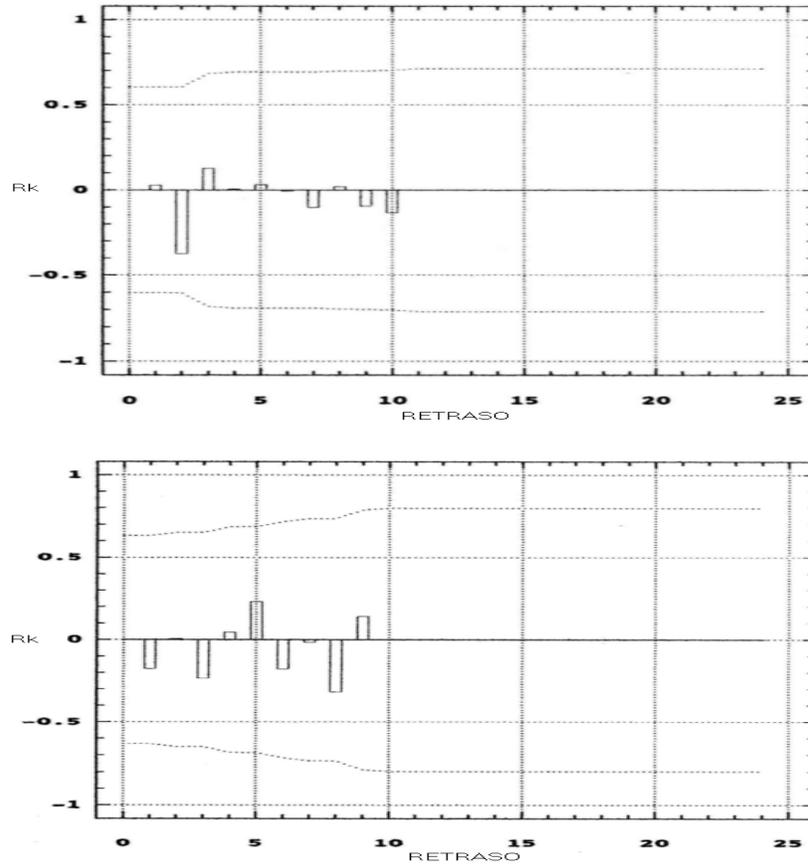


Figura A. Correlograma para la salinidad. Periodo 1978-89.

