

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar

"ANALISIS DE LA VARIABILIDAD CLIMATICA DE LA ZONA COSTERA ECUATORIANA UTILIZANDO COMPONENTES PRINCIPALES"

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

OCEANOGRAFO

Presentada por:
Gustavo Andrés Silva Guerrero

Guayaquil - Ecuador

1992

AGRADECIMIENTO



A M.Sc. María del Pilar Cornejo de Grunauer, por enseñarme no solo las mejores técnicas de trabajo, sino, por sobretodo, a disfrutar mi carrera.

DEDICATORIA



A Ivanna.

DECLARACION EXPRESA



"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta 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).

Gustavo/Silva

.....
GUSTAVO SILVA GUERRERO



Ing. Néstor Alejandro
Presidente del tribunal

Msc. Pilar C. de Grunauer
Directora de tesis

Msc. José Luis Santos
Miembro del tribunal

Ing. Enrique Sanchez
Miembro del tribunal



RESUMEN.-

Funciones Empíricas Ortogonales han sido aplicadas en al análisis de series de tiempo mensuales de algunos parámetros oceanográficos y meteorológicos (Precipitación, Presión, Temperatura del Aire y Temperatura superficial del Mar) registradas durante el período 1975-1990 en seis estaciones a lo largo de la costa ecuatoriana, y posteriormente se han relacionado con cambios estacionales e interanuales del nivel del mar por medio de análisis espectral.

Los resultados principales muestran que tanto la variabilidad estacional como la interanual, en el nivel del mar ecuatorial, juegan un papel importante en la variabilidad climática especialmente al sur de la línea ecuatorial. En las estaciones más norteñas la variabilidad es pequeña comparada con las otras estaciones, aunque significativa. El Modo 1 domina en Temperatura Superficial del Mar y del Aire a lo largo de la costa y Galápagos siempre, no así en Precipitación y Presión. El análisis espectral de este modo indica que su mayor energía se concentra en un período de alrededor de los 10-11 meses, coincidente con el ciclo anual. Las series de tiempo en Esmeraldas tienen un comportamiento diferente al de las otras, con variabilidad de alta frecuencia (1-3 meses). Todos los parámetros muestran picos espectrales en las bandas interestacional y estacional, aunque la primera no es resuelta por el intervalo de muestreo. La señal interanual presente en todas las series es una respuesta clara a eventos de El Niño y anti-El Niño (3 eventos de El Niño están presentes en las series).

INDICE GENERAL



	pag.
RESUMEN	V
INDICE GENERAL	VI
INDICE DE FIGURAS Y TABLAS	VIII
INDICE DE ABREVIATURAS	X
INTRODUCCION	XI
CAPITULO I : ANTECEDENTES	15
CAPITULO II: DESCRIPCION GEOGRAFICA.	19
CAPITULO III: DESCRIPCION DE LAS SERIES.	21
CAPITULO IV: METODOLOGIA	
4.1- Introducción.	27
4.2- Formulación Matemática	29
CAPITULO V: PROCESAMIENTO DE LAS SERIES.	
5.1- Depuración de las series	35
5.2- Aplicación de EOF.	36
5.2.1- Resultados por estación.	36
5.2.2- resultados por parámetro	39
CAPITULO VI: ANALISIS DE RESULTADOS.	
6.1.- Consideraciones previas	41
6.2.- Análisis por estación	45
6.3.- Análisis por parámetro	52

CAPITULO VII: PROYECCION DE LOS OBJETIVOS	54
CAPITULO VIII: DISCUSIONES Y CONCLUSIONES	60
BIBLIOGRAFIA	63





INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figuras:

	pag.
Figura 1: Ubicación de las estaciones de nuestro estudio en el Mapa Costero Ecuatoriano.	20
Figura 2: Series de tiempo de TSA y TSM normalizadas	23
Figura 3: Series de tiempo de PTN y PRE normalizadas	24
Figura 4: Gráficos correspondientes a los primeros modos de cada estación	48
Figura 5: Gráficos de los espectros correspondientes a los primeros modos de cada estación	49
Figura 6: Serie de tiempo correspondiente al Nivel del Mar en La Libertad	56
Figura 7: Gráfico del Espectro Cruzado del Nivel del Mar con los primeros modos de cada estación	57

Tablas:

Tabla I: Descripción de la posición de las estaciones de nuestro estudio	19
Tabla II: Datos estadísticos de las Series de tiempo normalizadas	26

Tabla III: Resumen de los resultados por estación	38
TablaIV: Resumen de los resultados por parámetro.	40
TablaV: Frecuencias pico de los Espectros de los primeros modos del análisis por parámetro	52
Tabla VI: Frecuencias pico del análisis de los Espectros Cruzado del Nivel del Mar con los primeros modos de cada estación	58



INDICE DE ABREVIATURAS

CP	Componentes principales.
CZCE	Climatología de la Zona Costera Ecuatoriana
DAC	Dirección Nacional de Aviación Civil
EOF	Funciones Empíricas Ortogonales (Empirical Orthogonal Functions).
ENOS	El Niño / Oscilación Sur
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
INOCAR	Instituto Oceanográfico de la Armada
ITCZ	Zona de convergencia Intertropical (Intertropical Convergence Zone).
OP	Océano Pacífico.
PRE	Presión.
PTN	Precipitación.
TSA	Temperatura Superficial del Aire.
TSM	Temperatura Superficial del Mar.

INTRODUCCION.-

El estudio de la climatología costera hoy.-

Más de 10 mil millones de dólares en perjuicios provocados por El Evento de El Niño/Oscilación Sur (ENOS) de 1982-83; sequías, inundaciones y tormentas que en el caso de Ecuador, Perú y Bolivia, llegaron a la suma de 1,962.7 millones de dólares, son argumentos de peso para justificar el análisis de la información oceano-atmosférica existente y el continuo monitoreo de las condiciones del mar y de la atmósfera para determinar la recurrencia o no de este tipo de anomalías, y posibilitar el desarrollo de planes de prevención y mitigación de desastres naturales que ayudarían a disminuir los riesgos de pérdidas en todas las zonas mundiales de producción.

Las alteraciones climáticas originan cambios en el ecosistema marino y costero que pueden tener un impacto negativo en el sistema socio-económico de muchos países del mundo (Cornejo,1985; Palomino 1983). Es por esto que en las últimas décadas se ha puesto considerables esfuerzos en estudios basados en la necesidad de entender los procesos oceano-atmosféricos que suceden a lo largo de la frontera este del Océano Pacífico (OP) en latitudes bajas y su relación con las variaciones estacionales e interanuales de la climatología de la región, esfuerzos que son complementarios a programas internacionales tales como WOCE (Estudios de la Circulación Oceánica Global), TOGA (Estudios de la Atmósfera de Océanos Tropicales) y EPOCS (Estudios del Océano Pacífico) que se encuentran en ejecución para el conocimiento y estudio de procesos regionales y globales.

