



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar

ANALISIS ESTADISTICO DE LA TEMPERATURA
SUPERFICIAL Y NIVEL MEDIO DEL MAR
EN LA LIBERTAD (ECUADOR)



TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

OCEANOGRAFO

Presentada por:

Alexandra Cedeño Montesdeoca

Guayaquil - Ecuador

1.990

BIBLIOTECA
FAC. ING.
MARIITIMA

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi agradecimiento al Msc. Francisco Medina P., Director de Tesis, por su gran ayuda en la elaboración del presente trabajo.

Al Instituto Oceanográfico de la Armada y en especial a su ex director CPMG-EM Hernán Moreano Andrade por brindar las facilidades necesarias para entregar la información que fue usada para elaborar la presente tesis de grado.

DEDICATORIA



BIBLIOTECA
I. ING.
MATANZAS

A mis Padres

A mi familia



BIBLIOTECA
IAC, ING.
MARITIMA

FRANCISCO MEDINA P. Msc.
Director de Tesis

JORGE CALDERON V. Ph.D.
Profesor de la Facultad

Ma. Nel Pilar Cornejo R. M.Sc.
Profesor de la Facultad

José Luis Santos D. M. Sc.
Profesor de la Facultad



BIBLIOTECA
FAC. ING.
MARITIMA

DECLARACION EXPRESA

La responsabilidad de los hechos ideas y doctrinas expuestos en ésta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL).

A handwritten signature in cursive script, reading "Alexandra Cedeño", is written over a horizontal line.

ALEXANDRA CEDEÑO MONTESDEOCA



BIBLIOTECA
C. C. ING.
MANHANA

RESUMEN

Se analizan los datos diarios de NMM (Nivel Medio del Mar) y TSM (Temperatura Superficial del Mar) para el período 1975 a 1987 obtenidos en la estación de La Libertad, península de Santa Elena. Un análisis gráfico nos indica una clara similitud en el comportamiento de ambas series. El análisis estadístico empleado para entender mejor el comportamiento de las mismas, por medio del filtrado de ambas series, lo que indica es una periodicidad estacional para la Temperatura Superficial del mar y para el Nivel Medio del Mar. La correlación de las series nos lleva a determinar la variación interanual de las mismas. La aplicación de la técnica de la media corrida establece una periodicidad estacional de la temperatura superficial del mar y una periodicidad de 45 a 60 días para el nivel medio del mar, además la serie nos entrega

temperatura superficial del mar en la estación costera de La Libertad es bastante bueno. Otro resultado válido obtenido del presente estudio es el uso de la técnica del filtrado usando promedios móviles y relacionar dos parámetros, uno meteorológico y uno oceanográfico, durante un período en el cual están incluidos eventos El Niño.



BIBLIOTECA
ING.
MARITIMA



BIBLIOTECA
ING.
CAROLINA

INDICE GENERAL

	PAG.
RESUMEN _____	vi
INDICE GENERAL _____	viii
INDICE DE TABLAS _____	ix
INDICE DE FIGURAS _____	x
INDICE DE ABREVIATURAS _____	xii
INTRODUCCION _____	13
ANTECEDENTES Y OBJETIVOS _____	15
I. AREA DE ESTUDIO _____	17
1.1 Características Oceanográficas _____	20
1.1.1 Masas de agua _____	20
1.1.2 Frente Ecuatorial _____	22
1.1.3 Circulación oceánica de influencia en el área de estudio _____	25
1.2 Obtención de los datos _____	27
1.3 Series de tiempo _____	29
1.3.1 Descripción de las series de tiempo _____	31
II. ANALISIS ESTADISTICO DE LAS SERIES DE TIEMPO _____	35
2.1 Variación estacional de la TSM _____	38
2.2 Variación estacional del NMM _____	44
2.3 Comparación de las variaciones estacio- nales de NMM con la TSM _____	57
III. INTERPRETACION Y DISCUSION DE RESULTADOS _____	65
IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES _____	69
BIBLIOGRAFIA _____	72

INDICE DE TABLAS

	PAG
Tabla No.1 Cuadro de rangos de temperatura y salinidad de las masas de agua presentes en el Océano Pacífico Ecuatorial Oriental _____	23
Tabla No.2 Tabla de Coeficientes de Correlación entre NMM y TSM para el período 1975 a 1987 _____	64

INDICE DE FIGURAS

	PAG
Fig. 1.1	Ubicación del área de estudio ——— 18
Fig. 1.2	Distribución de masas de agua en el Pacífico Tropical Oriental ——— 21
Fig. 1.2.1	Mareógrafo Van Essen ——— 28
Fig. 1.2.2	Termómetro de balde ——— 30
Fig. 1.3.1	Promedios mensuales de la Temperatu ra Superficial del Mar, 75-87 ——— 32
Fig. 1.3.2	Promedios mensuales de Nivel Medio del mar (75-87) ——— 33
Fig. 2.1.a	Serie de tiempo sin filtrar ——— 37
Fig. 2.1.b	Filtro ——— 37
Fig. 2.1.c	Serie de tiempo resultante ——— 37
Fig. 2.1.1	Anomalías mensuales de Temperatura Superficial del Mar (75-87) ——— 42
Fig. 2.1.2	Promedios mensuales de Temperatura Superficial del mar filtrado a 6 meses (75-87) ——— 43
Fig. 2.1.3	Promedios mensuales de Temperatura Superficial del mar filtrado a 12 meses (75-87) ——— 45
Fig. 2.2.1	Anomalías mensuales de Nivel Medio del Mar (75-87) ——— 47



BIBLIOTECA
FAC. ING.
MARITIMA

	PAG
Fig. 2.2.2 Anomalías mensuales de Presión Atmosférica (75-87) _____	49
Fig. 2.2.3 Promedios mensuales de Presión Atmosférica filtrado a 6 meses (75-87)	50
Fig. 2.2.4 Promedios mensuales de Presión Atmosférica filtrado 12 meses (75-87)	52
Fig. 2.2.5 Promedios mensuales de Nivel medio del mar filtrado a 6 meses (75-87)	53
Fig. 2.2.6 Promedios mensuales de Nivel medio del mar filtrado a 12 meses (75-87)	55
Fig. 2.2.7 Anomalías mensuales del IOS Tahití-Darwin (75-87) _____	56
Fig. 2.3.1 Promedios diarios de Temperatura superficial del mar (75-87) _____	58
Fig. 2.3.2 Promedios diarios de Nivel medio del mar (75-87) _____	59

INDICE DE ABREVIATURAS

ACP	Agua Costera Peruana
ASE	Agua Superficial Ecuatorial
AST	Agua Superficial Tropical
ASS	Agua Superficial Subtropical
$\sum_{i=1}^n$	Sumatoria desde $i=1$ hasta n
FAE	Fuerza Aérea Ecuatoriana
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
INOCAR	Instituto Oceanográfico de la Armada
IOS	Indice de Oscilación del Sur
MLWS	Mean Low Water Spring (Nivel de las mas bajas bajamares de Sicigia)
NMM	Nivel medio del Mar
ppm	Partes por mil
Rxy	Coefficiente de Correlación entre x i y
δx	Desviación Estándar de x
δy	Desviación Estándar de y
δxy	Covarianza de x y
TSM	Temperatura Superficial del Mar
ZCIT	Zona de Convergencia Intertropical



BIBLIOTECA
IAC. ING.
MARITIMA

INTRODUCCION

Los cambios de la temperatura superficial y subsuperficial en el Océano Pacífico Tropical y los efectos que ocasionan sobre el clima han sido estudiados y detallados por Philander (1981), Webster (1981), Zambrano (1986), entre otros. Todos estos estudios analizan el complejo proceso de interacción Océano - Atmósfera que genera el conocido evento El Niño que se presenta aperiódicamente con aguas superficiales anómalamente cálidas fuera de las costas de Sudamérica (especialmente frente a Ecuador y Perú) (Wirtky, 1979), provocando un desajuste en el clima de toda la región tal como lo mencionan Arnatz y Jordán (1985).

Este trabajo utiliza medias corridas para el análisis de las condiciones oceanográficas y los aplica al puerto patrón de La Libertad ($80^{\circ} 50' W - 02^{\circ} 13' S$) en la costa del Ecuador empleando la información disponible de temperatura superficial del mar y nivel medio del mar en el período 1975 - 1987. Las

series, así obtenidas, en conjunto con la información de parámetros meteorológicos, como presión atmosférica, permiten detectar ciertos cambios estacionales e inter-anales que afectan al clima de la región y que generalmente no se originan en la cuenca del Pacífico Sud oriental sino mas bien en el Océano Pacífico Tropical (Wyrтки, 1979).

El análisis de los parámetros meteorológicos no forma parte del objetivo principal de este trabajo, sin embargo, serán mencionados como soporte para determinar el comportamiento de algún evento, en caso de ausencia de información o falta de claridad para la interpretación de las series de temperatura superficial del mar (TSM) y nivel medio del mar (NMM)



BIBLIOTECA
FAC. ING.
MARITIMA

ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

En los últimos años el estudio de la Oceanografía en todo el mundo ha tomado auge, considerando especialmente aquellos procesos que afectan el clima de las diferentes regiones del planeta; en nuestro país se está procediendo al igual que en otros países costeros, dando especial importancia a los estudios de carácter oceanográfico aplicado. Esto ha llevado al desarrollo de proyectos de investigación en algunas áreas de la Oceanografía Física especialmente los procesos de interacción océano-atmósfera que nos afectan directamente (Cucalón, 1982).

Para estudiar las variables oceánicas y atmosféricas y conocer las relaciones que existen entre ellas, se han desarrollado muchos métodos de análisis que van desde la simple obtención de valores máximos y mínimos, hasta los más sofisticados métodos de predicción (Cane, 1984).

Todos éstos estudios han entregado sus resultados donde se observa que los parámetros atmosféricos y oceánicos guardan una estrecha relación y pueden ser aplicados en el Ecuador, pues existe suficiente información histórica oceanográfica y meteorológica; de ésta forma al implementar la metodología a nuestras necesidades y a las características propias de nuestras costas, podríamos comprender mejor el comportamiento de nuestra región.

Trabajos como los de : Relación entre las fluctuaciones en el Nivel del Mar con las variaciones del viento y Temperatura Superficial del Mar en el Pacífico Ecuatorial (B. Hickey, 1975), Mecanismos que determinan la respuesta atmosférica a las anomalías de Temperatura Superficial del Mar (Peter Webster, 1981) etc. han proyectado sus investigaciones para dar una explicación de la relación existente entre dos variables, una oceánica y otra atmosférica, que están ligadas y al aplicarles técnicas estadísticas apropiadas se ha demostrado que guardan una estrecha relación ; además que existe una ocurrencia periódica que es posible ser predicha con cierto rango de confiabilidad.

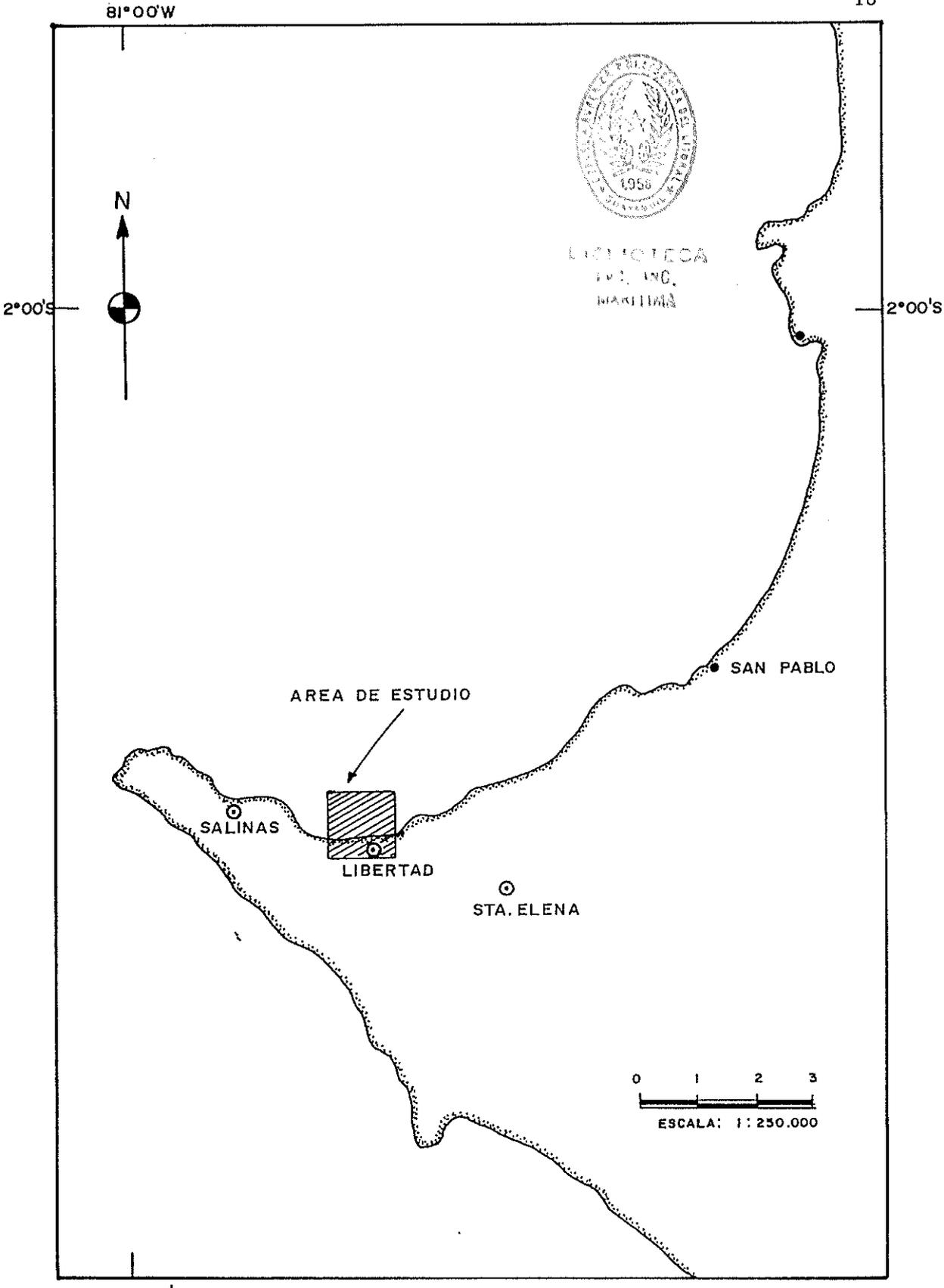
El presente trabajo encontró una explicación en base al análisis de los datos, del comportamiento de los parámetros (TSM Y NMM) y así se halló la correlación entre ellos estableciendo la existencia de una dependencia del nivel del mar frente a la temperatura y en qué períodos es mas evidente.

CAPITULO 1

1.- AREA DE ESTUDIO

La estación de donde se han obtenido los datos de temperatura superficial del mar y nivel medio del mar para realizar este estudio es La Libertad, y los datos de presión atmosférica fueron obtenidos de la estación meteorológica de la FAE en Salinas, ambas estaciones están en la Península de Santa Elena (Fig.1.1), se escogió estos puertos por las siguientes razones:

- i) La serie de tiempo de TSM es de 13 años que es la mas extensa y a la vez confiable de todas las estaciones costeras oceanográficas del Ecuador.
- ii) La lectura de la temperatura ha sido realizada por la misma persona a lo largo de todo el período de estudio lo que hace constante el error de apreciación del dato.
- iii) Lo mismo ocurre para la serie de presión atmosférica de Salinas



81°00'W

FIG. N° 1.1. — UBICACION DEL AREA DE ESTUDIO

iv) Se ha considerado a la península de Santa Elena como un punto de control (Puerto Patrón) de monitoreo del Pacífico por estar ubicada en contacto directo con el ambiente oceánico además su posición geográfica le permite detectar los regímenes de circulación oceánica y atmosférica del Pacífico Oriental (Enfield, 1975).

La Libertad se ubica en la península de Santa Elena, Cantón Guayaquil de la Provincia del Guayas ($80^{\circ} 50'W$, $2^{\circ} 13'S$) como se muestra en la Figura 1.1 y presenta un clima desértico árido y seco la mayor parte del año según lo indica el mapa bio climático del Ecuador (publicación del Ministerio de Agricultura y Ganadería, 1978). Se caracteriza por la ausencia de lluvias aún durante la estación húmeda lo que le permite sustentar una flora y fauna diferentes a otras regiones cercanas de la costa. El total anual de precipitación no excede los 30 mm durante los años normales según lo indican los anuarios meteorológicos de los años 1974 a 1985 (Anuarios Meteorológicos 1975-1985, INAMHI).