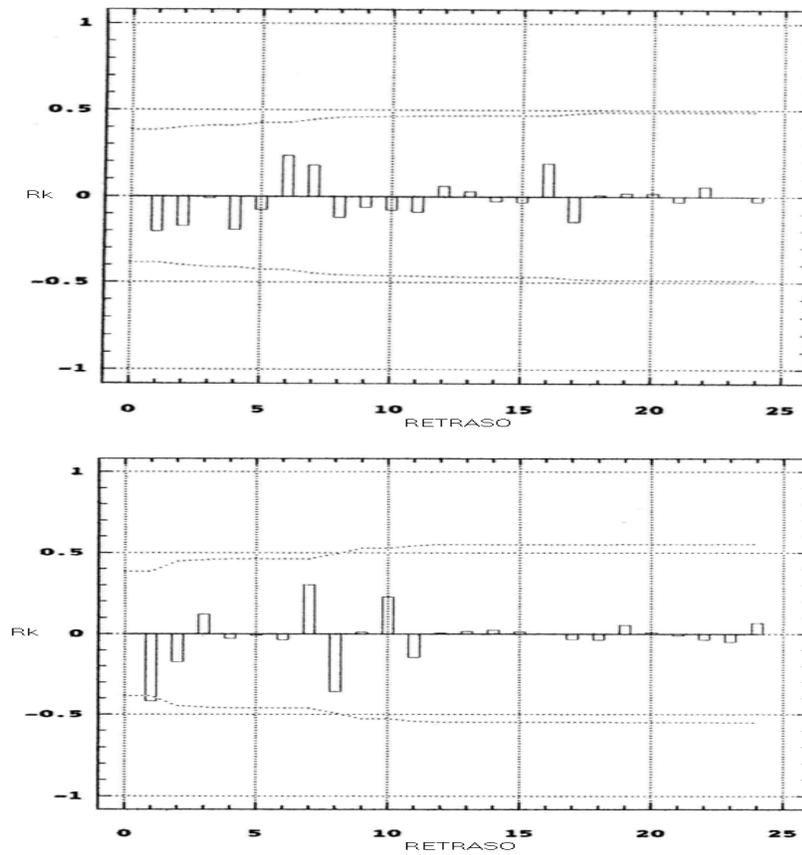


Figura B. Correlograma para la salinidad. Periodo 1952-77.

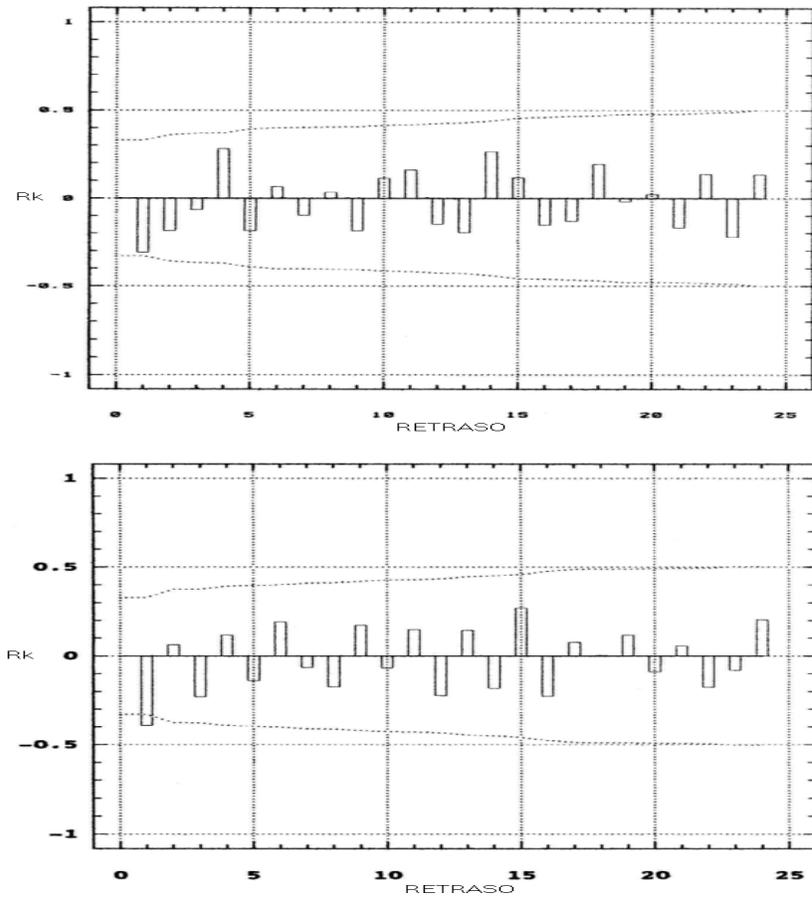


Figura C. Correlograma para el nivel medio del mar. Periodo 1952-89.