Para un país en vías de desarrollo como el nuestro, el trabajo realizado en materia de interacción oceano-atmósfera no es nada despreciable: se han analizado series de tiempo de temperatura superficial del mar (TSM) y precipitación (PTN) para varias ciudades de la costa ecuatoriana. El análisis del comportamiento de estos parámetros reveló que el clima de la zona responde a cambios en las condiciones oceanográficas del OP adyacente y de la zona de convergencia intertropical (Moreano,1980). Se estableció también la existencia de dos estaciones, una seca (de Mayo a Noviembre) y otra lluviosa (de Diciembre a Abril), destacando la importancia de conocer el mecanismo y las relaciones que intervienen o resultan de la interacción Oceano-Atmósfera en la zona costera ecuatoriana. En un estudio sobre la distribución de la TSM en el OP ecuatorial oriental para el periodo de 1974-1976 se obtuvieron los ciclos anuales de calentamiento y enfriamiento con valores semanales de TSM obtenidos por medio de satélites, haciendo un análisis comparativo en espacio y tiempo (Zambrano,1980) . Se han examinado datos de vientos en estaciones de las regiones oceánica, litoral y estuarina del Ecuador, para lo cual se utilizaron promedios mensuales desde 1962- 1983, a través del cálculo de los parámetros estadísticos básicos (Torres,1983). También se ha estudiado el comportamiento de los parámetros meteorológicos (precipitación, temperatura del aire, presión atmosférica y viento), en tres estaciones (Guayaquil, Salinas y Galápagos) (Santos y Arellano,1987). Se encontró que las variaciones interanuales fueron de gran importancia durante el ENOS de 1982-83, con anomalías en las condiciones climatológicas generalizadas en toda la región y que los fenómenos climáticos en una zona como el OP occidental pueden tener impactos globales climáticos y consecuencias económicas importantes en los países afectados (Enfield,1987).

Sin embargo, la mayoría de los estudios realizados en la costa ecuatoriana sobre procesos oceano-atmosféricos se refieren tan solo a un análisis cualitativo de los promedios mensuales de diferentes parámetros y en general para el periodo 1948- 1984.

Cuantificando las variaciones.-

Si consideramos que las fluctuaciones en el clima ocurren en un amplio rango de frecuencias y están asociadas con la magnitud del impacto relacionado con ellas. Si consideramos además, que la extensión espacial de los parámetros oceano-atmosféricos se encuentra relacionada con las características temporales de los diferentes parámetros oceanográficos y atmosféricos, obtenemos suficientes argumentos para concluir que es importante encontrar un método estadístico más sofisticado para cuantificar y no sólo calificar las variaciones estacionales e interanuales del clima y su comportamiento (Busalacchi y O'brien,1980).

Precisamente de eso se trata este trabajo que intenta cuantificar las variaciones de la climatología utilizando un método estadístico de matemática superior aplicado a registros de parámetros oceánicos y meteorológicos representados en forma de series de tiempo. El método escogido es el de la proyección de las series de tiempo en sus componentes principales (Funciones Empíricas Ortogonales) por considerarlo el más apropiado en este tipo de problemas (Wallace,1972) y por sus muy especiales propiedades que serán discutidas en un capítulo posterior.

Existen algunos trabajos a nivel internacional que han aplicado esta técnica para describir perturbaciones de larga escala en la atmósfera tropical. El presente estudio pretende analizar las variaciones estacionales e interanuales de la Climatología de la Zona Costera Ecuatoriana, en base a los siguientes parámetros meteorológicos y oceanográficos: presión atmosférica (PRE), temperatura superficial del aire (TSA), precipitación (PTN) y temperatura superficial del mar (TSM), para el intervalo 1975-

1990, que comprende tanto períodos considerados normales como períodos anómalos.



De la Psicología a las Condiciones Climáticas.-

Descubierta en 1933 por Harold Hotelling, aplicándola originalmente a la psicología, la técnica del análisis de las componentes principales o funciones empíricas ortogonales, fue redescubierta a mediados de la década de los 50 por Ed Lorenz y aplicada en meteorología. Desde 1975 se ha estado usando ampliamente en Oceanografía y actualmente es una herramienta muy común para el análisis de series de tiempo. El objetivo de estos estudios ha sido el de resaltar la relación existente entre diferentes variables atmosféricas y relaciones espaciales entre ondas dentro de un particular rango de frecuencia (Definimos "Onda" como la significancia estadística que puede ser identificada en términos de un agente físico externo perturbador).

Dentro de los procedimientos más utilizados para identificar el número de perturbaciones y para obtener la máxima información contenida en la matriz de espectro cruzado, el más conocido es el de expresar el vector serie de tiempo como una combinación lineal de los eigenvectores de la matriz de espectro cruzado, dentro del rango de interés. Este procedimiento está basado y cercanamente relacionado con el que usara Ed Lorenz en 1956.



1.- ANTECEDENTES

Una zona estratégicamente clave

En lo que hasta ahora se ha expuesto de este trabajo, no se ha podido resaltar debidamente la magnitud de la importancia del estudio de los procesos y fenómenos que ocurren en nuestra zona costera, considerando que no sólo afectan a la misma sino que la escala de sus impactos (naturales, sociales, económicos, etc.) incide sobre una gran zona del globo terráqueo. Se ha comprobado que durante periodos anormales como aquellos de ocurrencia de eventos ENOS, existen una serie de alteraciones atmosféricas y oceánicas que se manifiestan en todo el Océano Pacífico ecuatorial (Cornejo y Enfield,1987), de tal manera que la zona costera ecuatoriana es estratégicamente clave para el estudio y monitoreo tanto de las condiciones oceánicas como atmosféricas, puesto que el estudio de las condiciones de la climatología costera ha revelado que estas son un resultado directo de la interacción oceano-atmósfera (Moreano,1980; Zambrano,1980).