El clima en la estación La Libertad, de acuerdo con la clasificación del mapa bio climático del Ecuador puede ser descrito como moderado, con la presencia de alguna variación estacional. Las nubes estratiformes bajas que se presentan la mayor parte del año en Salinas pueden constituir la causa para las lluvias o lloviznas presentes en esta localidad.

En la época húmeda (Enero - Mayo) las tormentas son escasas excepto durante los años en que se presenta el El Niño.

Es la Península de Santa Elena y específicamente la localidad de Salinas, ubicada a unos 10 km. al oeste de La Libertad (figura 1.2), un receptor de las masas de agua que se desplazan hacia el ecuador ya sea desde el Norte, desde el Sur o desde el Oeste (Wirtky, 1979). Posee una ubicación abierta al océano y está lejos de la influencia de la desembocadura de ríos, cinturones montañosos terrestres o submarinos y no hay cercano a ella un obstáculo natural o creado por el hombre que influya en las características de los parámetros que deseamos analizar.

1.1 CARACTERISTICAS OCEANOGRAFICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

1.1.1.- MASAS DE AGUA

La región bajo consideración sufre la influencia de cuatro masas de agua: Agua Superficial Tropical (AST), Agua Superficial Ecuatorial (ASE) y Agua Superficial Subtropical (ASS); y eventualmente también es influenciada por aguas de afloramientos producto de los procesos convectivos del océano (surgencias costeras) y que se denomina Agua Costera Peruana (ACP) (Enfield, 1975).

Las propiedades de estas masas de agua son bien pronunciadas en los centros de formación y sus

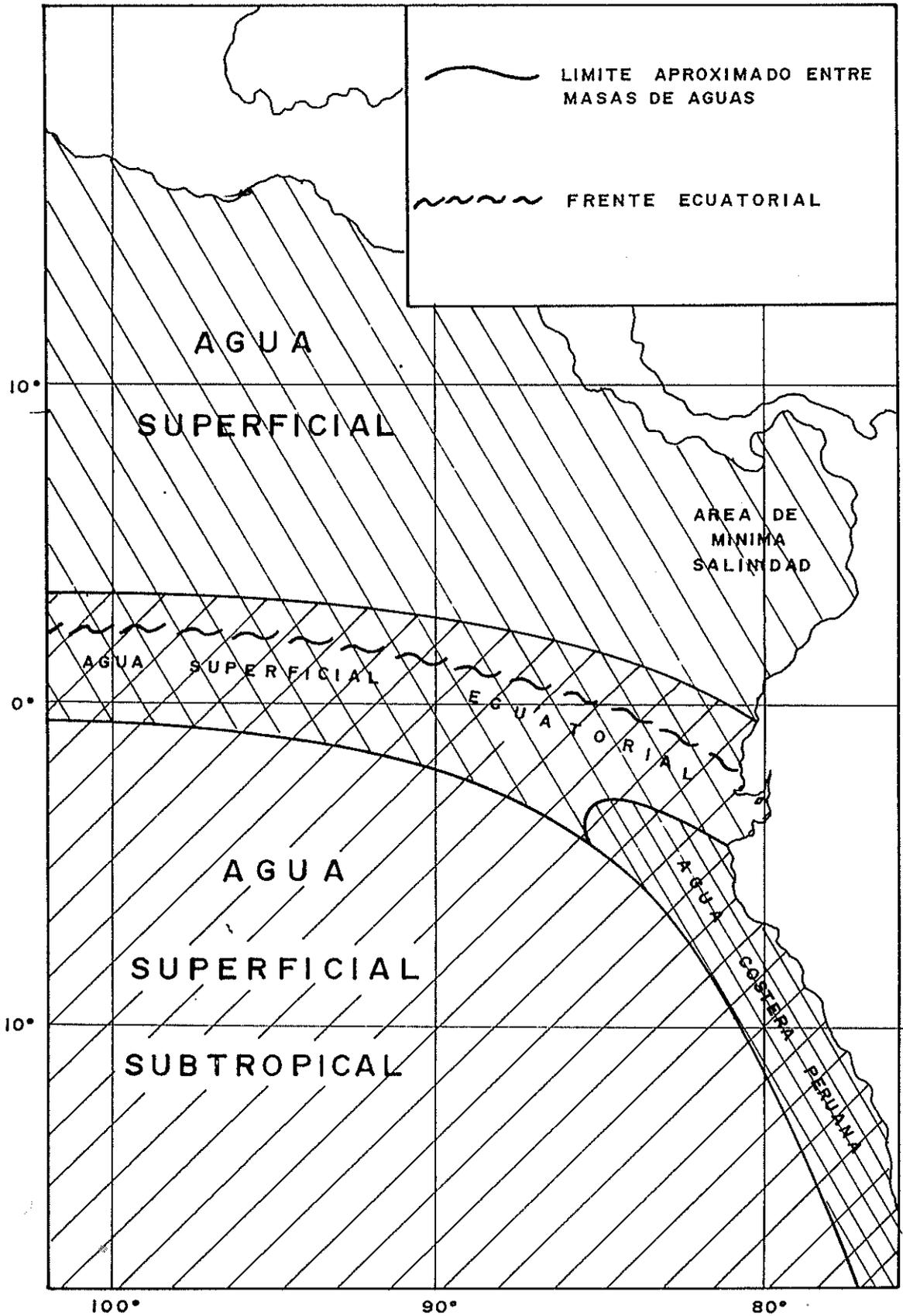


FIGURA. N° 1.2 DISTRIBUCION DE MASAS DE AGUA EN EL PACIFICO TROPICAL ORIENTAL.

límites se desplazan de norte a sur en forma estacional y también aperiódicamente, transportando sus características oceanográficas y causando diversos cambios en el clima así como en el ecosistema marino; la ubicación aproximada de las masas de agua mencionadas son esquematizadas en la Fig. 1.2; los rangos de temperatura y salinidad de estas diferentes masas de agua se presentan en la tabla 1.

1.1.2.- FRENTE ECUATORIAL

El AST y ASS se acercan frente a la costa de Ecuador y forman un bien desarrollado frente el cual se fortalece o debilita estacionalmente y en forma aperiódica, también sufre variación dependiendo del desplazamiento de las masa de agua adyacentes, se lo denomina Frente Ecuatorial.

Este Frente separa las aguas tropicales de alta temperatura y baja salinidad ubicadas al norte de las mas frías y salinas aguas del Perú, e indica el área en el cual la parte superior de la extremadamente fuerte termoclina tropical llega a la superficie del mar.

Este Frente se extiende desde la costa, entre 0° y 5° S, hacia el Noroeste, atraviesa la línea

TABLA No 1

CUADRO DE RANGOS DE TEMPERATURA Y SALINIDAD DE LA MASAS DE
AGUA EN EL PACIFICO ECUATORIAL ORIENTAL

NOMBRE	TEMPERATURA	SALINIDAD
Agua Tropical Superficial (AST)	> 25° C	< 33.8 ppm
Agua Superficial Subtropical (ASST)	> 25° C	> 35.1 ppm
Agua Ecuatorial Superficial (AES)	19°C-25°C	33.8-35.1 ppm
Agua Costera Peruana (ACP)	15°C-19°C	34.9-35.1 ppm

equinoccial en el lado Este de las Islas Galápagos, y continúa entre 1°N y 3°N hacia el Oeste; es mucho mas fuerte cerca de la costa y se debilita hacia el Oeste donde la mezcla destruye su estructura.



BIBLIOTECA
NAC. ING.
MARITIMA

Desde Mayo hasta Noviembre este Frente es caracterizado por un muy agudo contraste de temperatura y salinidad, la variación en temperatura es algunas veces 5°C - 6°C y la diferencia en salinidad es de 1 ppm. De Enero a Mayo cuando las aguas al Sur de la línea equinoccial tienen temperaturas similares a las del Norte; el Frente está marcado por una sustancial diferencia de salinidad.

Bjerknes (1961) notó que las aguas mas cálidas al norte del Frente tienen una tendencia a fluir hacia el Sur sobre las aguas mas frías de acuerdo al gradiente de presión de las capas superficiales; en subsuperficie las capas mas frías fluyen hacia el Norte. Como resultado de éste movimiento el Frente podría avanzar hacia el sur como se ha observado, a menos que los vientos Alisios lo mantengan en su posición.

Con esta circulación convectiva en mente, Bjerknes (1961) argumenta que una desaparición de los Alisios del Sur por un tiempo considerable podría resultar en

un escurrimiento del agua cálida tropical sobre las aguas más frías de la corriente de Humboldt produciendo una situación comúnmente conocida como El Niño.

Entre la costa de Ecuador y Galápagos el Frente está presente durante casi todas las épocas aunque algunas veces puede que no esté totalmente desarrollado, ciertamente está sujeto a algunos movimientos laterales, y varía considerablemente en intensidad.

1.1.3.-CIRCULACION OCEANICA DE INFLUENCIA EN EL AREA DE ESTUDIO

El Océano Pacífico Tropical Oriental tiene una variable y aparentemente complicada circulación. Esta es dominada por la parte ecuatorial y oriental de los giros anticiclónicos en el Océano Pacífico Norte y Sur y, durante el año se pueden distinguir tres períodos cada uno con un patrón de circulación típico (Wyrтки, 1965).

El primer período se desarrolla de Agosto a Diciembre cuando la Contracorriente Ecuatorial está totalmente desarrollada y la Corriente Ecuatorial del Sur es también muy fuerte, especialmente en la parte situada al norte de la línea equinoccial (Wyrтки, 1965). Durante éste período el agua de la Contracorriente Ecuatorial fluye alrededor del Domo de Costa Rica

cerca de 9°N y 89°W y entra en la Corriente Ecuatorial del Norte entre 10°N y 20°N . Esta situación se desarrolla cuando la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) está en su posición mas al norte (10°N), coincidiendo aproximadamente con el límite Norte de la Contracorriente Ecuatorial. En Enero cuando la ZCIT comienza a moverse hacia el Sur, la Contracorriente Ecuatorial es mucho mas débil y se segmenta.

El segundo período de circulación se desarrolla entre Febrero y Abril, cuando la ZCIT está en su posición mas austral cerca de 3°N . La Contracorriente Ecuatorial está ausente durante éste período como lo demostró Knauss (1963), y el agua fluye al Oeste y al Noroeste. La Corriente Ecuatorial del Sur es mas débil y ocasionalmente se reportan corrientes hacia el Este cerca de la línea equinoccial, también la Corriente de Humboldt es relativamente débil y la Contracorriente del Perú es pronunciada.

El tercer período de circulación se desarrolla de Mayo a Julio, cuando la Contracorriente Ecuatorial se forma nuevamente. Durante éste período la ZCIT está cerca de 10°N , lo que permite el desarrollo de la Contracorriente Ecuatorial.

Al Oeste de Galápagos, a lo largo de la línea

equinoccial, ocasionalmente un flujo es hallado hacia el Este y ha sido reportado por muchos cruceros oceanográficos realizados por varias instituciones. Estas observaciones son consideradas por Knauss (1963) como una surgencia de la Subcorriente Ecuatorial o Corriente de Cromwell en ausencia de los vientos Alisios.

1.2.- OBTENCION DE LOS DATOS

La fuente de todos los datos utilizados y presentados en éste trabajo es el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR).

Los datos de NMM fueron obtenidos utilizando un mareógrafo Van Essen tipo estándar mecánico de boya flotante y de medición continua. Este tipo de mareógrafo es uno de los mas usados. Fig. 1.2.1.

La posición donde está ubicado el mareógrafo es: Latitud $02^{\circ} 12' S$ y Longitud $80^{\circ} 55' W$. El mecanismo consiste en conectar un flotador a un juego de poleas que permite el movimiento ascendente y descendente del flotador y la regulación de la amplitud en el registro. Por medio de bandas el flotador está conectado a un rollo de papel que se mueve al ritmo de reloj; el instrumento tiene la precisión de ± 01 cm; obteniéndose las alturas de marea a cada hora referidas al cero hidrográfico o sea al cero de

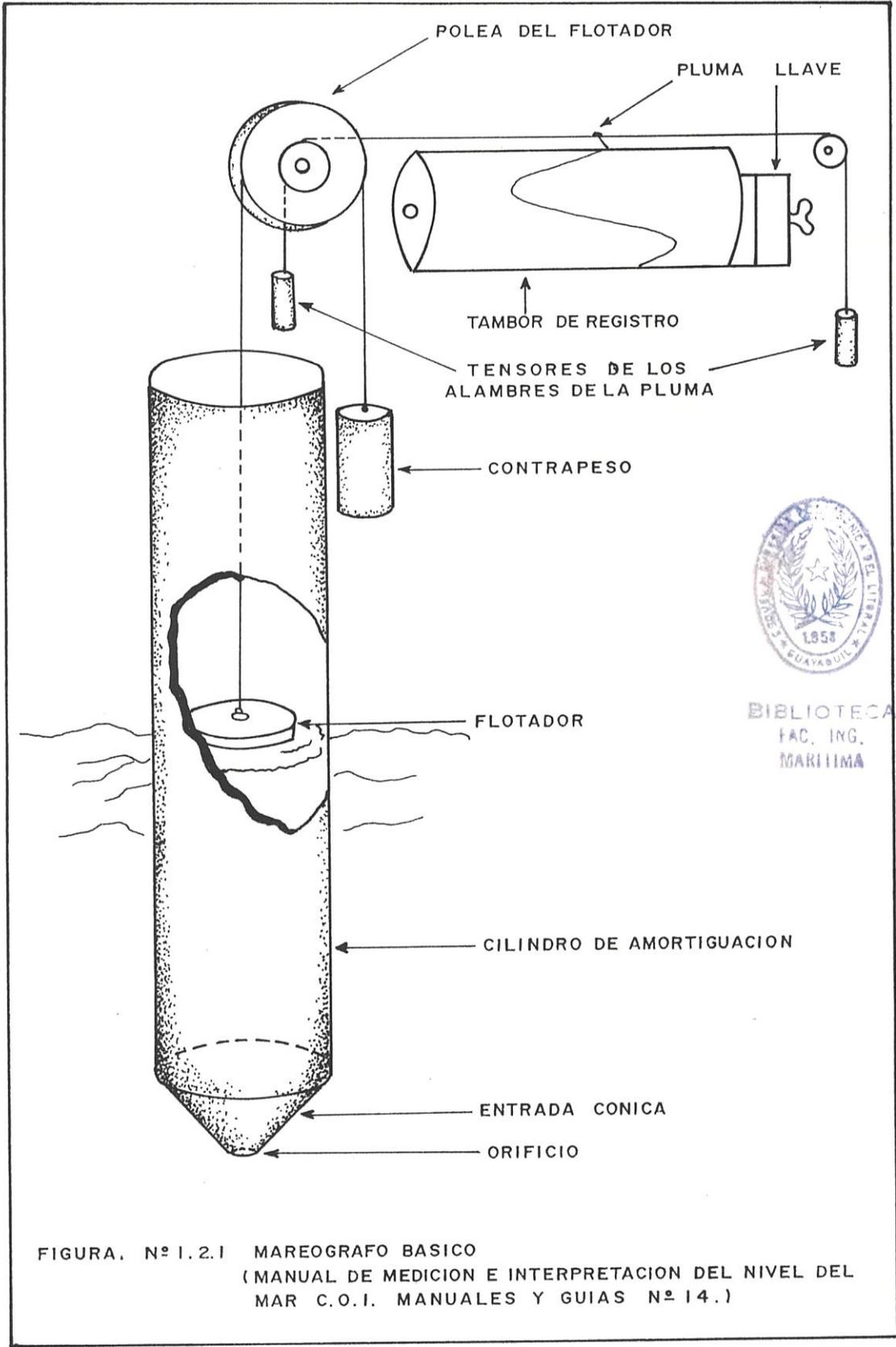


FIGURA. N° 1.2.1 MAREOGRAFO BASICO
(MANUAL DE MEDICION E INTERPRETACION DEL NIVEL DEL MAR C.O.I. MANUALES Y GUIAS N° 14.)

la regla de mareas que se encuentra junto al mareógrafo y que a su vez está referida a las mas bajas bajamares de sicigia (MLWS).

La temperatura superficial del mar (TSM) ha sido obtenida por medio de un termómetro graduado en grados Celsius el mismo que tiene una precisión de $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ (Fig. 1.2.2), de ésta forma se obtienen los datos diarios, que luego serán promediados para obtener los valores mensuales.