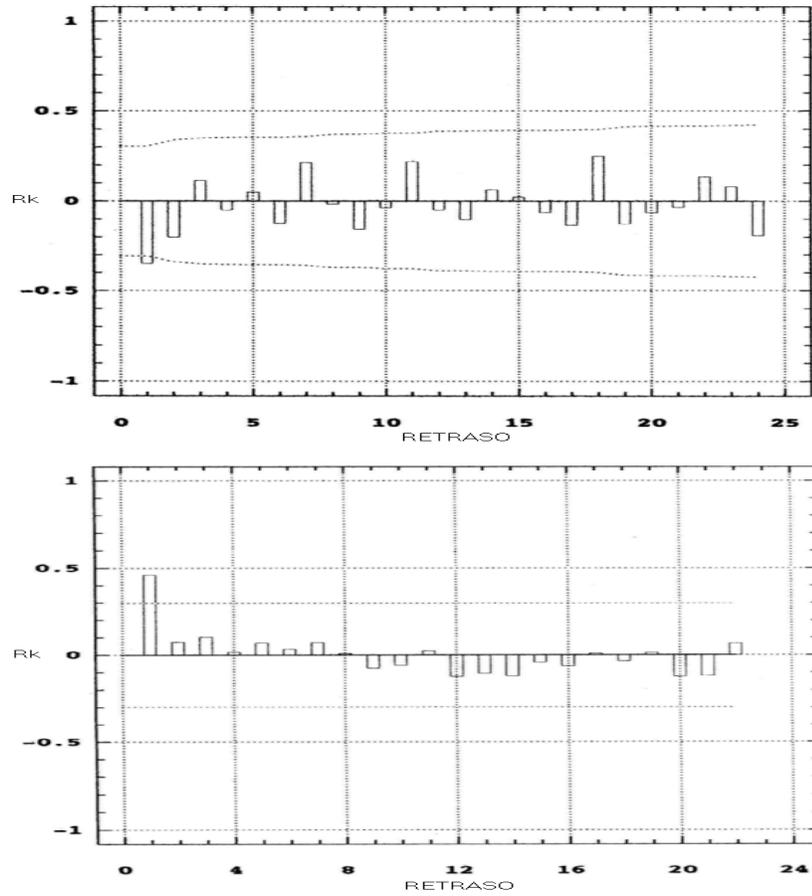


Figura D. Correlograma para la temperatura superficial del mar. Periodo 1952-95.

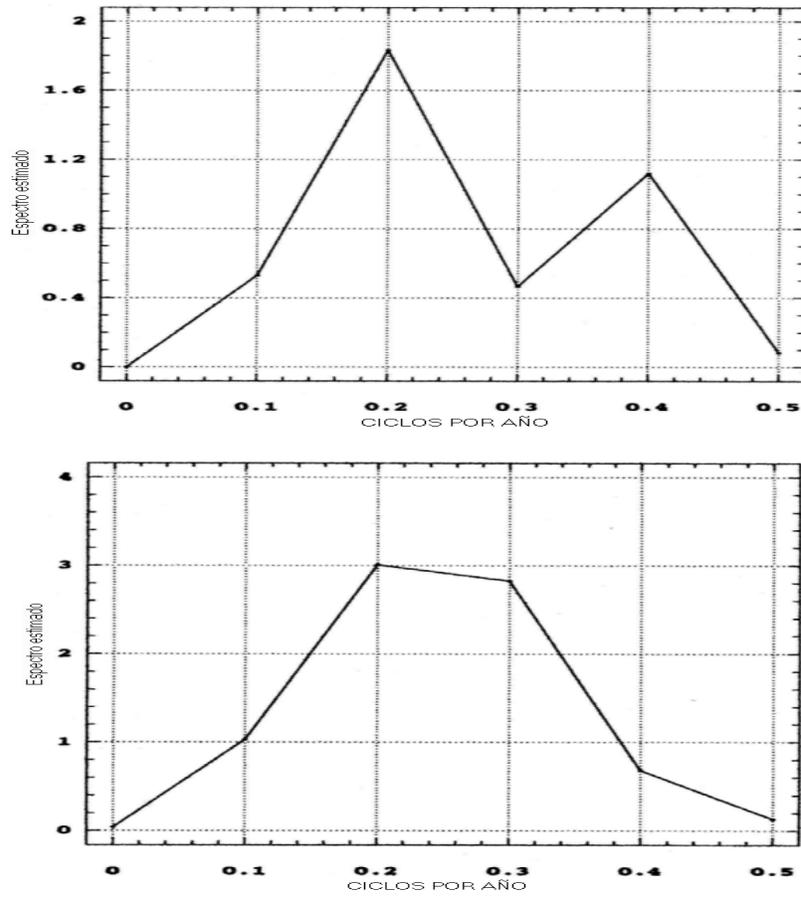


Figura E. Periodograma para la salinidad. Periodo 1978-89.