Estadística aplicada al océano y la atmósfera

Como hemos visto, el conocimiento de los procesos y fenómenos que ocurren en la zona costera, y que no solo afectan a la misma, tiene impactos de todo tipo. Esto ha originado que las condiciones climáticas y sus relaciones con los procesos oceano-atmosféricos sean estudiadas intensamente. Podemos agrupar los trabajos internacionales que se han realizado sobre las condiciones oceanográficas y meteorológicas a lo

largo del Océano Pacífico y, específicamente, en su frontera este, en cuatro grandes grupos:

- 1.-Condiciones Hidrográficas de la región para períodos normales y de ENOS .
- 2.-Relaciones entre nivel del mar y vientos vs. forzamientos local y remoto .
- 3.-Análisis del patrón de Circulación de los Vientos.
- 4.-Propagación de fenómenos forzados remotamente.

En nuestro medio, estadística básica ha sido utilizada para conocer la CZCE, a través del análisis de promedios mensuales de los diferentes parámetros meteorológicos y las relaciones cualitativas que existen entre ellos, mas estas relaciones no han sido cuantificadas aún y sólo se conocen la climatología y el ciclo estacional en la costa ecuatoriana. No se conoce el comportamiento de las desviaciones de la climatología tanto estacionales como interanuales

A través del análisis espectral se han estudiado las relaciones entre NM y vientos (Cornejo y Enfield,1987), y se ha comprobado que algunos de los fenómenos oceanográficos del OP Ecuatorial Oriental son forzados remotamente. Se ha demostrado la importancia del estudio de la interacción océano-atmósfera (Moreano,1980) en relación a los cambios en la CZCE, mas este análisis es también de tipo estadístico básico (se calculan los valores medios y las desviaciones con respecto a estos). No se han establecido correlaciones entre los diferentes parámetros a través de métodos más sofisticados para determinar sus patrones de comportamiento. Esta información es imprescindible para la prevención de desastres naturales, (ej: El Niño).



La alternativa de las Componentes Principales

Existen algunos trabajos internacionales que han aplicado esta técnica para describir perturbaciones de larga escala en la atmósfera tropical. El procedimiento general de estas investigaciones ha sido el de computar las coherencias y las relaciones de fase entre varios parámetros en una o más bandas de frecuencia seleccionadas en base a intensa investigación. La serie de tiempo de un parámetro atmosférico es llamada "serie base" y las coherencias y las relaciones de fase son computadas entre una serie base y otras de otros parámetros.

Cuando en la misma banda de frecuencia se encuentran presentes más de un tipo de estructura de onda, se vuelve considerablemente difícil interpretar la información del espectro cruzado. No existe manera de determinar cuántas estructuras significativas de ondas están presentes ni cual es la contribución relativa de cada tipo de onda en el espectro de varianza. Aún cuando sólo una estructura de onda está presente, existen algunas objeciones técnicas para el uso de series de base (Wallace, 1972).

Escalas interanuales y estacionales.-

Esta tesis es parte de un proyecto para el estudio de las "VARIACIONES INTERANUALES Y ESTACIONALES DE LA CLIMATOLOGIA DE LA ZONA COSTERA ECUATORIANA" (Cornejo, 1991) que está siendo ejecutado a través de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) y el Consejo de Universidades y Escuelas Politécnicas (CONUEP). La hipótesis general que se plantea en este proyecto es que las variaciones estacionales e interanuales de la CZCE están en directa relación con las condiciones

oceanográficas y son por lo tanto una consecuencia de la interacción oceano-atmósfera. Las hipótesis secundarias relacionadas con el tema de la investigación son:

Las variaciones estacionales e interanuales de la CZCE son mucho más pronunciadas durante la ocurrencia de eventos ENOS y en el periodo de estudio (1980-85) resultado directo del ENOS 1982-83.

El aumento de la TSM produce aumento en las precipitaciones, temperatura del aire, y cambios en el patrón e intensidad de circulación de los vientos.



2. Descripción Geográfica.

Los datos que utilizaremos en esta tesis provienen de las mediciones de parámetros meteorológicos que obtiene periódicamente la DAC y el INAMHI y las mediciones de parámetros oceanográficos que obtienen el CLIRSEN y el INOCAR, en diferentes estaciones de la zona costera ecuatoriana. Estas cuatro instituciones publican periódicamente las condiciones de la Climatología de la Zona Costera Ecuatoriana en forma resumida en un Boletín meteorológico.

Para este trabajo escogimos seis estaciones significativas situadas en seis diferentes puertos de la Zona Costera Ecuatoriana: Esmeraldas, Manta, Guayaquil, Salinas, Puerto Bolívar, y una estación en la zona insular: San Cristóbal. Para todas las estaciones (Guayaquil no tiene TSM) escogimos cuatro parámetros oceano-atmosféricos: Temperatura Superficial del mar (TSM), Temperatura superficial del aire (TSA), presión (PRE) y precipitación (PTN). Las estaciones se encuentran indicadas en la Figura #1, y la Tabla I indica la ubicación geográfica de las estaciones escogidas para este estudio.

Tabla I.- Estaciones Meteorológicas y Oceanográficas

ESTACION	LONGITUD	LATITUD	SIGLA	FUENTE*
San Cristóbal	89°48'O	0°54'S	CRIS	INAMHI, INOCAR
Esmeraldas	79°40'O	0°54'N	ESM	INAMHI
Manta	80°42'O	0°57'S	MAN	INAMHI
Salinas	80°59'O	2°11'S	SAL	INAMHI, INOCAR
Guayaquil	79°35'O	2°9'S	GYE	DAC, INAMHI
Puerto Bolívar	80°O	3°16'S	BOL	INAMHI

* INAMHI: INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA
 INOCAR: INSTITUTO OCEANOGRAFICO DE LA ARMADA
 DAC: DIRECCION DE AVIACION CIVIL