Como apoyo al estudio de la variación de los dos parámetros básicos que constituyen el objetivo central de éste trabajo, también consta en el presente trabajo un breve análisis del comportamiento de la presión atmosférica de la zona para lo cual se han utilizado los datos de la estación meteorológica de la FAE ubicada en la localidad de Salinas el cual es considerado como representativo de la región. Al igual que la TSM y NMM los datos meteorológicos que se analizan aquí fueron obtenidos en forma diaria a las horas sinópticas (07h00, 13h00, 19h00) según las regulaciones de la Organización Meteorológica Mundial, y luego promediados para obtener los valores mensuales.

1.3.-SERIES DE TIEMPO

La serie de temperatura superficial del mar consta de 13 años de mediciones continuas a partir de 1975 hasta 1987 los datos obtenidos en forma diaria se promedian cada



BIBLIOTECA
FAC. ING.
MARITIMA

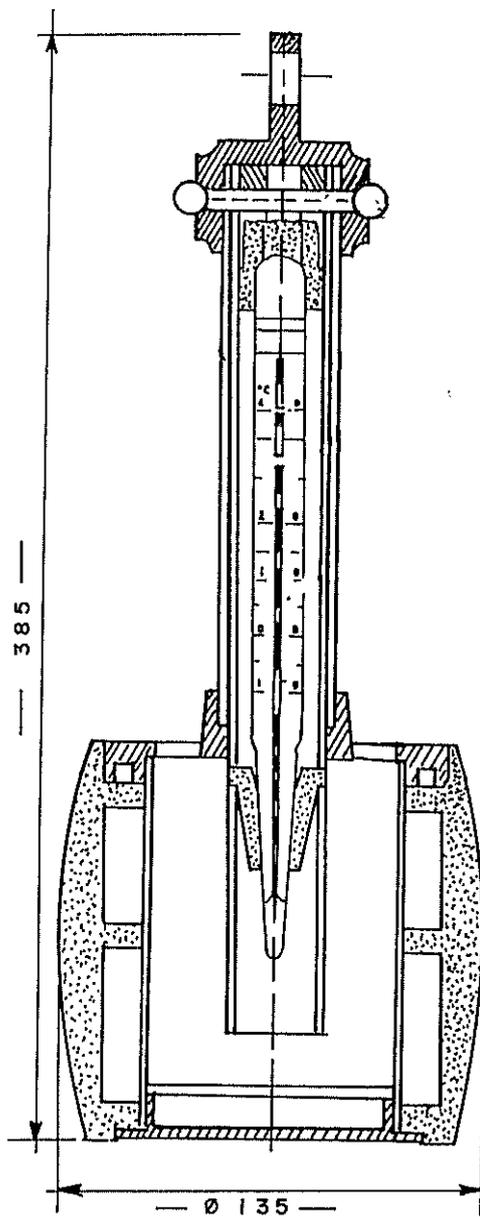
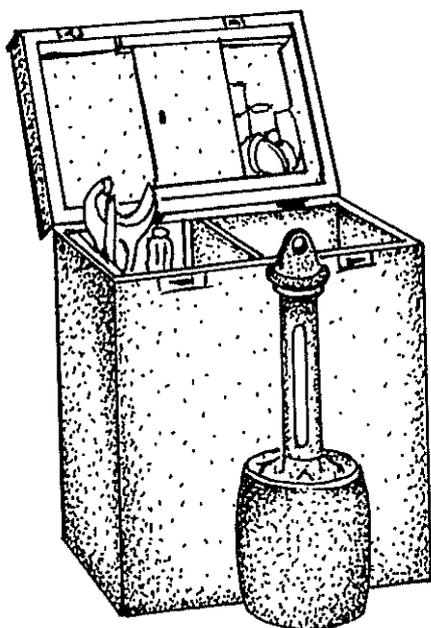
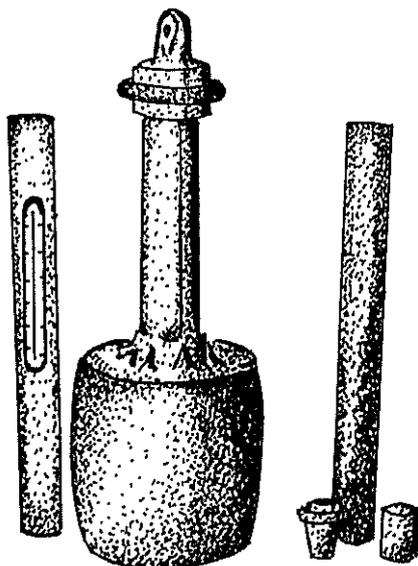


FIG. Nº 1.2.2. — TERMOMETRO DE BALDE

mes para dar como resultado los promedios mensuales (156 datos que corresponden a 12 por cada año). A causa de fallas en la observación, hubo algunos vacíos en la serie y por lo tanto espacios que no pudieron ser llenados (fig. 1.3.1).

La serie de nivel medio del mar original consta de 39 años de lecturas diarias desde 1949 hasta 1987, para el análisis de correlación no se usó la totalidad de la serie original sino solamente los datos de período comprendido entre 1975 hasta 1987 (Fig. 1.3.2), con el fin de que tenga la misma extensión que la serie de TSM; es a esta serie de 13 años de NMM que se le determinan los promedios mensuales, para el análisis estacional e interanual.

1.3.1.-DESCRIPCION DE LAS SERIES DE TIEMPO

La serie de TSM se promedia cada uno de los días de los 13 años para dar como resultado la variación estacional (365 datos en total correspondiente a un año que se denominará "el año normal").

El NMM también se promedió en forma diaria al igual que lo fue la TSM dando como resultado una nueva serie de 365 datos de extensión con el fin de obtener la variación estacional.

ESTACION SALINAS

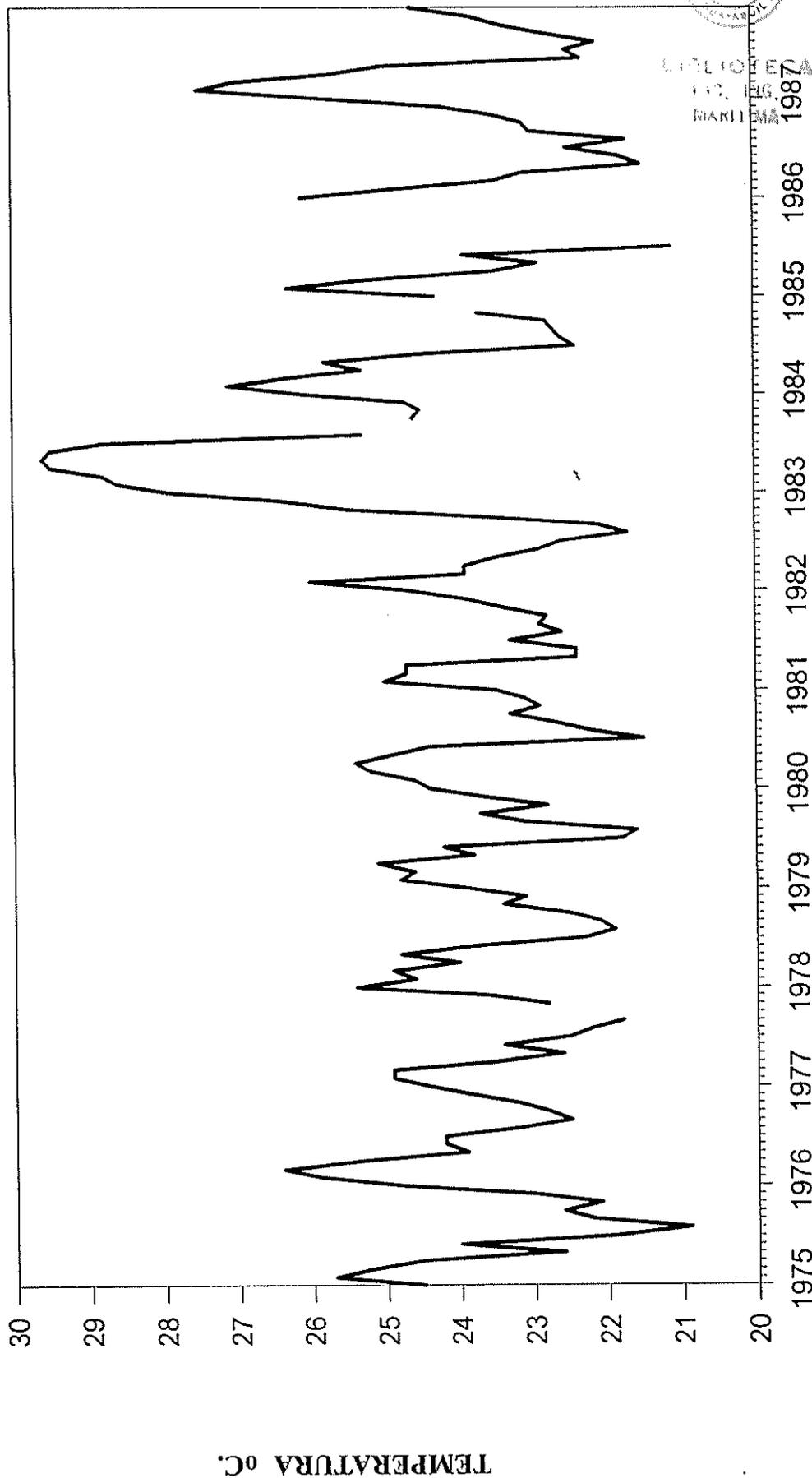


Fig. 1.3.1 PROMEDIOS MENSUALES DE TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR 1975-1987

ESTACION SALINAS

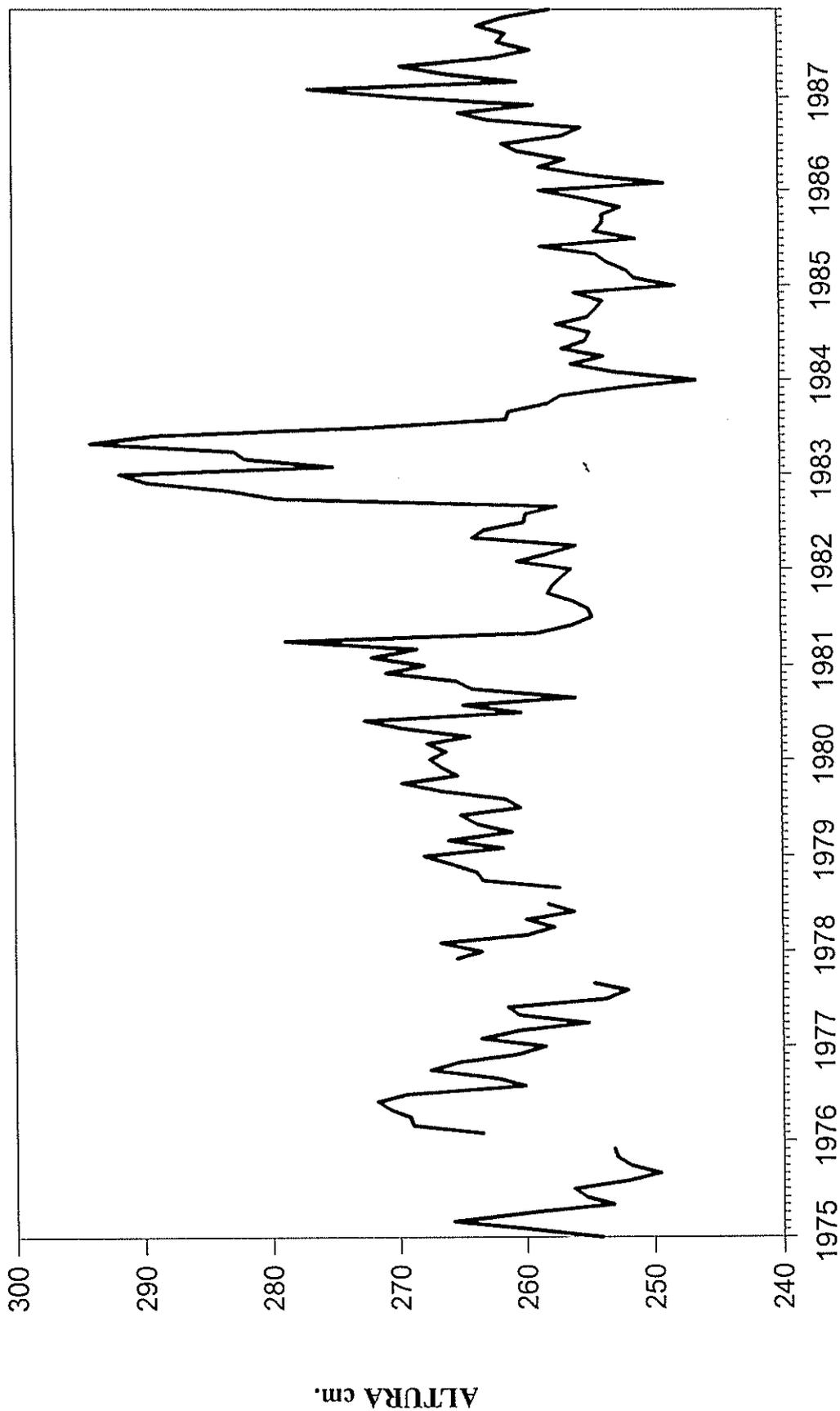


Fig. 1.3.2 PROMEDIOS MENSUALES DE NIVEL MEDIO DEL MAR 1975-1987

datos de extensión con el fin de obtener la variación estacional.

La serie de tiempo de la presión atmosférica al nivel del mar tiene el mismo período de muestreo que las dos series anteriores, es decir 13 años y servirá de apoyo al análisis de la series de TSM y NMM cuando se necesite aclarar el comportamiento de éstas en algunos años.

En las figuras 1.3.1 y 1.3.2 se observa la estacionalidad normal de las series que tienen un período de aproximadamente 6 meses. Además se aprecia claramente el comportamiento anómalo que hubo durante los años de ocurrencia del fenómeno El Niño.



ESCUELA DE INGENIERIA
FAC. ING.
MARITIMA

CAPITULO II

2.- ANALISIS ESTADISTICO DE LAS SERIES DE TIEMPO

Los datos de NMM y TSM son analizados usando la técnica de "suavizamiento" de curvas denominada "media corrida" o promedio móvil; ésta técnica tiene la propiedad de eliminar las variaciones menores a un cierto rango que se elige previamente y que permite una mejor apreciación de las variaciones superiores a dicho rango establecido.

Además, se obtiene de las series los valores promedios diarios multianuales, para de ésta forma determinar la variación estacional y compararla luego con el valor obtenido en cada uno de los años de la serie; los valores de la varianza y la covarianza son calculadas obteniéndose finalmente la correlación de las series.

TECNICA DE MEDIA CORRIDA.-

En la figura No. 2.1.a. se presenta una serie de tiempo de datos discretos los cuales representan promedios mensuales. A esta función se la multiplica por una nueva función (Fig. No.

2.1.b) que tiene la siguiente forma:

$$\frac{1}{n} \qquad 2.1$$

Donde n es el ancho del filtro, es decir que representa el valor del período fuera del cual se desea observar la variación. Se multiplica cada uno de los términos de la serie original con el filtro, luego se suman los datos que se obtienen y ese valor se escribe en el lugar $n/2$ de la serie original.

Se repite el proceso para el siguiente conjunto de n datos tomando como primer dato el valor número dos de la serie original y como último dato el valor $n+1$, luego desde el dato número 3 hasta el dato $n+2$ y así hasta llegar al último dato. Claramente la serie resultante (Fig No. 2.1.c) forma una nueva serie de valores considerablemente más suave.