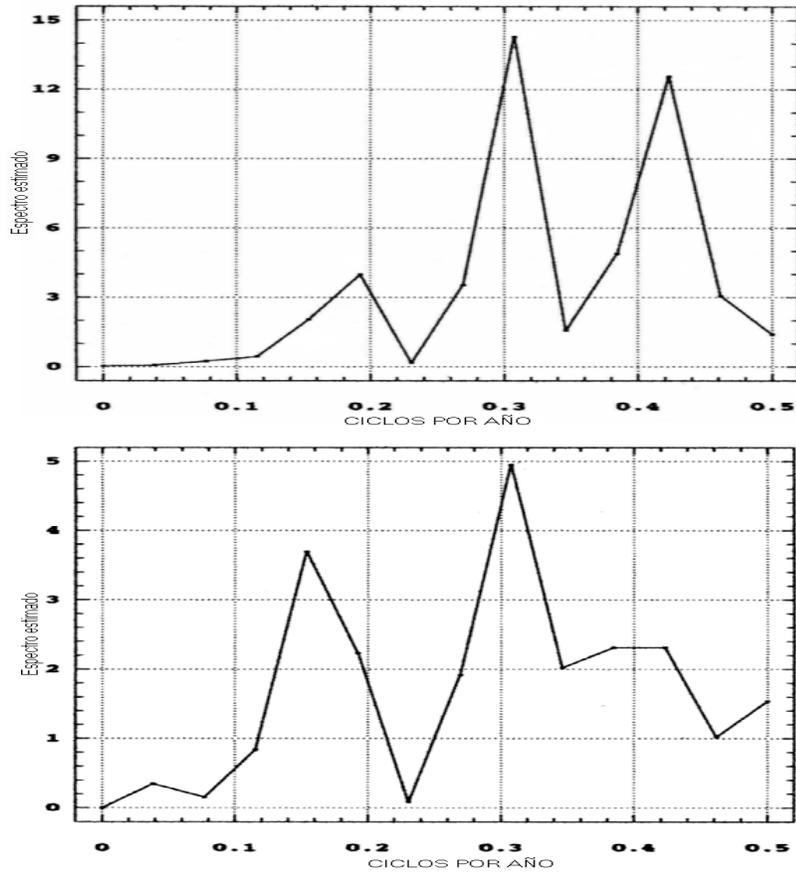


Figura F. Periodograma para la salinidad. Periodo 1952-77.