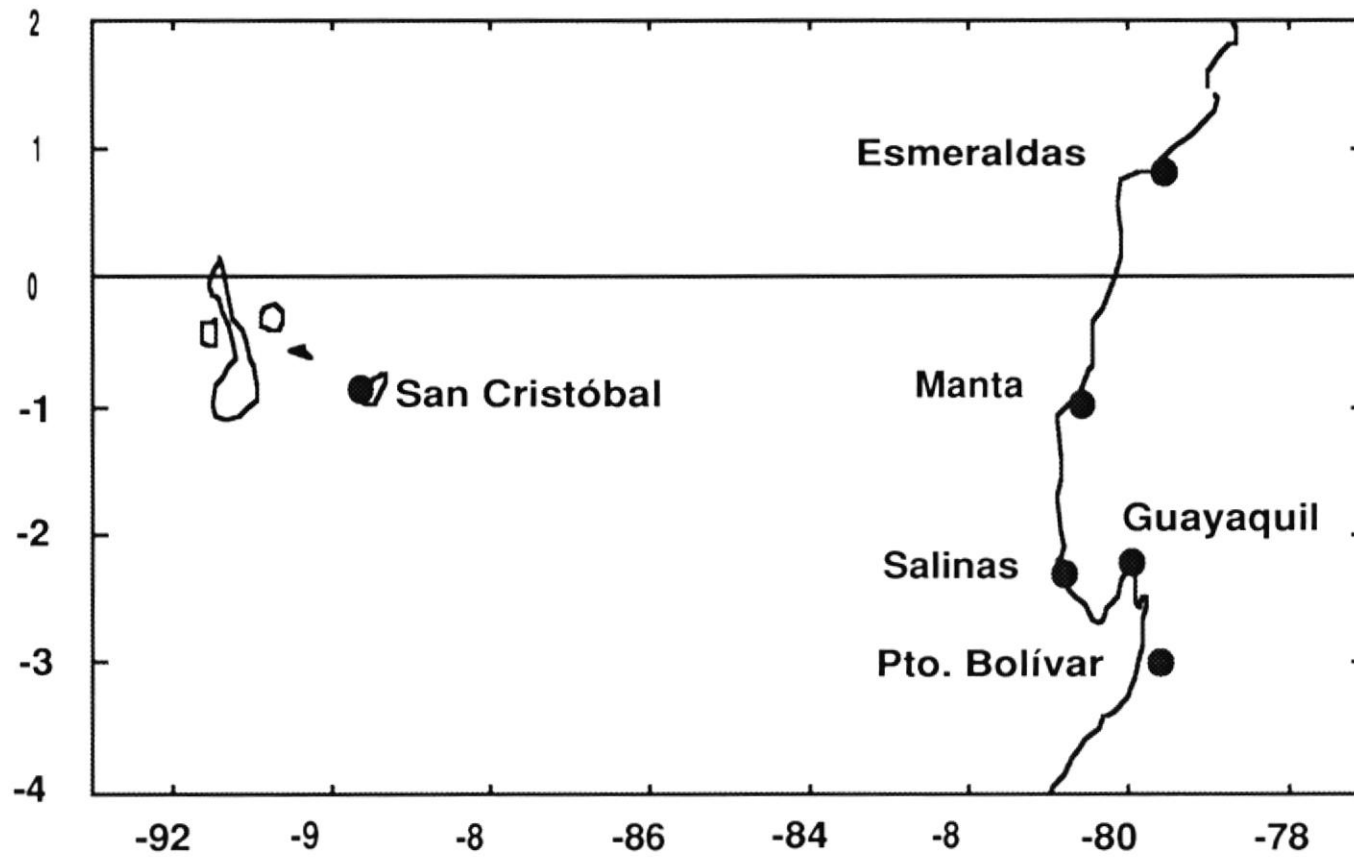


Figura 1.- Estaciones Oceanográficas y Meteorológicas .



3.- Descripción de las series

Un rango de estudio común para todas las series.-

Se analizaron valores mensuales, aplicando el análisis a series de tiempo de hasta 15 años que era el periodo común para las series de TSA, TSM, PRE y PTN en seis estaciones a lo largo de la costa ecuatoriana (Figura 1) para períodos normales, así como los períodos de , ENOS previamente definidos. Se justifica el uso de datos sin calibrar, ya que nuestro análisis se realizó en base de los valores medios (ya conocidos), de los diferentes parámetros oceanográficos y meteorológicos. Los valores de TSA fueron monitoreados a dos metros de la superficie terrestre.

El primer criterio de discriminación que se aplicó sobre las series fue el de escoger una banda común para todos los parámetros de todas las estaciones (aquel en el que se tuviera mayor cantidad de datos continuos posibles). La Banda finalmente escogida fue la que está incluida entre los años 1975-1990. Para rellenar los datos faltantes se utilizaron las medias de las series. Por medio de la prueba de Hipótesis Nula se comprobó que las series conservaban sus propiedades estadísticas después de usar los valores medios.

Para eliminar la variabilidad propia de los sistemas de medición y poder comparar series de tiempo de diferentes parámetros se estandarizaron las series de tiempo, de tal forma que si $x(t)$ es la serie original, $y(t)$ la serie estandarizada se obtuvo de la siguiente manera:

$$y(t) = (x(t) - \mu_{x(t)}) / (\sigma_{x(t)})$$

donde $\mu_{x(t)}$ y $\sigma_{x(t)}$, representan la media y la desviación estándar de la serie, respectivamente.

Series normales para puertos diferentes

Antes de proceder a la descripción de las series de tiempo hay que tomar en cuenta algunas cosas. Primero, las estaciones de Guayaquil y Pto. Bolívar son costeras pero no con frente oceánico sino más bien de aguas interiores. Hipotéticamente deberán estar influenciadas por la orografía local más que por cambios oceánicos. La estación de Esmeraldas se encuentra influenciada por aguas de la Cuenca de Panamá, de baja salinidad y alta temperatura y se espera que su varianza sea pequeña. Salinas obedece al régimen de la Corriente de Humboldt y sus fluctuaciones (masas de agua fría y de alta salinidad); Manta se encuentra en la zona de transición entre las masas de agua de la Cuenca de Panamá y la Corriente de Humboldt, mientras que San Cristóbal refleja lo que sucede en el OP Ecuatorial.

En la tabla 2 se muestran las propiedades estadísticas de las series de tiempo y en las figuras 2 y 3 se muestran las series normalizadas para cada una de las estaciones. Las propiedades estadísticas indican que las series de TSA y TSM, tanto la estación de Salinas (SAL) como la de San Cristóbal (CRIS) tienen las mayores varianzas cuando se comparan con las demás estaciones.