Un ejemplo del funcionamiento del filtro, lo visualizamos tomando una serie hipotética compuesta por 100 datos que corresponden a promedios diarios a la cual se desea eliminar las variaciones menores a 6 días; el filtro usado será entonces igual a $1/6$. Se tomarán entonces los 6 primeros datos, se los suma y se los multiplica por el filtro $1/6$, ese resultado será el primer valor de la nueva serie y estará ubicada en el lugar $n/2$, es decir en el puesto número 3. Para

}



BIBLIOTECA
FAC. ING.
MARITIMA

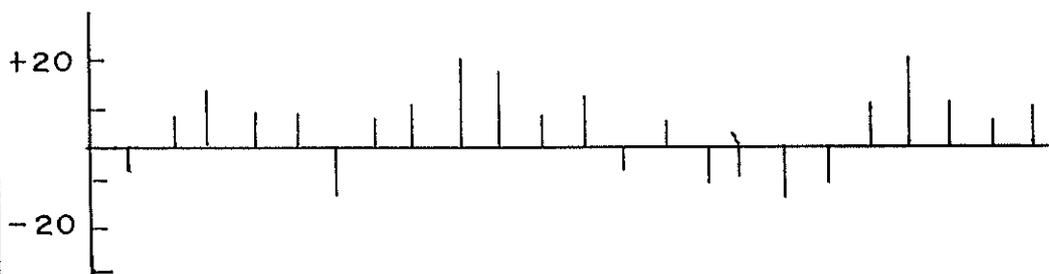


FIG. Nº 2.1.a. — SERIE DE TIEMPO SIN FILTRAR

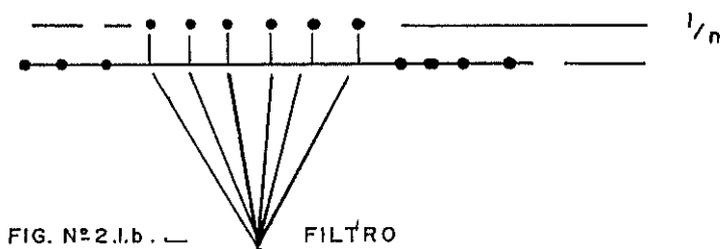


FIG. Nº 2.1.b. — FILTRO

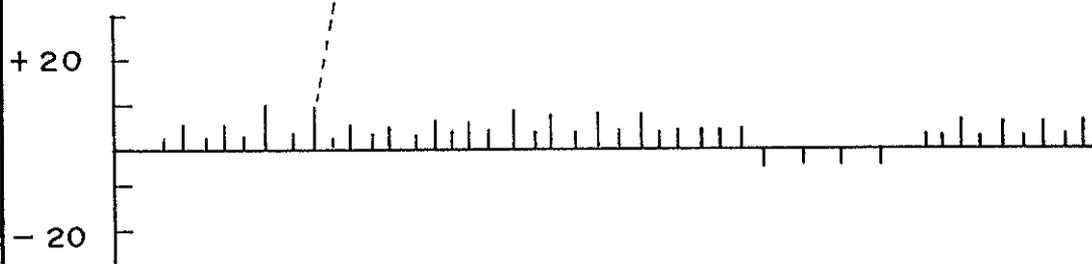


FIG. Nº 2.1.c. — SERIE DE TIEMPO RESULTANTE

calcular el segundo término de la nueva serie se sumarán los siguientes 6 puntos de la serie original empezando con el término segundo hasta el séptimo, se lo multiplica por el filtro $1/6$ y se lo ubica en el puesto número 4 de la serie resultante, y así con todos los demás términos de la serie original; al terminar de calcular el último término de la serie filtrada, la longitud de ésta será menor a la original en $n-1$ términos, es decir que si el filtro era de $1/6$ en una serie original de 100 datos, la serie resultante tendrá solamente 95 datos.

En efecto el promedio móvil es una operación de filtraje utilizada comúnmente para remover el ruido de alta frecuencia de los datos crudos.

2.1.VARIACION ESTACIONAL DE LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR

La temperatura superficial del mar varía por múltiples razones; una de ellas es consecuencia del desplazamiento de masas de agua de características diferentes hacia sitios alejados de su centro de formación.

Es debido a la rotación de la tierra sobre un eje inclinado con respecto al plano de traslación de la tierra alrededor del sol, que se presenta un desigual calentamiento solar sobre el planeta. Esto es una de las causas que determina que se observe sobre la región del Pacífico Oriental grandes variaciones de la presión



atmosférica y de las temperaturas del aire y del mar. Así, el centro de baja presión ubicado frente a Chile se ve modificado en intensidad anualmente; ésta variación afecta a los sistemas de vientos, las corrientes y por lo tanto provoca una alteración en los procesos convectivos del océano y la atmósfera, efectos que son perceptibles en nuestra área de estudio, inclusive.

En la zona de estudio se percibe el efecto que provoca éste centro de baja presión por medio de los sistemas de vientos y corrientes que actúan con mayor o menor intensidad dependiendo de la época del año.

Como ya se explicó en el Capítulo No.1, los sistemas de viento y corriente ejercen gran influencia sobre la zona costera del Ecuador, por la gran variabilidad en intensidad y posición, tal como se lo aprecia al estudiar la respuesta del Océano Ecuatorial a un relajamiento de los vientos Alisios (Philander 1981), formación y desarrollo del fenómeno de El Niño 1982-83 en aguas ecuatorianas (Moreano et. al. 1987), etc. Las corrientes oceánicas tienen un movimiento estacional que está dominado por el centro de baja presión del Pacífico Sur. Los sistemas de viento también son alterados por la actividad de dicho sistema de presión y por lo tanto también varían estacionalmente. La actividad convectiva de la ZCIT se modifica y hace que esta se desplace latitudinalmente limitada por la fuerza de los vientos.

Estos a su vez hacen posible el desplazamiento de las masas de agua adyacentes a nuestras costas (Cucalón 1982, Horel 1981, Rasmusson y Carpenter 1981).

En la Fig. No.1.3.1, del Capítulo 1, observamos la serie de tiempo de la temperatura superficial del mar obtenida en Salinas para el período 1975 - 1987. En ésta figura es notoria la variación de la temperatura y la presencia de valores máximos y mínimos con intervalos estacionales que fluctúan entre 4 y 8 meses, determinando la presencia de las estaciones climáticas en el año.

La primera época es de un gradual incremento de la TSM (Diciembre y Marzo de cada año), cuando se inicia el verano del Hemisferio Sur y el Centro de baja presión del Pacífico Sur está en menor actividad. Esta es también la época de debilitamiento de los sistemas de viento y corrientes del hemisferio Sur, observándose un desplazamiento hacia el Sur de la ZCIT (hasta 3°N) (Donguy y Henin 1980), lo cual a su vez es un indicio del comienzo de la estación lluviosa en nuestro País.

La otra época corresponde al período de Junio a Septiembre. Durante éstos meses el centro de baja presión del Pacífico Sur aumenta su actividad fortaleciendo el sistema de vientos Alisios del Sur, esto a su vez refuerza el sistema de corrientes en la zona de Perú-Chile inundando el área ecuatorial oriental con las frías y

salinas aguas subtropicales y replegando fuertemente hacia el norte a la ZCIT, lo que hace disminuir la actividad convectiva del área ecuatorial.

El ciclo se repite para años normales y la variación observada también presenta una periodicidad estacional afectada por variaciones irregulares, perceptibles en algunos años.

En años anormales como en 1976 y 1982-83 (mayor evento El Niño del siglo), la temperatura superficial del mar en su promedio mensual se incrementó en forma fuera de toda predicción posible, llegando a sobrepasar los 5°C de desviación de su valor normal mensual en Junio 83 (fig. No. 2.1.1).

Las desviaciones respecto de la normal multianual muestran las mayores anomalías ($> 1^{\circ}\text{C}$) presentes durante los años 1976, 1982-83 y 1987 considerados años anormales; las anomalías fueron menores a éste valor durante el resto del período observado.

El filtro utilizado para determinar más claramente la variación estacional se la aplica primeramente para 6 meses y lo demuestra la fig. No. 2.1.2.

En éste gráfico se han eliminado las variaciones con período menor a los 6 meses, se observa una gran

ESTACION SALINAS

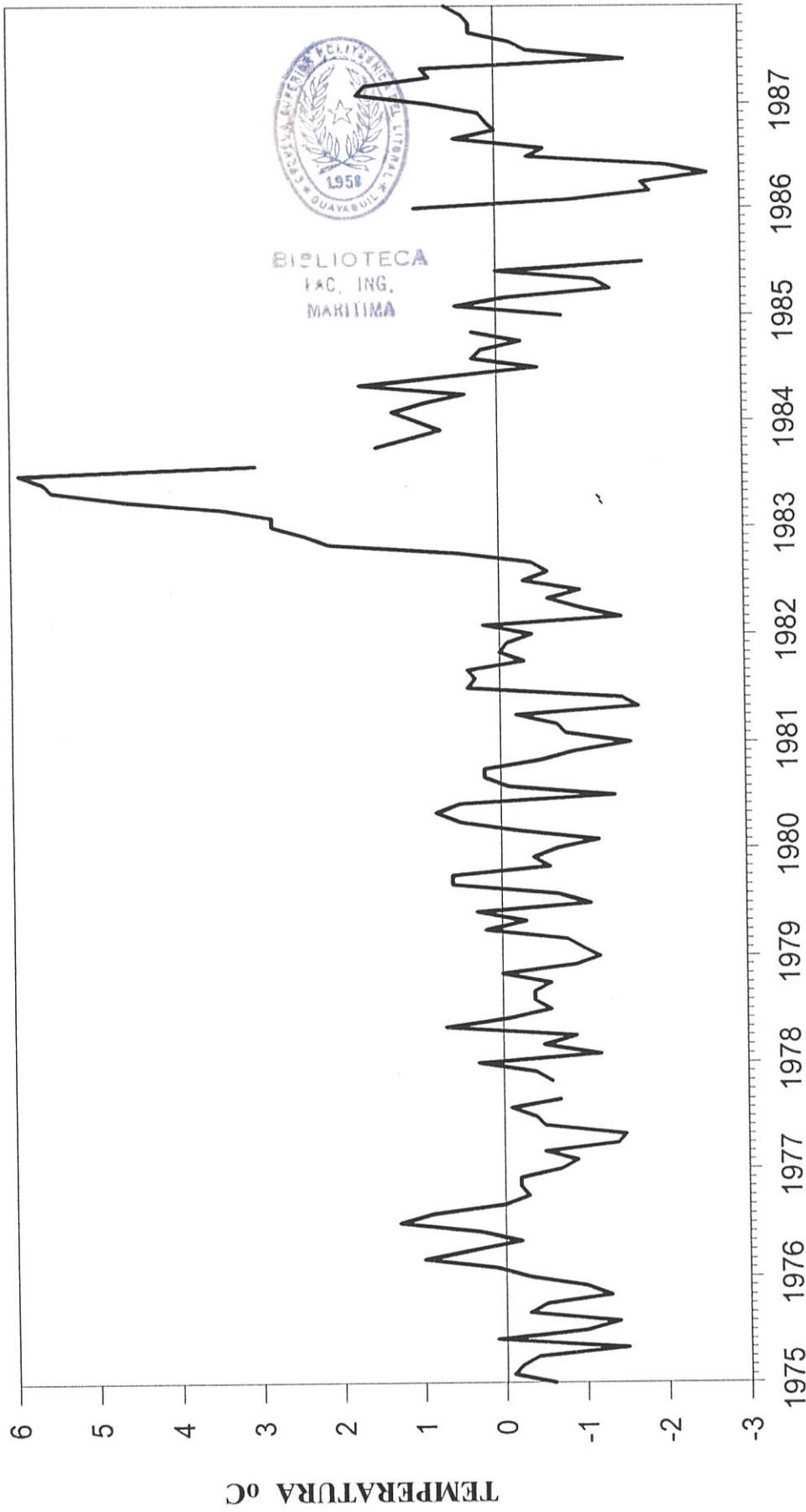


Fig. 2.1.1 ANOMALIAS MENSUALES DE TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR 1975-1987

ESTACION SALINAS

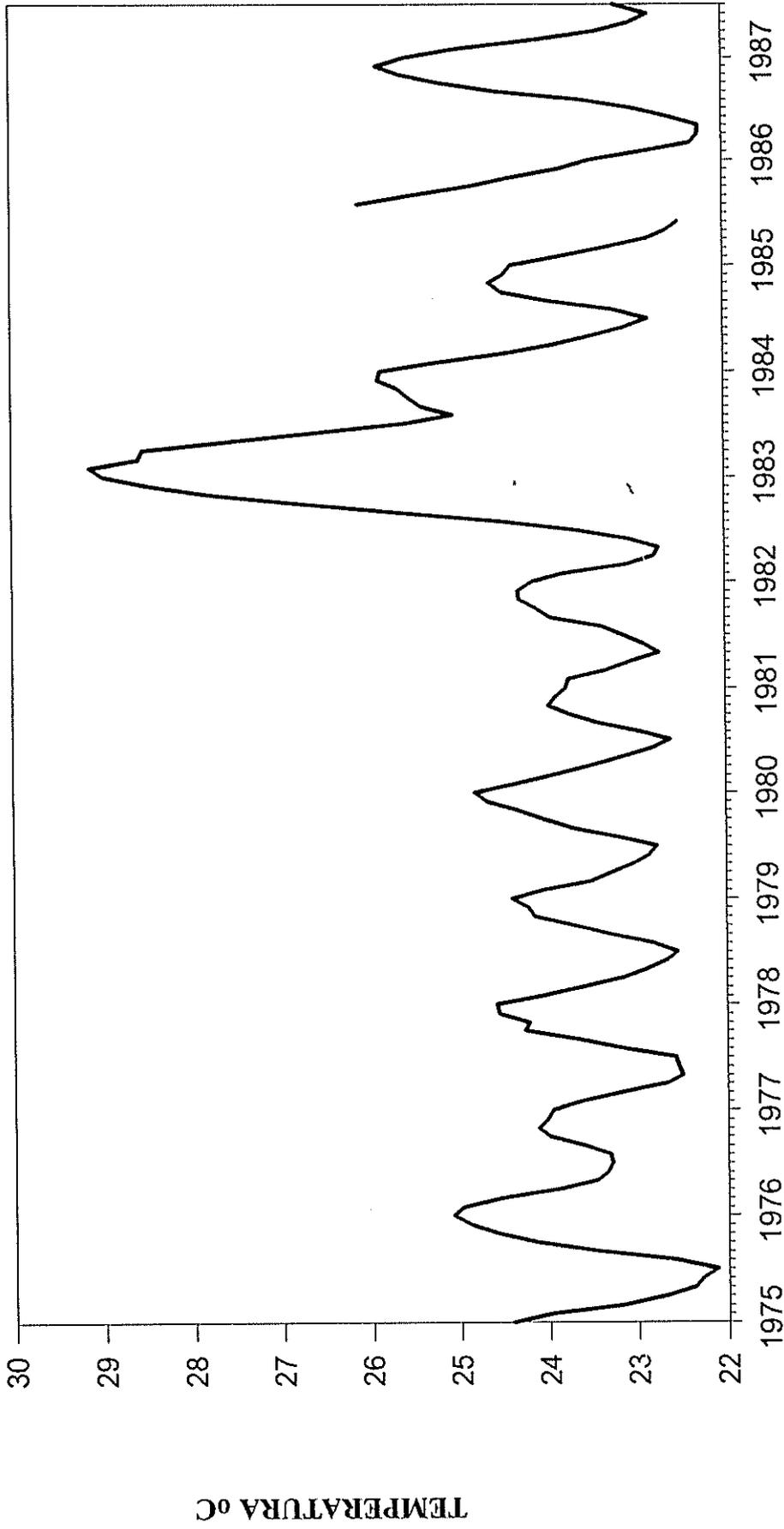


Fig. 2.1.2 PROMEDIOS MENSUALES DE TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR
FILTRADO A 6 MESES 1975-1987

uniformidad en el comportamiento de la temperatura excepto durante los años 1976, 1982-83 y 1987 que son años El Niño. De los demás años podríamos anotar que se presentan variaciones de otro tipo que hacen variar el perfil y que parece no tener periodicidad conocida, lo cual trataremos de dilucidar en el desarrollo de este trabajo.

Para determinar la variabilidad interanual se aplicó la misma técnica de medias móviles pero a grupos de datos de 12 meses en esta forma eliminamos las variaciones que sean menores a un año. El resultado se presenta en la Fig. No. 2.1.3 en la que resaltan tres picos altos, uno en 1976, 1987 y otro mayor en 1982-83 que corresponden a los eventos cálidos de El Niño.

2.2 VARIACION ESTACIONAL DEL NIVEL MEDIO DEL MAR

En forma similar a lo realizado con la TSM, se obtuvo los promedios diarios del NMM.

Debido a que la serie original usada para este análisis tiene una extensión de 39 años, la serie normal que servirá para conocer si existe o no una variación estacional será más realista que aquella de TSM durante el período 1975-1987; para efecto del análisis sin embargo se trabajó ambas series para el período de 13 años antedicho.