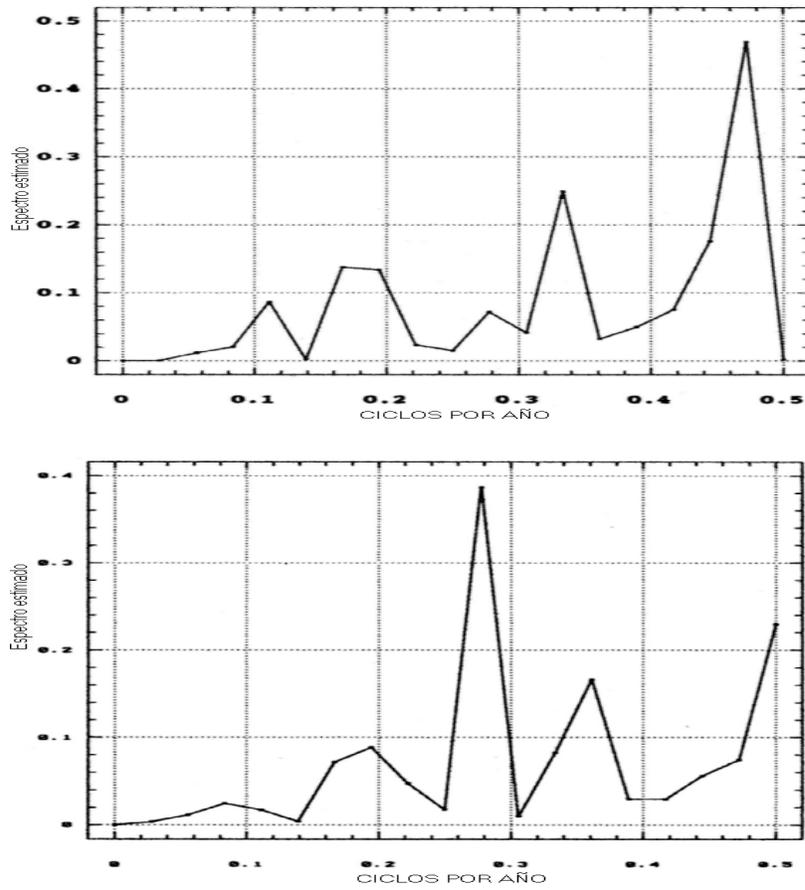


Figura G. Periodograma para el nivel medio del mar. Periodo 1952-89.

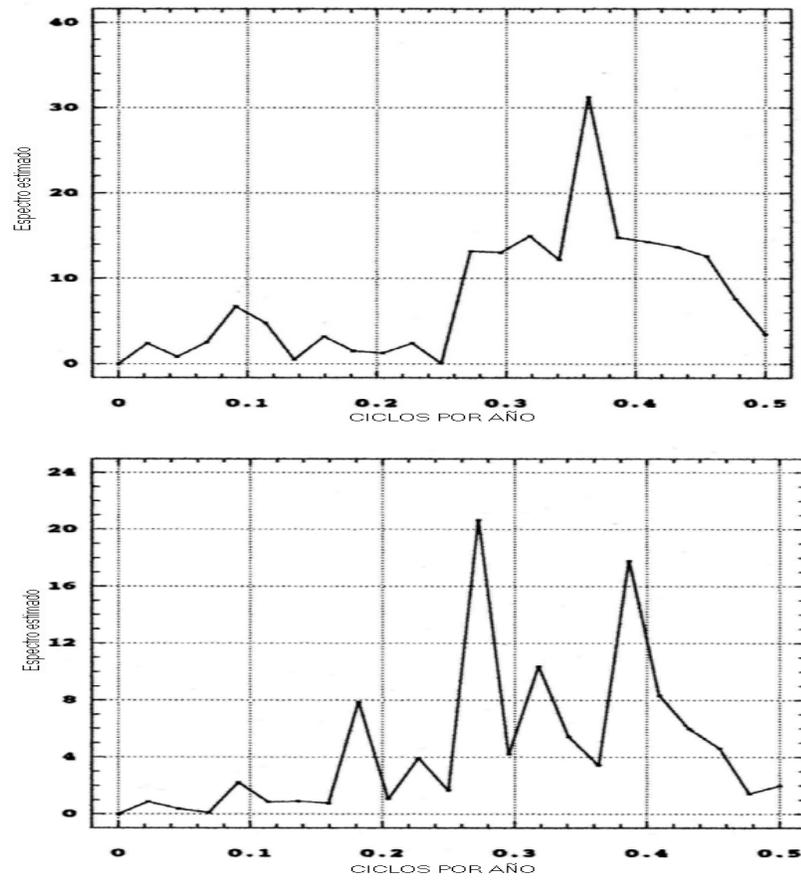


Figura H. Periodograma para la temperatura superficial del mar. Periodo 1952-95.