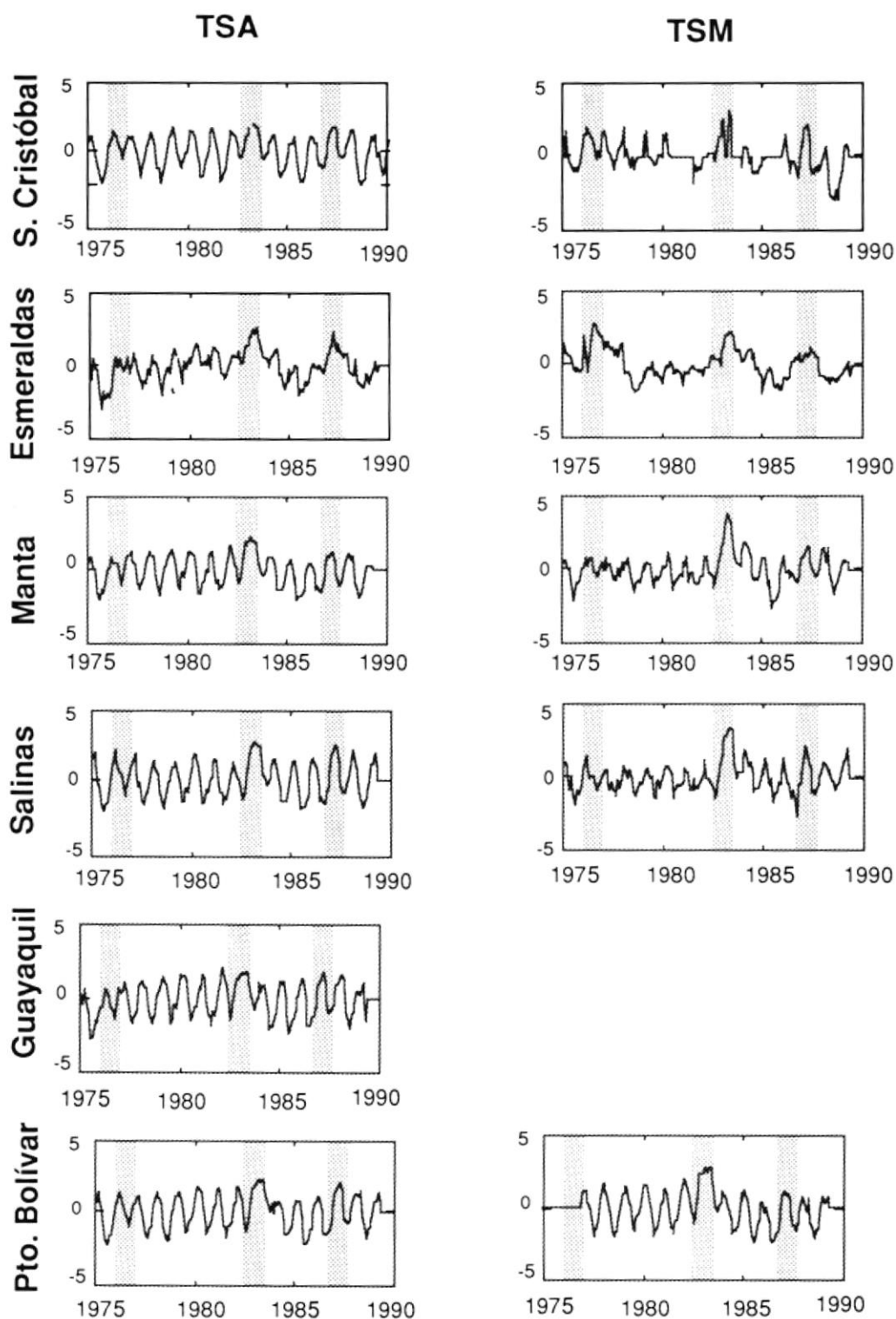


Figura 2.- Series de tiempo normalizadas de Temperatura Superficial del aire (TSA) y Temperatura Superficial del Mar (TSM).

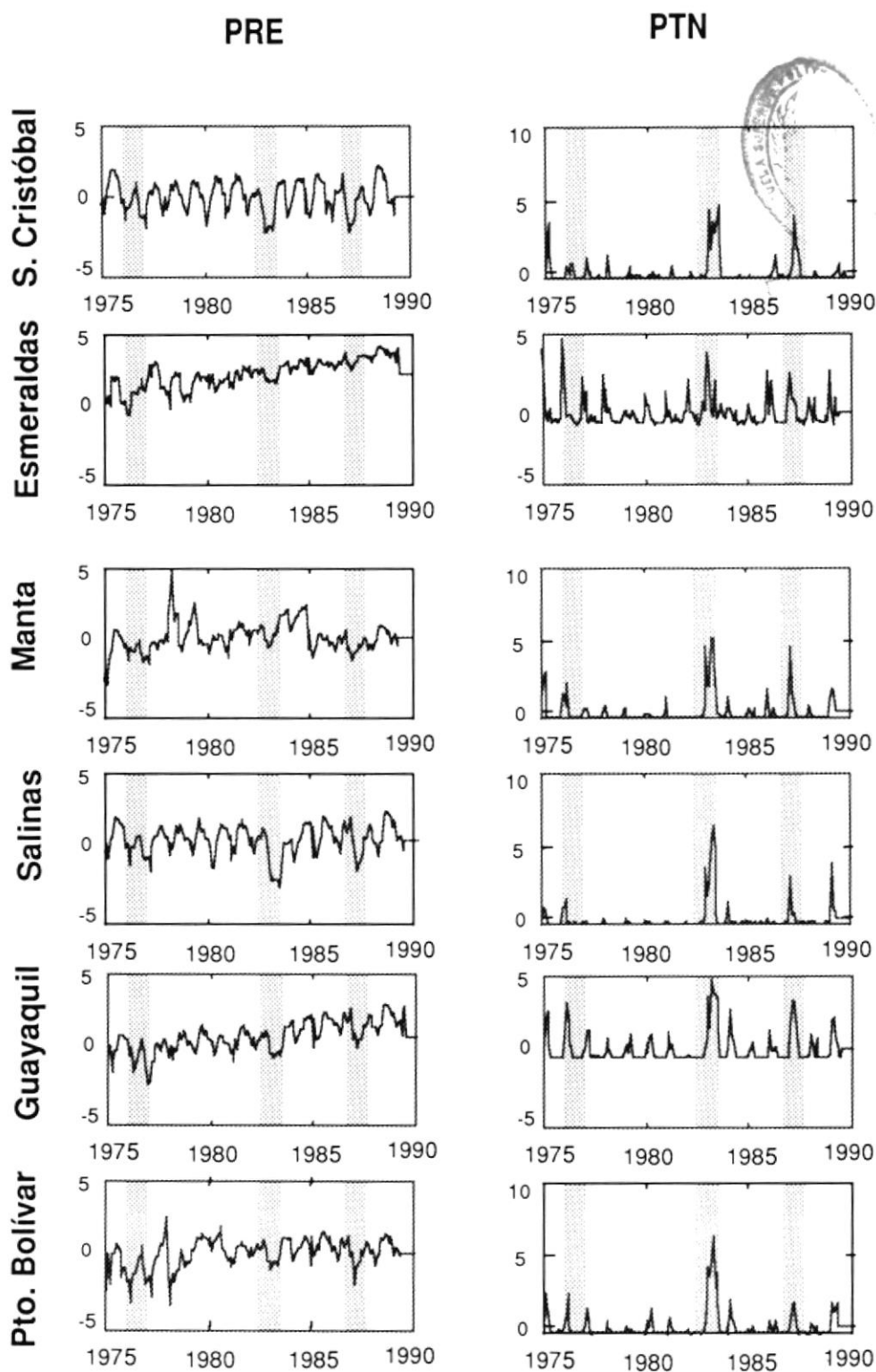


Figura 3.- Series de Tiempo Normalizadas de Presión (PRE) y Precipitación (PTN)