ESTACION SALINAS

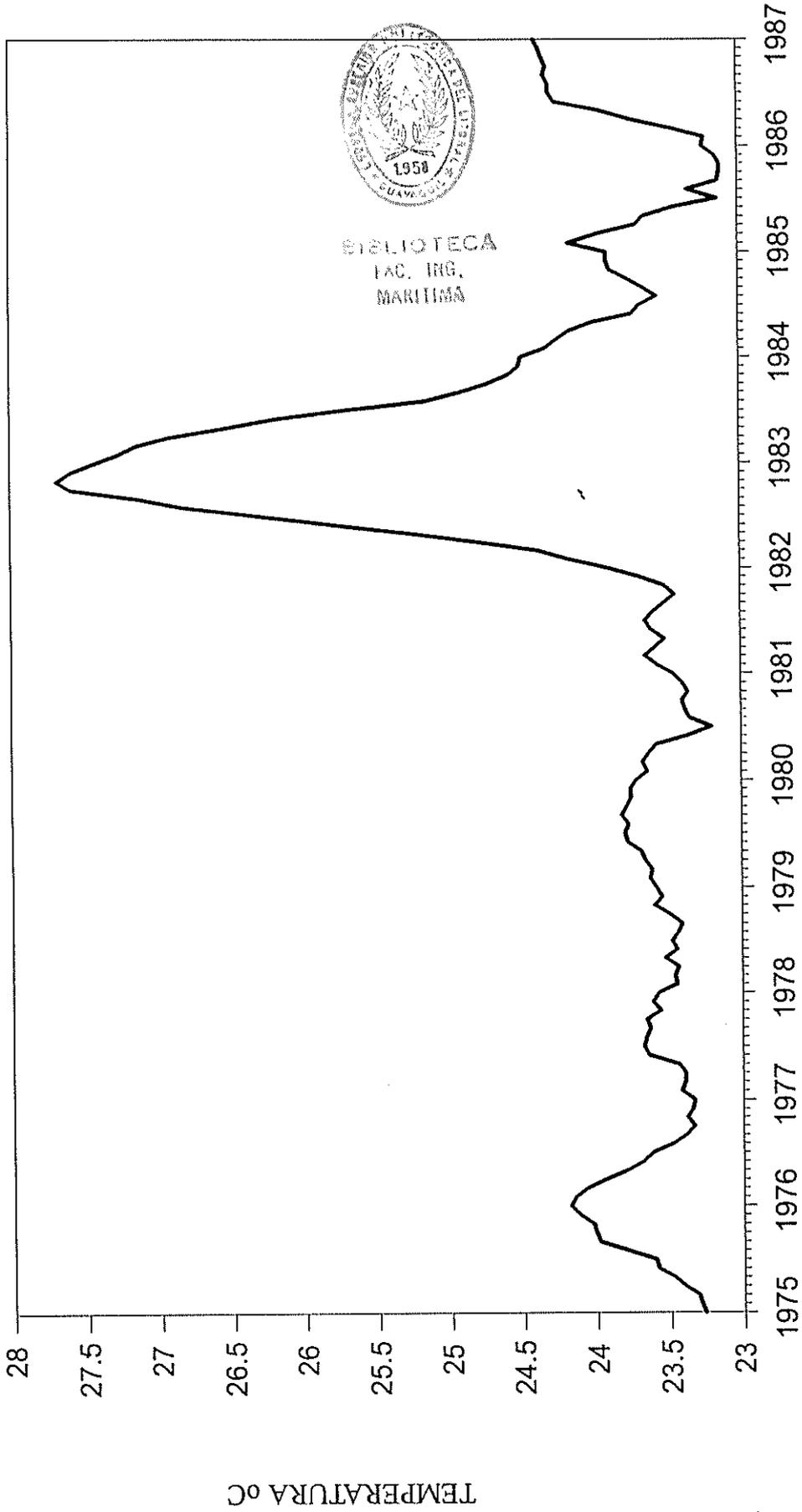


Fig. 2.1.3 PROMEDIOS MENSUALES DE TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR
FILTRADO A 12 MESES 1975-1987

Las variaciones del NMM no causadas por la marea, reflejan una variedad de cambios atmosféricos y oceánicos. En bajas latitudes donde las perturbaciones de la presión atmosférica son pequeñas, las causas predominantes de cambios no asociados con la marea en el nivel del mar se deben a reajustes internos de la estratificación por densidad a lo largo de la columna de agua. Estos reajustes podrían estar asociados con calentamientos o enfriamientos, precipitación, evaporación, o proceso de ondas internas a gran escala. Cualquier proceso que reemplace agua más densa por agua menos densa tiende a hacer que el nivel del mar se incremente.

La fig. No.1.3.2, del Capítulo 1, representa la serie de promedios mensuales de NMM para el período de estudio en La Libertad. Aquí las variaciones son más difíciles de separar a simple vista, por lo que se presume que las oscilaciones tengan diversos orígenes, de tal forma que sólo se analizan en ésta figura aquellas que guarden relación con las variaciones estacionales e interanuales establecidas previamente para la TSM.

Como primer punto anotaremos que el NMM durante todo el período de registro presentó variaciones de su normal multi anual en un rango de ± 5 cm, para años normales, (Fig. No. 2.2.1). Durante años anómalos la desviación del

ESTACION SALINAS

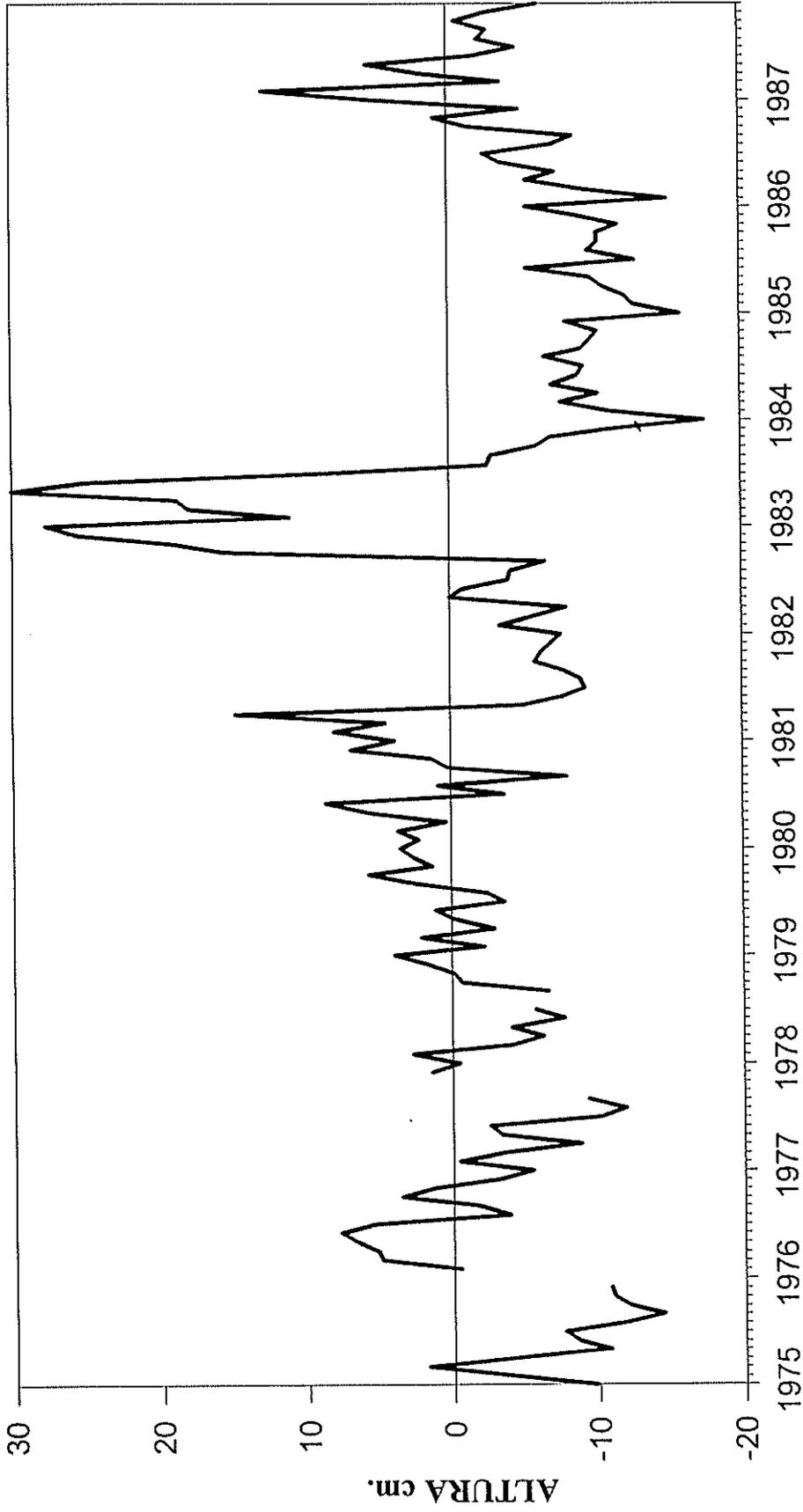


Fig. No. 2.2.1 ANOMALIAS MENSUALES DE NIVEL MEDIO DEL MAR (1975-1987)

NMM sobre la normal fue mayor a 10 cm. (1976, 1982-83, 1987) y además presenta un período de anomalías positivas ocurrido previo y durante los años 1980-1981 que no están catalogados como años El Niño. La variación anómala del año 1980-81 según Knox y Halpern (1982) podría estar asociado con un transporte de las corrientes ecuatoriales debido a una anomalía de los vientos del Oeste. Este pulso de los vientos originó ondas Kelvin que no están asociadas con eventos El Niño, sino que se trata de un evento solitario de corto período pero que sin embargo ocasionó una elevación del NMM que fue registrado en los mareógrafos ubicados en las Isla Galápagos (Knox y Halpern 1982) así como en la estación mareográfica de La Libertad.

Las variaciones estéricas (debidas a la presión atmosférica) son representativas en las estaciones costeras (Thompson 1979) y pueden modificar el NMM en algo más de ± 10 cm. (Patullo et. al 1955). En la fig. No. 2.2.2 se aprecia las anomalías de presión atmosférica obtenida en base a los promedios mensuales del período de registro, las desviaciones de la normal durante los años de ocurrencia de El Niño se diferencian claramente del resto de la serie, además el año 1980 presenta una anomalía negativa bastante pronunciada.

Esta serie de presión atmosférica fue filtrada posteriormente con una media corrida de 6 meses. Aquí se aprecia (fig. No. 2.2.3) la variación estacional que ésta

ESTACION SALINAS

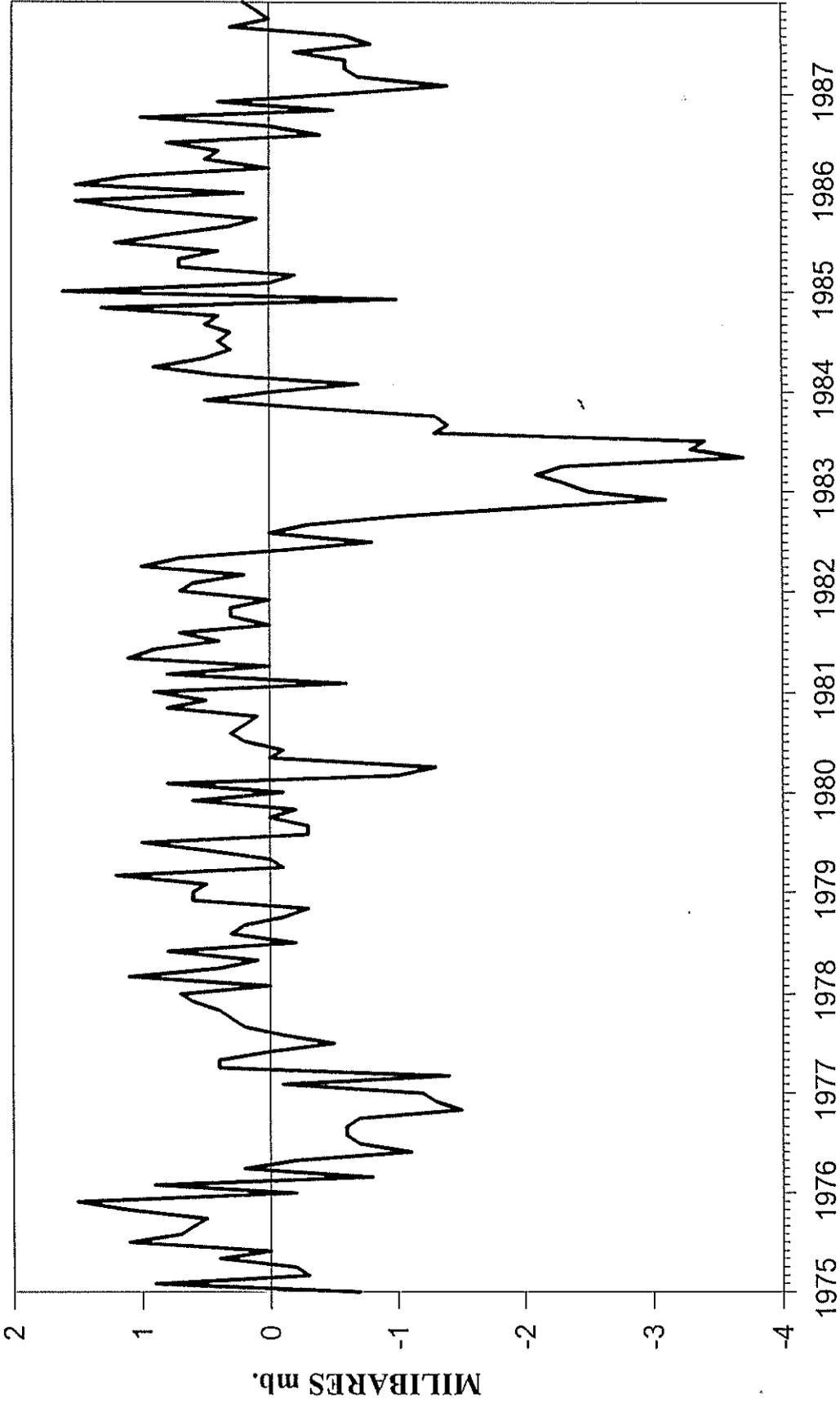
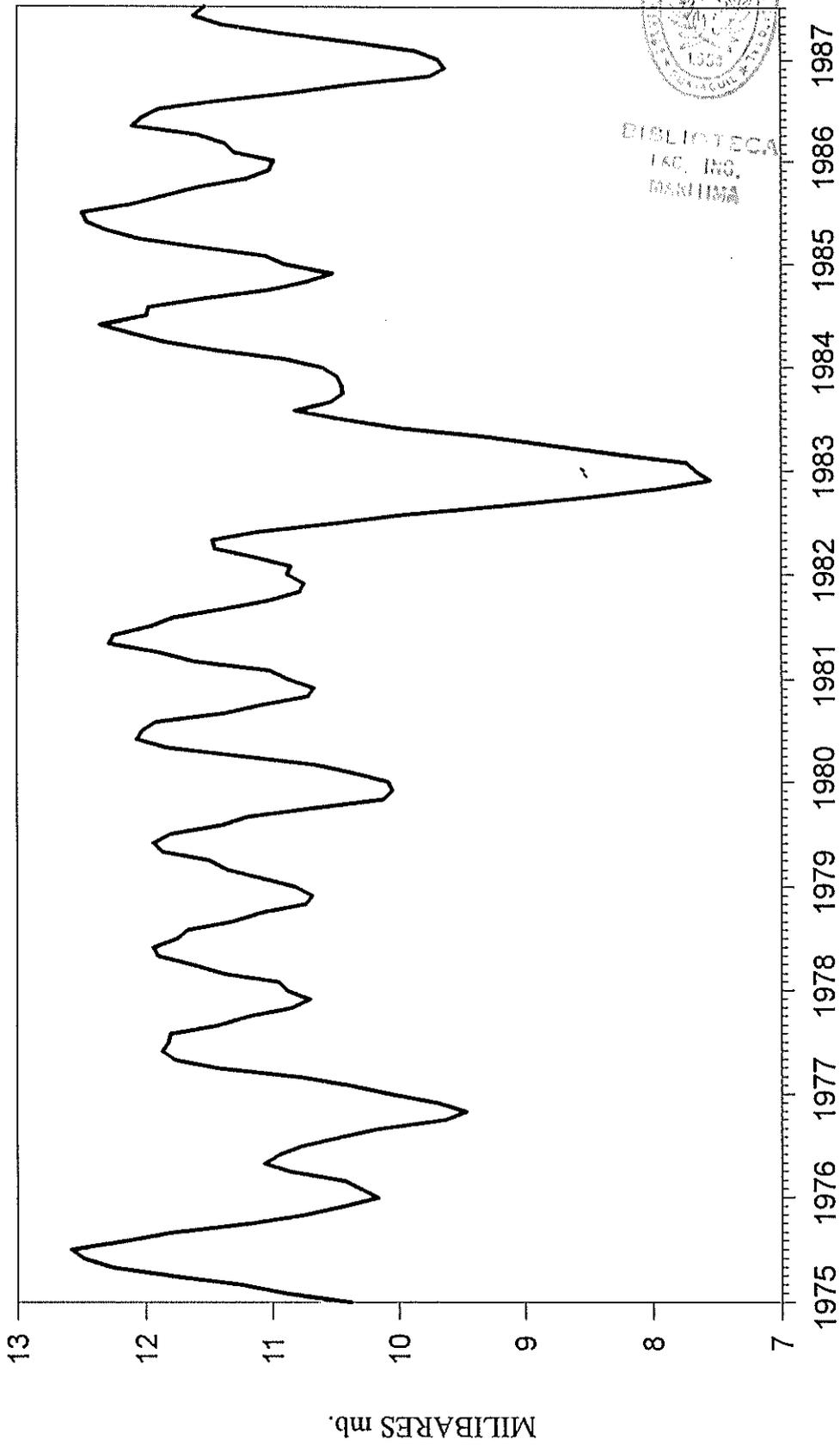


Fig. No. 2.2.2 ANOMALIAS MENSUALES DE PRESION ATMOSFERICA 1975-1987

ESTACION SALINAS



BIBLIOTECA
IAC. ING.
MARITIMA



Fig. No. 2.2.3 PROMEDIOS MENSUALES DE PRESION ATMOSFERICA
FILTRADO A 6 MESES 1975-1987

tuvo en años normales, la cual se compara bastante bien con la variación estacional de temperatura (fig. 2.1.2). También se observa los anómalos descensos de los años El Niño 1976, 1982-83, y 1987. En el año 1980 se nota un inusual descenso que no es estacional, y que coincide con las anomalías positivas de NMM durante el mismo período.