La presencia de El Niño en las series.-

También es necesario definir la presencia de tres eventos ENSO durante el período de muestreo: el de 1976-77, el de 1982-83 y el de 1986-87. En las figuras 2 y 3, los eventos ENSO se indican con la banda sombreada. Las series de tiempo de TSA y TSM indican la presencia del ciclo anual (estación seca y lluviosa en Ecuador) en todas las estaciones excepto en Esmeraldas, donde se ven muy afectados por eventos ENSO. Considere que al estar normalizadas las series, estas son adimensionales y que los valores se pueden considerar como unidades de desviación estándar. Si un valor es mayor que uno, entonces se puede considerar "anómalo". De acuerdo con esto las series de TSM presentan anomalías mayores que las de TSA y en ellas se observa claramente una modulación del ciclo anual por parte del evento ENSO, más evidente durante los últimos dos eventos.

En la figura 3 podemos observar las fluctuaciones en PRE y PTN. En la primera serie (PRE) observamos un ciclo anual en CRIS, SAL y GYE, en las otras estaciones se observan oscilaciones con períodos menores que los anuales. En cuanto a precipitación se refiere, las estaciones ESM, y GYE tienen un comportamiento diferente a las otras, ya que en estas se pueden encontrar anomalías altas de precipitación sin que ocurra un evento ENSO.

La serie del nivel del mar en La Libertad (figura 6) muestra una tendencia lineal al aumento del nivel del mar, con elevaciones extraordinarias durante eventos ENSO. Esta serie no muestra un ciclo anual definido, más bien parece que superpuesto a este se presente un amplio rango de variabilidad interestacional o interanual. Para el período 1979-84, Cornejo y Enfield (1987) encontraron variabilidad alrededor de los 50 días y 14 días pero no un ciclo anual, coincidente con el presente trabajo.

Cada una de las series presentaron sus propios valores estadísticos iniciales: media, desviación estandar, valores máximos y mínimos; los mismos que se muestran en la tabla II

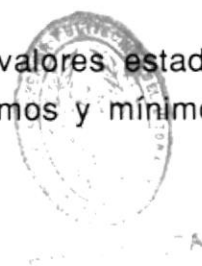


Tabla II.- Propiedades Estadísticas de las Series de Tiempo (1975-1990)

ESTACION	PROPIEDAD ESTADISTICA	TSA (°C)	TSM (°C)	PRE (m b.)	PTN (m m.)
SAN CRISTOBAL	$\mu_{x(t)}$	23.9	23.42	1011.7	46.40
	$\sigma_{x(t)}$	1.9	1.96	1.39	112.56
	máximo	27.5	29.60	1014.5	611.80
	mínimo	20.0	17.70	1008.4	0
ESMERALDAS	$\mu_{x(t)}$	25.4	26.11	1011.1	73.38
	$\sigma_{x(t)}$	0.71	0.71	2.25	94.20
	máximo	27.4	28.10	1015.5	549.40
	mínimo	23.4	24.70	1004.8	0
MANTA	$\mu_{x(t)}$	24.4	25.40	1011.9	31.14
	$\sigma_{x(t)}$	1.3	1.32	1.76	73.80
	máximo	27.3	30.20	1019.8	428.80
	mínimo	21.7	22.00	1006.1	0
SALINAS	$\mu_{x(t)}$	23.7	24.03	1011.1	29.16
	$\sigma_{x(t)}$	2.07	1.73	1.32	99.72
	máximo	27.9	29.60	1013.6	700.60
	mínimo	19.8	19.60	1007.0	0
GUAYAQUIL	$\mu_{x(t)}$	25.3		1011.9	86.71
	$\sigma_{x(t)}$	1.28		1.58	156.53
	máximo	27.7		1015.4	779.60
	mínimo	22.3		1007.0	0
PTO BOLIVAR	$\mu_{x(t)}$	24.7	26.08	1011.7	54.94
	$\sigma_{x(t)}$	1.64	1.32	1.53	112.18
	máximo	27.8	29.10	1015.3	759.50
	mínimo	21.4	23.50	1006.6	0

4.- METODOLOGIA

4.1 Introducción.-

Muchas variables y demasiadas correlaciones.

Desde que Newton definió su ley "A toda acción se contrapone una reacción", el hombre vio cambiar radicalmente su concepción del universo que pasó de ser misterioso y atemorizante a un universo que podría ser completamente explicado si se encontraba la variable inicial acertada. Hoy en día la ciencia ya no es tan optimista en el análisis del universo, sus componentes y su dinámica, y reconoce que la mayoría de los estudios relacionados con grandes escalas estacionales y temporales tienen que lidiar con la interacción de muchas variables a la vez. Al tener que trabajar con muchas variables interactuando entre sí, el hombre se encuentra con nuevos problemas de dimensiones gigantescas, y es así como con solo 10 variables debemos considerar 45 correlaciones entre ellas. Con 20 variables obtendríamos 190 y con 40 son 780 las correlaciones que podríamos obtener entre las mismas.

El análisis de las Componentes Principales es un método que alivia este problema, pues su propósito es el de determinar factores (modos o componentes principales) que expliquen la mayor parte de la varianza del conjunto original, y de esta manera transforma el conjunto original de variables en uno mucho menor de combinaciones lineales .

¿Qué es el análisis de la Componentes Principales?

Dentro de los métodos que se utilizan en los casos de multivariados, el análisis de las Componentes Principales es la más común de las herramientas de análisis exploratorio utilizada en las ciencias geofísicas, y dentro de los procedimientos más utilizados para identificar el número de perturbaciones en un registro continuo de datos, el más conocido es el de expresar el vector serie de tiempo como una combinación lineal de los eigenvectores de la matriz simétrica, dentro del rango de interés. El análisis de las Componentes Principales simplemente define las dimensiones básicas (definiendo su varianza total) de los registros y no hace ninguna suposición acerca de los factores comunes ya que trabaja directamente sobre los registros tal y como son observados.

Un reductor infalible.

Aún cuando sus aplicaciones son muchas y variadas y en campos muy diversos de la ciencia, la utilidad de esta técnica matemática puede ser fácilmente sintetizada: Extrae la covariabilidad entre diferentes registros de tiempo reduciendo el número original de variables a un conjunto más pequeño responsable por la mayor parte de la varianza total.

Es posible extraer igual número de nuevas variables (componentes principales, modos o factores) como variables iniciales se hayan utilizado, sin embargo, el objetivo en la mayoría de las aplicaciones del análisis de las componentes principales es el de obtener el menor número de componentes principales posibles que a su vez expliquen el mayor porcentaje de la varianza total posible.

Puede ser demostrado (Dillon y Goldstein, 1984) que el total de la varianza individual de las variables originales es igual a la suma de las varianzas de todas las Componentes Principales. Las Componentes Principales se obtienen de tal manera que la primera Componente Principal representa la cantidad mayor de varianza, la segunda Componente Principal presenta el segundo valor en importancia de la varianza, y así sucesivamente. Generalmente es en las primeras Componentes Principales donde se agrupa la varianza significativa, lo que permite descartar las componentes restantes, según el tipo de análisis que se requiera.

4.2 Formulación Matemática.-

Una herramienta de matemática superior.

Las Funciones Empíricas Ortogonales se llaman empíricas porque se derivan directamente de las observaciones de las series de tiempo y no son definidas a priori como en el caso de los modos de Fourier, por ejemplo. Describimos la varianza total de un conjunto de p puntos en un espacio de dimensión M , introduciendo un nuevo espacio definido por M nuevas variables que son ortogonales y no-correlacionadas entre sí. Estas nuevas variables están formadas por combinaciones lineales normalizadas de las variables originales de tal manera que la r -ésima variable generada contenga la r -ésima proporción más alta de la varianza total.

Si se tienen N observaciones de M variables ESCALARES REALES, las M series de tiempo $X_m(t)$ se pueden descomponer en un conjunto de M funciones ortogonales $F_{k(m)}$ por medio de :

$$X_m(t) = \sum A_{k(t)} F_{k(m)} \quad (1)$$

k =representa la componente principal, (o el modo o el factor)

Si $F_{k(m)}$ son ortogonales entonces:

$$\sum F_{j(m)} F_{k(m)} = \delta_{jk} = \begin{cases} 1, & j=k \\ 0, & j \neq k \end{cases} \quad (2)$$

Pero existen varios conjuntos de respuestas para que se cumpla esta condición. Ya que nosotros queremos extraer la covariabilidad, entonces nos interesa que las amplitudes no estén correlacionadas con el tiempo. (Las funciones empíricas ortogonales o análisis de componentes principales son las únicas que tienen esta propiedad). Aplicando este criterio podemos decir que:

$$\begin{aligned} A_{j(t)} A_{k(t)} &= \{A_{k^2(t)}\} \delta_{jk} \\ &= \delta_k \delta_{jk} \end{aligned} \quad (3)$$

De la expresión original

$$X_m(t) = \sum A_{k(t)} F_{k(m)}$$

Obtenemos

$$\{X_m(t) X_m(t)\} = \sum \sum \{A_{j(t)} A_{k(t)}\} F_{j(m)} F_{k(m)}$$

$$\{X_m(t) X_m(t)\} = \text{Covarianza Cruzada Muestreada}$$

$$\{X_m(t) X_m(t)\} = \sum \delta_k F_{k(m)} F_{k(m)}$$

Multiplicando por $F_{l(m)}$ ambos términos y sumando sobre m

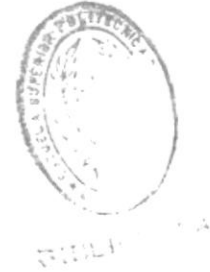
$$\sum \{X_m X_m\} F_{l(m)} = \sum \delta_k F_{k(m)} \sum F_{k(m)} F_{l(m)}$$

$$\sum \{X_m X_m\} F_{l(m)} = \delta_l \cdot F_{l(m)} \quad (4)$$

Esta es la forma canónica del problema de eigenvalores y eigenvectores (o valores y vectores propios)

- $F_{l(m)}$ = son los eigenvectores de la matriz simétrica de covarianza cruzada
 $M \times M$ con elementos $\{X_m X_n\}$

∂_l = son los eigenvalores.



La Matriz Simétrica.

Resumiendo el tipo de datos accesibles, podemos obtener: a L niveles diferentes, para R estaciones diferentes y N variables oceano-atmosféricas diferentes un total de $n = L \times R \times N$ variables. Estas variables definen una serie n -dimensional de tiempo, representable por vectores sujetos a análisis de espectro cruzado. A su vez, estos vectores definen una matriz no-simétrica.

El primer paso para obtener funciones empíricas ortogonales generalmente es el de transformar los registros iniciales (no simétricos) de las M series de tiempo $X_m(t)$, en una matriz simétrica de covarianza o de correlación. De esta manera se evita el problema de la no-homogeneidad de las unidades y escalas de las variables volviéndolos directamente comparables. La matriz simétrica que escogimos para este trabajo es la matriz de correlación porque es la más aconsejable cuando se trabaja a partir de matrices estandarizadas (Dillon y Goldstein, 1984). La matriz de correlación (R) y la matriz de covarianza (C) están relacionadas entre sí por medio de la fórmula

$$R = D^* C D^* \quad (5)$$

Donde D es una matriz diagonal con elementos diagonales $1/(S_{jj})^{1/2}$

Los pasos para obtener una matriz de correlación a partir de una matriz de datos iniciales son los siguientes:

Sea $\underline{X} = (1/n)\sum X$, la media de X

Sea $R_{xy} = (1/n)(1/\partial x \partial y) \sum x_i y_j$, la correlación (x,y)

Sea R la matriz de correlación $m \times m$

Sea $s^2 = (1/(n-1))(x'x)$ la varianza

- 1.- Obtengo el valor de la media \underline{X} para cada columna.
- 2.- Corrijo la media de mi matriz de datos iniciales .
- 3.- Calculo la varianza s^2 de cada columna de la matriz .
- 4.- Obtengo la matriz diagonal D .
- 5.- Calculo la matriz estandarizada .

$$X_S = X_D D^{-1/2} \quad (6)$$

- 6.-Calculo la matriz de suma de cuadrados y producto cruzado S .
- 7.- Obtengo la matriz de correlación.

$$R = (1/(n-1))(D^{-1/2}SD^{-1/2}). \quad (7)$$

El proceso para obtener Componentes Principales a partir de una matriz de correlación es el mismo que aquel que parte de una matriz de covarianza pero tienen ciertas diferencias de interpretación.

La varianza de una variable no es independiente de la escala por lo que se tiene que tener el cuidado de estandarizar las escalas de los parámetros iniciales para evitar que estos influyan el resultado del análisis.