Se filtra luego la serie a 12 meses y se presenta en la figura No. 2.2.4; se observa aquí las bajas de presión anómala durante los años de ocurrencia de El Niño 1976, 1982-83 y 1987 así como también las anómalamente altas presiones del anti-El Niño de 1985. Además existió una baja presión durante 1979-80 que coincide con el aumento del NMM (fig. No. 2.2.1) en el mismo período y que es atribuido a una propagación de ondas Kelvin (Knox y Halpern 1982). Este comportamiento de la presión atmosférica guarda relación con el incremento inusual del NMM y coincide con lo establecieron previamente, Patullo et. al. (1955) y Thompson (1979) para varias estaciones en el Atlántico Norte y Ecuatorial.

Al aplicar a la serie original de NMM una media corrida de 6 meses, no observamos en la Fig. No. 2.2.5 ninguna periodicidad estacional y lo único que se resalta son las elevaciones inusuales ocurridas durante los eventos de El Niño 1976 y 1982-83 y 1987, al igual que una elevación observada para el período 1980-81 que, como ya se lo explicó, tampoco es estacional.

ESTACION SALINAS

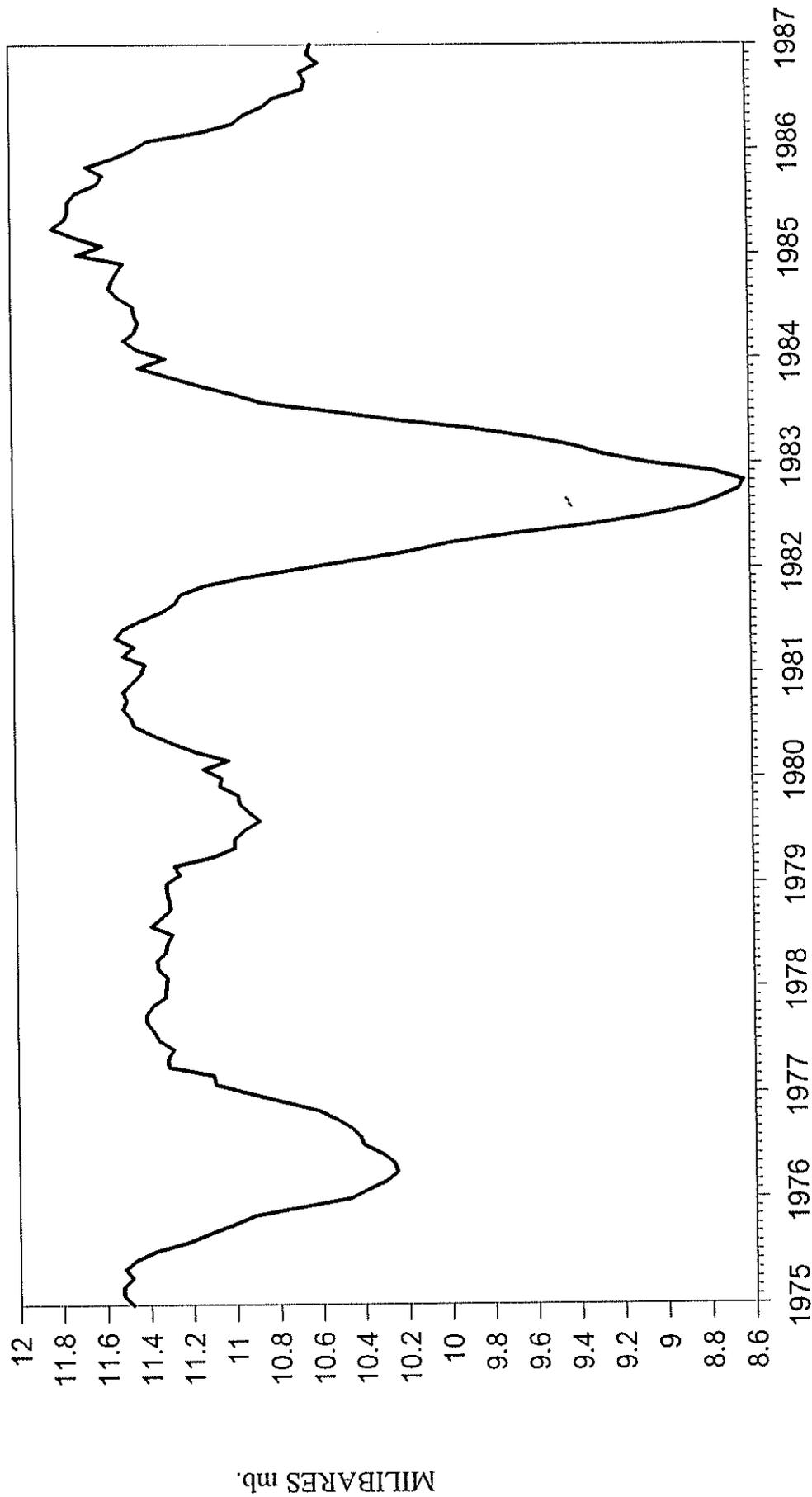


Fig. 2.2.4 PROMEDIOS MENSUALES DE PRESION ATMOSFERICA
FILTRADO A 12 MESES 1975-1987

ESTACION SALINAS

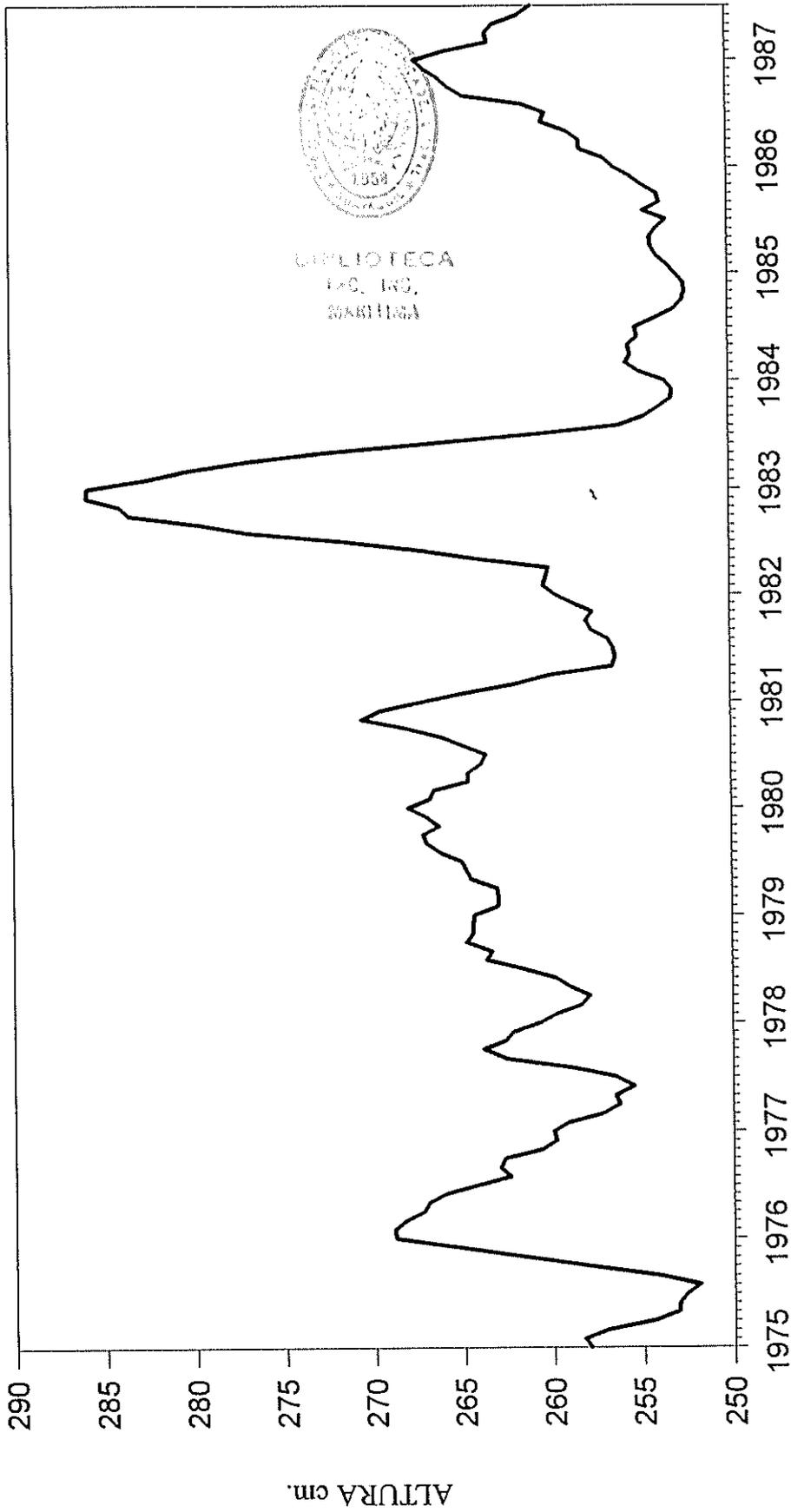


Fig. No. 2.2.5 PROMEDIOS MENSUALES DE NIVEL MEDIO DEL MAR
FILTRADO A 6 MESES. 1975-1987

La tendencia positiva del NMM durante los años 1978-1981 es coincidente con la tendencia de variación del IOS el cual, durante el mismo período se mantuvo con anomalías negativas (fig.2.2.7). Aparentemente hubo una alteración de los sistemas de presión que predominan en el Pacífico Sur y cuyo efecto permaneció por algunos meses, afectando levemente a algunos puertos del Pacífico Oriental como Callao (Lagos, 1987) y que fue registrado también en el Pacífico Central (Wyrcki, 1987). Este comportamiento del IOS fue causado por un leve incremento de la temperatura del mar en la región del Pacífico Central sin que esto haya afectado mayormente a las costas de Sudamérica como se lo aprecia en la figura No. 2.1.3 que corresponde a Libertad.

Finalmente en la Fig. No. 2.2.6 se muestra la misma serie filtrada con una media corrida de 12 meses; aquí se han eliminado las fluctuaciones menores a 12 meses, quedando únicamente las variaciones de los años 1976, 1982-83 y 1987 correspondiente a los eventos El Niño y además se hace más evidente el anómalo comportamiento de 1979-80 que indica que este tipo de variaciones de NMM influenciadas de una manera directa por la presión atmosférica es también interanual.

ESTACION SALINAS

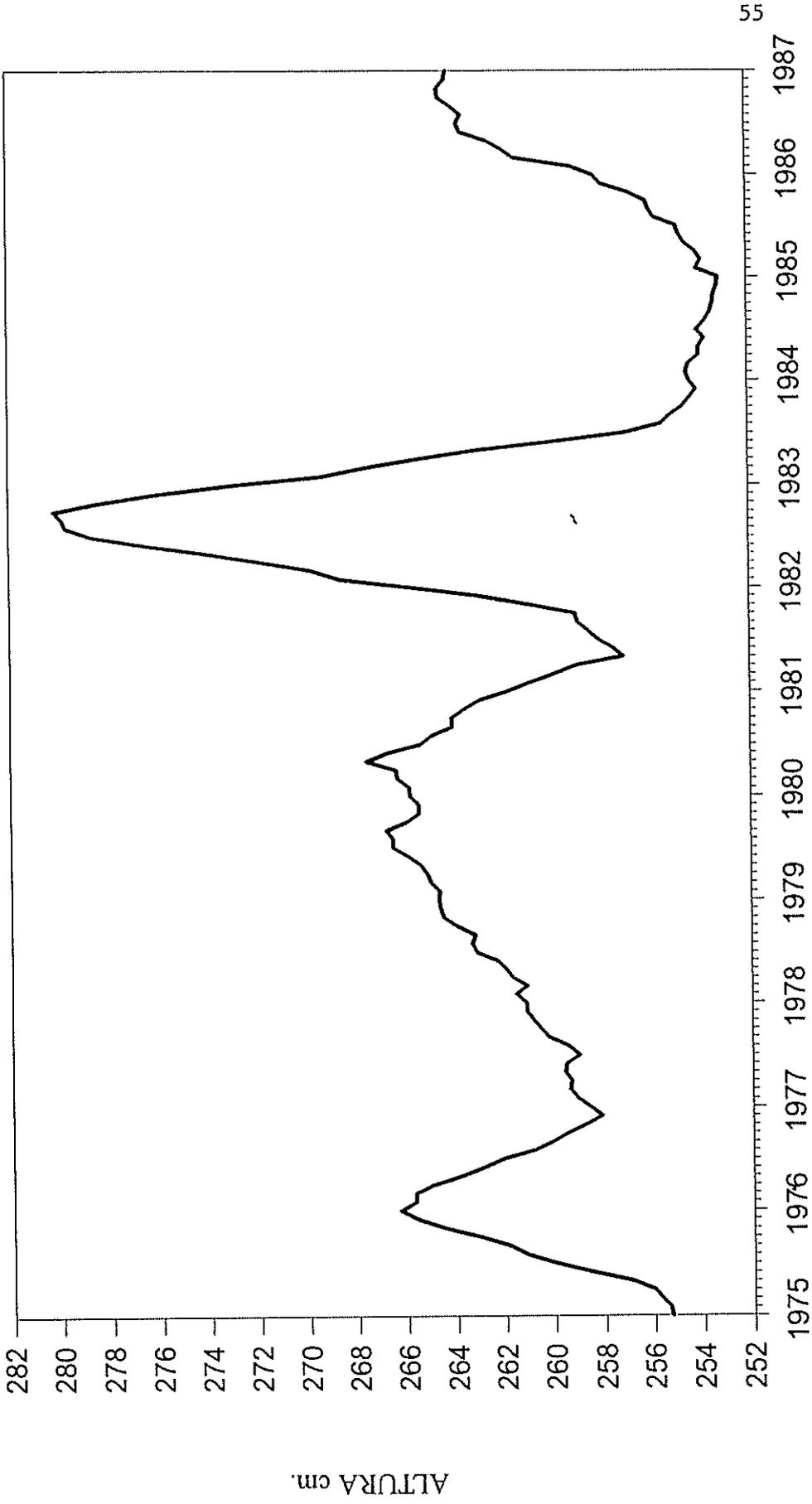


Fig. No. 2.2.6 PROMEDIOS MENSUALES DE NIVEL MEDIO DEL MAR
FILTRADO A 12 MESES 1975-1987

MEDIA CORRIDA DE DOCE MESES

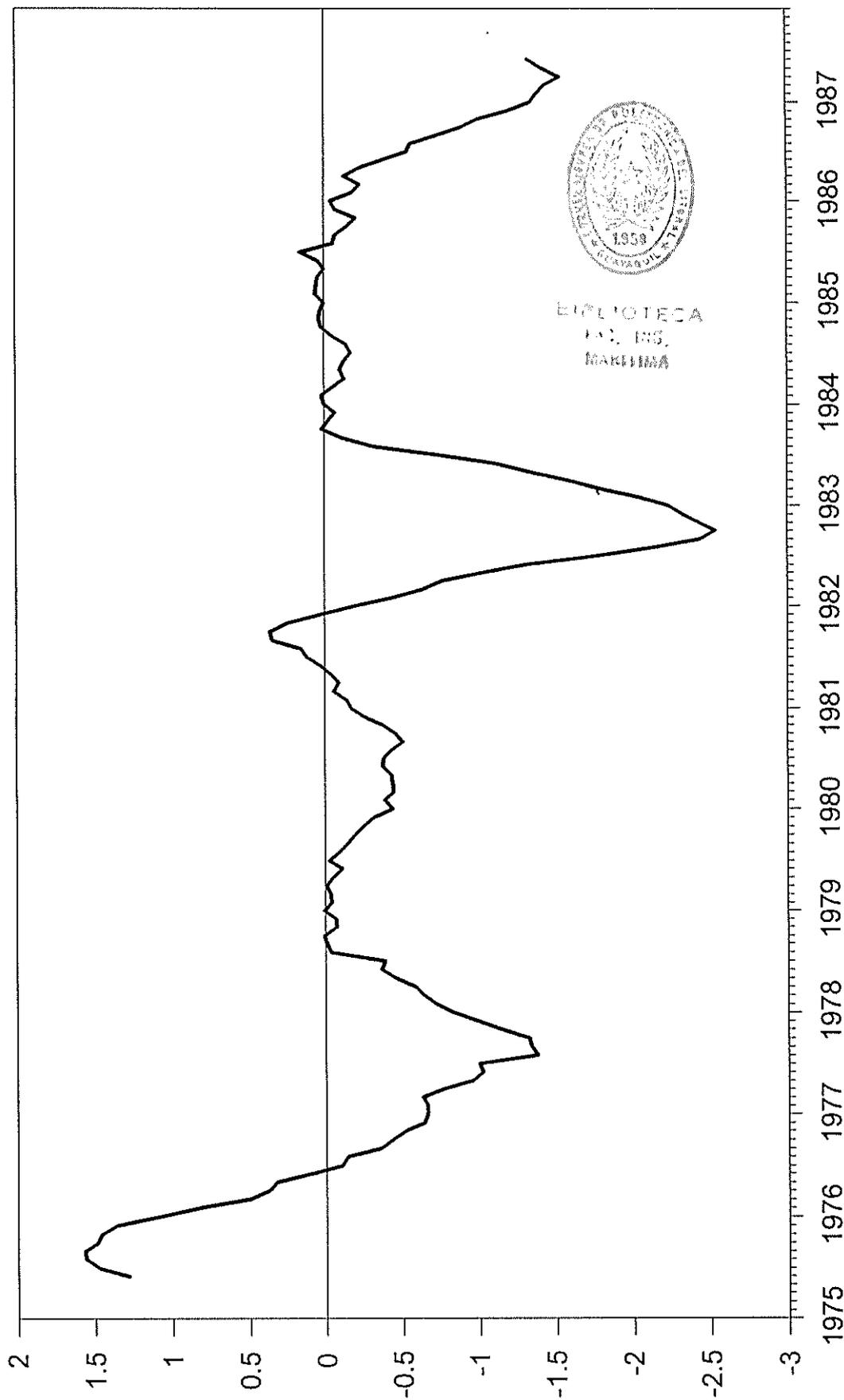


Fig. 2.2.7 ANOMALIAS MENSUALES DEL IOS. VERSION DEL CAC TOMADO DEL BOLETIN DE DIAGNOSTICO CLIMATICO No.8/89

2.3 COMPARACION DE LAS VARIACIONES ESTACIONALES DEL NIVEL MEDIO DEL MAR CON LA TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR

Para realizar la comparación de las variaciones estacionales de TSM y NMM se realizó un nuevo tipo de promedio. Se utilizó para ello la información diaria de NMM y TSM desde 1975 a 1987; cada punto fue obtenido promediando observaciones sobre cada día del año y cada particular día sobre el período de 13 años, de esta forma se obtuvo una serie que consta de 365 datos y que será considerada como la variación estacional tanto de TSM como de NMM.

La fig. No. 2.3.1 representa los promedios diarios de TSM para los 13 años de la serie. Aquí, la variación que se observa es claramente estacional; es decir que la TSM asciende desde Septiembre hasta Marzo y desciende desde Abril hasta Agosto.

En la figura No. 2.3.2 se observa los valores diarios de NMM. Esta curva representa la variación estacional normal, la forma que tiene nos induce a pensar que existen dos épocas marcadas para esta variación. La primera corresponde a los meses de Enero a Julio, que coincide con la época invernal, durante este tiempo el NMM presenta dos ascensos uno pequeño entre Enero y Marzo y el otro mayor entre Mayo y Junio. La segunda época corresponde a los meses de Julio a Diciembre y coincide

ESTACION SALINAS

VARIACION ESTACIONAL DE TSM

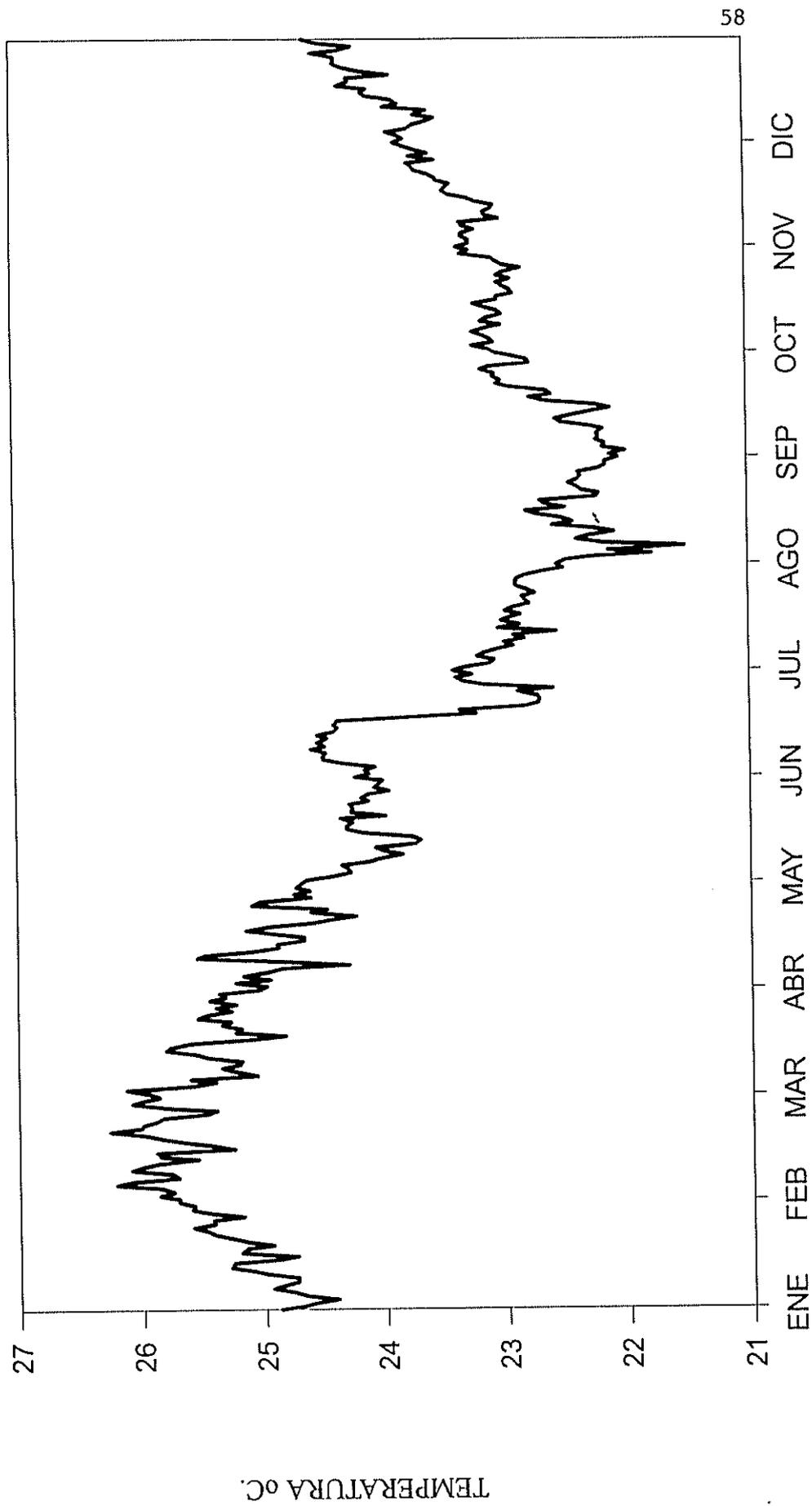


Fig. No. 2.3.1 PROMEDIOS DIARIOS DE TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR 1975-1987

ESTACION SALINAS

VARIACION ESTACIONAL

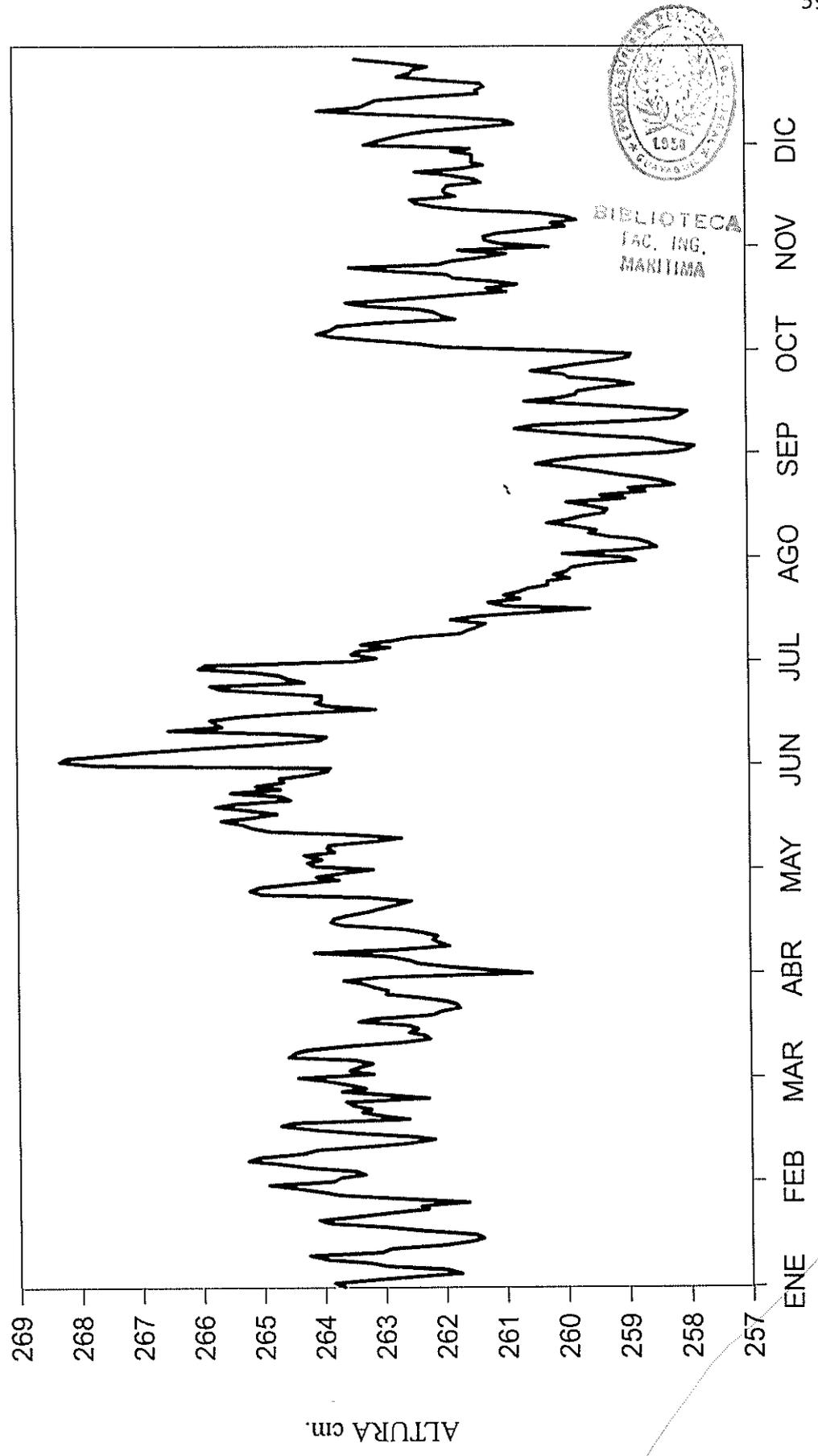


Fig. No. 2.3.2 PROMEDIOS DIARIOS DE NIVEL MEDIO DEL MAR 1975-1987

con el verano, en este período se distingue un descenso marcado del NMM durante los meses de Julio a Septiembre, para después ascender paulatinamente entre Octubre y Diciembre.

Como se puede apreciar en las figuras 2.3.1 y 2.3.2, en ambas series se distingue una variación estacional, encontrándose valores máximos así como también mínimos; los valores mínimos en ambas series se producen durante el mes de Agosto, pero los valores máximos de NMM se presentan en Junio, no así los máximos de TSM que se presentan durante el mes de Febrero.

ANALISIS DE CORRELACION

Una forma de determinar la correspondencia existente entre estos dos parámetros es aplicando un análisis de correlación a la serie.

La técnica que ha sido desarrollada para dar una medida del grado de asociación entre variables se conoce como "método de correlación". Este nombre refleja mas que "una medida de la correlación" una "medida del grado de asociación (o intensidad)". La resultante de la medida de correlación es usualmente reconocida como el "coeficiente de correlación".

El análisis de correlación realizado entre las series de tiempo de TSM y NMM ayuda a establecer una comparación

entre las mismas, siendo una técnica útil para establecer el grado en la cual éstas dos variables están interconectadas. Para este efecto se aplicó el concepto del coeficiente de correlación "Rxy" el cual es adimensional, y relaciona los cambios en el NMM con los cambios en TSM; se lo calculó usando el método de J. S. Bendat y A. G. Piersol (1980).

$$R_{xy} = \frac{\delta_{xy}}{\delta_x \delta_y} \quad (2.2.1)$$

$$\text{donde} \quad -1 < R_{xy} < 1 \quad (2.2.2)$$

δ_x i δ_y representa las desviaciones estándar de las variables; δ_{xy} es la covarianza de x i y. La covarianza es definida como :

$$\delta_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X)(Y_i - Y)}{(n-1)} \quad (2.2.3)$$

Se aplicó este análisis al período comprendido entre 1975 y 1987, extensión similar para ambas series, tomando registros independientes y adoptando el valor de $n=30$ días a fin de hacer que todos los meses tengan el mismo número de días; para ello los meses con 31 días se eliminó el último dato, y los que tenían menos días éstos fueron rellenados utilizando el método de mínimos cuadrados para interpolar los datos faltantes. Además se tomó como variable independiente $x=TSM$ y como variable

dependiente $y=NMM$ debido a que se trató de establecer en que extensión el NMM cambia con la TSM al igual que lo hizo Hickey B. (1975) para el Pacífico Ecuatorial.

Luego se obtuvo la covarianza y las desviaciones estándar, obteniéndose el coeficiente de correlación para cada uno de los 13 años de extensión de ambas series.

En circunstancias que no todos los meses del registro tenían el mismo número de datos tanto para la serie de TSM como para la serie de NMM (a causa de fallas en la adquisición de la información), se procedió a "completar" los días faltantes utilizando el mismo método descrito en el párrafo anterior, es decir de los mínimos cuadrados. Para este efecto se asumió un modelo lineal en el comportamiento de ambas series en todos los meses y en todos los años.

Este proceso se lo ejecutó para la serie en aquellos meses donde la falta de información fue menor al 20% del período total analizado; para los meses en que la falta era superior al 20% del total de datos a analizarse, se asumió como inexistente para todo el mes y no fue considerado para éste trabajo. Se lo hizo así para evitar el introducir un error muy apreciable en la estimación de un modelo lineal, para el comportamiento de la correlación de dos parámetros que podrían no estar comportándose linealmente.



BIBLIOTECA
FAC. ING.
MARITIMA

Los resultados del cálculo de "Rxy" para cada uno de los 13 años están en la tabla No 2. El promedio de los 13 años se encuentran en la columna bajo el título "normal" e indica los coeficientes de correlación obtenidos de las series consideradas normales de TSM y NMM.

Los valores cercanos a +1 indican una positiva asociación lineal entre las dos variables; los valores cercanos a -1 indican que existe una asociación negativa, o sea que la relación es mas bien inversa, y, los valores cercanos a cero indican que los parámetros no están relacionados en absoluto. Es así como se deben interpretar los resultados de una correlación de éste tipo, según Bendat 1980 y Ostle, 1963.

Tomando en cuenta que los datos utilizados para el cálculo del coeficiente de correlación normal son de una longitud de 30 días, se adoptó la distribución de t-Student para obtener los niveles de significancia para toda la serie, de ahí que para cada mes se obtuvo los intervalos de confianza para un 95 % de significación con 28 grados de libertad en cada mes.

TABLA No 2

COEFICIENTES DE CORRELACION PARA TODOS LOS ANOS DE LA SERIE

	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
ENE	0.960881	0.320357	-0.32919	0.388545	0.663984	0.9948417	0.958640
FEB	0.991755	0.936714	0.202282	0.811347	-0.22532	0.934259	0.739086
MAR	0.973245	-0.25717	-0.59723	0.645518	-0.88726	0.095151	0.973395
ABR	0.975911	-0.94454	0.875829	0.398743	-0.40698	-0.65943	-0.03829
MAY	0.143291	0.252781	0.690283	-0.11044	-0.27640	0.819836	0.914374
JUN	-0.80751	0.955686	0.956002	0.803110	0.718642	0.336952	-0.55607
JUL	0.841988	0.896951	-0.29225	-0.9288	0.944400	0.956647	0.128835
AGO	0.207178	0.434055	0.913258	0.903291	0.856035	0.325742	-0.36941
SEP	-0.39146	0.475897	-0.37234	0.774780	0.935197	0.214736	-0.73991
OCT	0.880039	0.088720	0.944051	-0.84582	0.783281	-0.28392	0.456872
NOV	0.186735	-0.94081	0.594133	0.058923	0.162812	0.909102	0.955548
DIC	-0.47553	-0.988449	-0.51022	-0.76689	-0.44078	-0.57581	0.798702

	1982	1983	1984	1985	1986	1987	NORMAL
ENE	0.771257	-0.65994	0.908833	0.931682	0.907986	0.954975	0.998045
FEB	0.948101	-0.87404	0.557888	0.706787	0.882906	0.711418	0.264359
MAR	-0.26066	-0.69673	0.637353	0.849201	-0.89079	-0.10795	0.979936
ABR	0.697886	0.241628	-0.35959	-0.83885	-0.32760	-0.81364	-0.9801
MAY	-0.20633	-0.78763	-0.20179	0.964648	0.955167	0.972892	-0.53269
JUN	0.721005	-0.91661	0.807570	0.891921	-0.28272	0.919812	0.937651
JUL	0.884459	0.960442	0.314184	0.959356	0.678099	-0.11457	0.922276
AGO	0.348309	0.944609	0.740041	-----	-0.86932	-0.70002	0.909060
SEP	0.897693	-0.96021	0.866619	-----	0.115839	0.856756	0.941816
OCT	0.518003	0.736723	0.557518	-----	0.913171	0.816449	-0.28504
NOV	0.870939	-0.43167	0.962968	-----	0.892943	-0.49611	0.877943
DIC	0.991214	0.769798	-0.80513	-----	-0.91783	-0.91432	0.917896



CAPITULO III

BIBLIOTECA
FAC. ING.
MARITIMA

3.- INTERPRETACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

Del análisis estacional de las series de tiempo se deduce que la Temperatura Superficial del Mar presenta características estacionales más acentuadas que el Nivel Medio del Mar, Figuras No. 2.1.2 y 2.1.3 respectivamente.

La técnica de media corrida con la que se ha determinado una periodicidad estacional para la TSM y NMM, tiene la gran ventaja de que favorece una mejor visualización de la ciclicidad y elimina las variaciones que no son necesarias para este estudio, por lo que se considera una herramienta de gran utilidad para el análisis de series de tiempo. Sin embargo no elimina los fenómenos de período superior al que se desea determinar. En otras palabras, la media corrida de 6 meses elimina las variaciones con período menor a este tiempo pero no las que tienen período mayor a el, es por esto que en las figuras No. 2.1.2 y 2.1.3 se aprecian claramente las variaciones debidas a los eventos El Niño.

En cierto modo esto es una desventaja del método, ya que para eliminar estas últimas variaciones se debería aplicar un filtro que sea igual al período de ocurrencia de El Niño el cual es aperiódico. Por otro lado cuando hay espacios blancos dentro de la serie, la media corrida puede presentar valores alejados de la realidad por causa de la discontinuidad al hacer el promedio. Sin embargo en la aplicación de la media corrida de 12 meses para la determinación de la variabilidad interanual en la TSM, la técnica dio muy buenos resultados, ya que se pudo diferenciar claramente la presencia de los eventos El Niño.

La técnica de media corrida aplicada a los datos de NMM determinó la presencia de una variabilidad estacional en el área de estudio (Fig. No. 2.2.5). Además se puede apreciar la presencia de una anómala elevación ocurrida durante el período 1978-81, la cual no guarda relación directa con la variación de la TSM en La Libertad durante el mismo período, sino con un fenómeno aislado de ondas Kelvin producto de una anomalía de los vientos del Oeste (Knox y Halpern, 1982). Este fenómeno ocurrido en el Pacífico Central, afectó el comportamiento del IOS, y fue sentido en otros puertos del Pacífico Sur como en el Callao (Lagos, 1987).

En la figura No. 2.2.6 se observa una variación interanual del NMM, en ella se aprecia muy claramente las elevaciones debidas a los fenómenos El Niño así como también la variación del período 1978-81. Una comparación de esta última figura con la figura No. 2.2.7 que corresponde a las anomalías del IOS, a la

cual se la ha filtrado con una media corrida de 12 meses, demuestra que un aumento en el NMM no está directamente relacionado a un incremento en las anomalías del IOS que aparenta un descenso en sus valores al mismo tiempo que el NMM se incrementa entre 1979-1980.

Para 1981 el NMM presentó un pequeño descenso a principios de año, sin embargo, la tendencia de este parámetro es hacia el alza, al igual que para el IOS, el mismo año.

Esto sugiere que éstos dos parámetros no guardan relación directa aunque en cierta medida el NMM está influenciado por las perturbaciones atmosféricas ocurridas en otras regiones del Pacífico a la vez que por variaciones en la TSM en sitios puntuales de la costa sur del Pacífico Oriental, ya que las anomalías de TSM y de NMM se calcularon en la misma forma.

Para comprobar ésto y además para determinar en qué medida están asociados éstos dos parámetros analizaremos las figuras No. 2.3.1 y 2.3.2, éstas representan la variación estacional de TSM y NMM respectivamente durante un año. Superponiendo estas dos figuras se observa un grado aparente de similitud en el comportamiento de ambas series en ciertos meses aunque debido a las pequeñas fluctuaciones habidas durante el año, no se las aprecia bien. Un filtrado y una posterior aplicación de un análisis de correlación para ambas series determinó la existencia de altos coeficientes entre Junio y Septiembre y en Noviembre y Enero.

Entonces podríamos decir al hacer el análisis de correlación simple que cuando las series originales de TSM y NMM en La Libertad están formadas por valores normales diarios y se han eliminado las variaciones menores a un año, están bien relacionadas (Bendat y Piersol, 1980).

En cuanto a la presión atmosférica y el Índice de Oscilación del Sur podemos ver de las figuras No.2.2.4 y 2.2.7 respectivamente, presentan comportamientos similares lo cual corresponde a los cánones establecidos, inclusive pasara las épocas en que se ha presentado el fenómeno El Niño. Es por ésto que se ha tomado a la presión atmosférica local como un indicativo de lo que podría estar ocurriendo el sistema de presión del Pacífico Sud Oriental.



CAPITULO IV

BIBLIOTECA
FAC. ING.
MARITIMA

4.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del análisis presentado en los Caps. 2 y 3 se concluye lo siguiente:

- 1.- La técnica de la media corrida o promedio móvil que se aplicó demostró la periodicidad estacional de la TSM en forma muy clara, y la de NMM aunque no en la misma forma que la de TSM, para comprobarlo basta con observar las figuras No. 2.3.1 y 2.3.2
- 2.- El análisis de correlación es un buen método para determinar en qué medida están relacionadas dos variables y en qué períodos es más evidente. Lo que aquí se obtuvo es sólo una muestra de lo que se podría hacer con otros parámetros y con otras estaciones costeras.
- 3.- Considerando los datos objeto de este trabajo, se puede concluir que el NMM y la TSM tienen una buena correlación tanto en la estación seca como en la estación húmeda.

- 4.- La serie de NMM, estudiada aquí presenta variaciones debidas a perturbaciones atmosféricas en el Pacífico central; las cuales parecen ser bastante fuertes capaces de generar ondas Kelvin causantes de elevaciones que fueron registradas en los mareógrafos de varios puertos del Pacífico Sur (Knox y Halpern, 1982; Lagos, 1987); y se lo puede apreciar en la Fig. No.2.2.6 durante los años 1979-80, en que los incrementos anómalos en el NMM no se debieron a un incremento en la TSM.
- 5.- Es importante remarcar que, para estudios costeros en el área del Pacífico Este, se deberá tener muy en cuenta las variaciones de TSM no sólo en la zona costera sino también en el Pacífico Ecuatorial Central, ya que las alteraciones en sitios tan alejados de la misma pueden afectar el NMM en nuestras costas.
- 6.- Además se debe resaltar el hecho que la utilización de series de tiempo largas, incrementa la opción de identificar fenómenos de tipo periódico o aperiódico que permitan un mejor análisis estacional e interanual de las series, recomendando por consiguiente la continuación del estudio con más información. Adicionalmente incluir y relacionar la información disponible de otras estaciones costeras del Pacífico Sur Este.



BIBLIOTECA
IAC. I. C.
MARITIMA

7.- Una conclusión importante obtenida de este trabajo, es haber determinado que no ha sido suficiente analizar la TSM como único agente causante de las modificaciones del NMM, sino que este se último se vea fuertemente influenciado por perturbaciones atmosféricas. Esto genera una recomendación, por lo que sugiero que para futuros trabajos de correlación de parámetros, se haga uso además de los parámetros meteorológicos tales como: vientos en el Pacífico Central y en las estaciones costeras, presión atmosférica, etc., de la misma forma que lo planteó B. Hickey (1975) para su estudio entre las Islas del Pacífico Ecuatorial y estaciones costeras ubicadas entre 10°N - 10°S y entre la costa de Sud América y 110°W , cuyos resultados muestran similitud con los obtenidos en este trabajo, en cuanto a la correlación de los

BIBLIOGRAFIA

1. Anuarios meteorológicos INAMHI 1975 - 1985
2. Wolf. E. ARNATZ y Julio Valdivia. 1985: Visión integral del problema El Niño. Boletín del Instituto del mar del Perú. Callao Perú. 1985 pag. 5 - 10
3. T. P. BARNETT and K. Hasselman, 1979: Technical of Lineal Prediction with application to oceanics and atmospheric fields in the Tropical Pacific. Rev. Geophys. space, vol. 17
4. -----, and Patzert, 1980: Scales of thermal variability in the Tropical Pacific. Jour. Phys. Oceanogr. Vol. 10 No. 4
5. J. S. BENDAT y A. G. Piersol, 1980: Engineering Applications of Correlation and Spectral Analysis. Wiley Interscience Publication, John Wiley and Sons. Cap. 3
6. J. BJERKNES, 1961: El Niño study based on analisis of ocean surface temperatures. Bull. Int. Tropical Tuna, Vol. 5

7. M. A. CANE, 1984: Modeling sea level during El Niño. J. Phis. Oceanogr. Vol 14 No 12. 1864-1873
8. W. CHIU and A. Lo, 1979: A preliminary study of possible statistical relationship between the Tropical Pacific sea surface temperature and atmospheric circulation. Mon. Wea. Rev. No 108
9. E. CUCALON, 1982: Oceanografía Física de El Niño 1976. Tesis de Grado Oceanografía. ESPOL
10. R. DAVIS, 1976: Predictability of sea surface temperature and sea level pressure anomalies over the north Pacific Ocean. J. Phis. Oceanogr. Vol. 6 No.3 249-266
11. -----, 1978: Predictability of the sea level anomalies over the north Pacific Oceans, Jour. Phys. Oceanogr. Vol. 8
12. J. R. DONGUY y C. Henin, 1980: Surface Condition in the Eastern Tropical Pacific related to the Intertropical Convergence Zone of the winds. Deep Sea Res. vol 27, 693 - 714
13. P. W. DON, 1979: Low frecuency sea level variability on the Middle Atlantic Bigth. Jour. Mar. Res. 37 No. 4 pag. 683 - 697



BIBLIOTECA
 LAS INGENIERIA
 MARITIMA

14. D.B. ENFIELD, 1975: Oceanografía de la Región Norte del Frente Ecuatorial Aspectos Físicos. Departamento de Ciencias del Mar, INOCAR.
15. -----, and J. S. Allen, 1980: On the structure and dynamics of monthly mean sea level anomalies along the Pacific coast of North and South America. J. Phys. Oceanogr. Vol 10 No. 4
16. J. GRAFF, 1979: Concerning the recurrence of abnormal sea levels. Coastal Engeneering. Vol. 2 177-187
17. O. GUILLEN , W. Lostaunan, y L. Jacinto, 1985: Características del Fenómeno El Niño 82-83. Boletín del Instituto del Mar del Perú 1985, Callao Perú, pag. 11-22
18. K. HASSELMAN and T.P. Barnett, 1981: Technical of lineal predictions for systems with periodic statistics, J. Atmos. Science, Vol. 38 pp. 2275 - 2283
19. J.D. HOREL, 1982: On the annual cycle of the Tropical Pacific Atmosphere and the Ocean. Monthly Weather Rev. Vol 110 pp. 1863 - 1878
20. B. HICKEY ,1975: Relationship between fluctuation in sea level, wind stress and sea surface temperature in the equatorial pacific. J. Phys. Oceanogr. Vol. 5

21. R. JORDAN, 1985: Los efectos de El Niño 1982-1983 y los mecanismos internacionales para la investigación. Boletín del Instituto del Mar del Peru. Callao Perú, 1985 pag. 207 - 215
22. J. A. KNAUSS, 1963: Equatorial Current System. The Sea, Vol 7. Hill Ed., Johnn Willey and Sons, 235 - 252
23. P. LAGOS, 1987: Eventos ambientales relacionados con El Niño. Revista de la CPPS No. 16, 221 - 266
24. J. MC.CREARY, 1976: Eastern Tropical Oceans response to changing wind systems with applications to El Niño. J. Phys. Oceanogr. No. 6 pag.635 - 645
25. H. MOREANO et. al. 1986: El Niño su manifestación y desarrollo en aguas ecuatorianas. Acta Oceanográfica del Pacífico, Vol. 3 No. 1
26. J. PATULLO, W. Munk, R. Revelle and E. Strong:1955. The seasonal oscillation in sea level. J. Mar. Res. No.14 88-155.
27. S. PHILANDER, 1981: The response of Equatorial Oceans to a relaxation of the Trade Winds. J. Phys. Oceanogr. Vol. 11
28. E. RASMUSSEN and Thomas Carpenter, 1982: Variations in the

- Tropical Sea Surface Temperature and Wind field associated with the Southern Oscillation / El Niño. Monthly Weather Rev. Vol. 110 pp. 354 - 384.
29. SVERDRUP, Fleming and Johnson, 1980: The water masses and currents of the oceans. The Oceans, ed. Prentice Hall Inc. pag. 698 - 712
 30. K. M. THOMPSON, 1979: Regression models for monthly mean sea level. Marine Geodesy, Vol.2 No.3 269-290
 31. ----- 1980: An analysis of British monthly mean sea level. Geophys. J. Res. 63, 57-73
 32. P.J. WEBSTER, 1981: Mechanism determining the atmospheric response to the sea atmospheric anomalies. J.Atmos. Science. Vol. 38
 33. K. WYRTKI, 1965: Surface Currents of the Eastern Tropical Pacific Ocean. Bull. Inter. Amer. Tuna Comm., 9, 271 - 294
 34. -----, 1977: Sea Level during 1972 El Niño, J. Phys. Oceanogr. Vol. 7
 35. -----, 1979: The response of sea surface topography to the 1976 El Niño. J. Phys Oceanogr. Vol. 9

36. -----, 1987: Indices of Equatorial Currents in the Central Pacific. Tropical Ocean Atmosphere Newsletter. No. 38, March 1987
37. E. ZAMBRANO, 1980: Distribución de la temperatura superficial en el Pacífico Ecuatorial Oriental (1974-1976). Acta Oceanográfica del Pacífico, 1,1
38. -----, 1986: El Niño y la Oscilación del Sur (ENSO). Acta Oceanográfica del Pacífico. Vol. 3 No. 1