Amplitudes de las Componentes Principales.

Una vez calculados los eigenvectores podemos ya determinar las amplitudes $A_{n(t)}$. Los eigenvectores que hemos obtenidos son vectores ortogonales y definen por lo tanto un sistema de coordenadas. La amplitud $A_{n(t)}$ es la "proyección" de $X_m(t)$ en la dirección del eigenvector.

Si a nuestra expresión original:

$$X_m(t) = \sum A_{k(t)} F_{k(m)}$$

La multiplicamos por $F_j(m)$ y la sumamos sobre m obtenemos.

$$A_{j(t)} = \sum X_{m(t)} F_{j(m)} \quad (8)$$

Para series reales, todos los vectores son reales.

Acerca de la Ponderancia.

Muchas veces la interpretación de las Componentes Principales se ve facilitada si se utiliza el concepto de la Ponderancia. Ordinariamente la ponderancia nos da la correlación producto-momento de cada variable en cada una de las respectivas componentes y se obtiene dividiendo la covarianza para las desviaciones estándar de $X_{(i)}$ y $Y_{(j)}$. (Dillon y Goldstein, 1984).

Cuántas Componentes Principales retener.

Si, como decíamos anteriormente, nuestro propósito es el de obtener un conjunto reducido de Componentes Principales, ¿Qué criterio deberíamos utilizar para discriminar aquellos modos con bajos niveles de significancia?

Dillon y Goldstein (1984) sugieren que se escoja solamente aquellos modos cuyos eigenvalores no sean iguales a cero y luego que se aplique el criterio de porcentaje de varianza. En este trabajo se escogió, basado en experiencias de trabajos anteriores, un 85% como porcentaje de significancia (aquellos primeros modos cuya suma de varianzas complete este porcentaje serán considerados como significantes y los restantes como no-significantes). Sin embargo, vale mencionar que otros métodos más complejos - como el método gráfico, por ejemplo- son mencionados (Dillon y Goldstein,1984).

5.- Procesamiento de las series

5.1.- Depuración de las series.-

Cuando faltan datos.

La suma en el lado derecho de la ecuación de la definición canónica de las Componentes Principales (4), expresada en el capítulo anterior se aplica sobre todos los valores de \mathbf{n} . ¿Qué pasa cuando tenemos vacíos en nuestro registro de datos para algunos valores de \mathbf{X} ? Teóricamente no podríamos computar los valores de $A_j(t)$ por lo que tenemos que buscar métodos para llenar los vacíos en los registros. Entre los métodos más recomendados tenemos el de interpolación óptima, sin embargo, considerando que en nuestro caso particular contamos con series muy largas de valores registrados comparados con el número de valores no-registrados, seguimos el siguiente procedimiento:

- 1.-Obtenemos el valor medio de la serie y rellenamos con este valor cuando sea necesario .
- 2.-Volvemos a calcular el valor medio de la serie y lo comparamos con aquel que obtuvimos inicialmente.
- 3.- Por medio de la prueba de Hipótesis Nula se comprobó que las medias y las varianzas no eran significativamente diferentes (95%) y que por lo tanto, las series conservaban sus propiedades estadísticas después de usar los valores medios.

5.2- Aplicación de EOF.

Generando Componentes Principales a partir de una matriz de correlación.

Para el análisis de las relaciones entre los diferentes parámetros y para extraer la variabilidad común entre las diferentes estaciones se aplicó el método de las Componentes Principales a partir de una matriz de correlación para cada uno de los casos. El objetivo principal de este método consiste en construir una combinación lineal de las variables originales que contenga tanta variabilidad como sea posible de la total de la serie. Se calculan combinaciones lineales sucesivas, las cuales no se correlacionan entre sí, y cada vez explican menos del porcentaje total de la varianza de la serie.

Para aplicar esta técnica se desarrolló una subrutina en MatLab (programa de análisis de series de tiempo o señales) en una MacIntosh IIX. Se calculó la densidad espectral de cada una de las componentes o modos obtenidos. En la tabla III se muestran los modos, el porcentaje de varianza explicado por cada uno, para cada estación, y la ponderancia de los modos en cada parámetro. Estos métodos de análisis nos proporcionarán información cuantitativa acerca del comportamiento de los parámetros oceanográficos y meteorológicos en estudio así como las relaciones existentes entre ellos.

5.2.1- Resultados por estación.

Al aplicar el método de Componentes Principales a las series de tiempo que describen el comportamiento de todos los parámetros de nuestro estudio y que actuaron sobre cada una de las estaciones durante el rango de tiempo especificado, obtenemos los resultados descritos en la tabla III

que nos muestra cada uno de los modos con sus respectivos valores característicos, porcentaje de varianza y varianza acumulada. Del análisis de esta tabla establecemos los tres primeros modos como significativos para Esmeraldas con 39.3%, 27.7% y 19.6% de la varianza respectivamente.

Manta presenta, durante ese rango de tiempo, los resultados expuestos en la tabla III, Del análisis de esta tabla definimos los dos primeros modos como significativos con 58.2% y 24.1% respectivamente. También en la tabla III, podemos encontrar los resultados de Salinas donde los dos primeros modos son significativos, con 77.4% y 15.5% respectivamente.

En Guayaquil durante el tiempo de nuestro estudio, escogemos los dos primeros modos como significativos con 62.54% y 21.57% respectivamente. Y los resultados de Puerto Bolívar indican que los dos primeros modos son significativos en esta estación, con 64.7% y 18.2% respectivamente.

Con los resultados de San Cristóbal completamos la tabla III que nos muestra que los dos primeros modos son significativos, con 72.3% y 15.4% respectivamente.

Tabla III.- Resultados de las Funciones Empíricas Ortogonales. En las cuatro últimas filas se indica la ponderancia de cada modo para cada serie.

ESTACION	MODO	VALORES CARACTERISTICOS	%VARIANZA EXPLICADO	SUMA ACUMULATIVA	TSA	TSM	PRE	PTN
SAN CRISTOBAL	1	2.89	72.33	72.33	80.89	72.56	85.83	50.04
	2	0.61	15.35	87.68	8.32	0.67	3.24	49.19
	3	0.36	9.07	96.75	4.97	26.76	3.87	0.67
	4	0.13	3.25	100.00	5.82	0.01	7.06	0.10
					TOTAL	100.00	100.00	100.00
ESMERALDAS	1	1.57	39.33	39.33	46.35	58.00	19.49	33.49
	2	1.11	27.73	67.06	29.65	7.82	52.77	20.66
	3	0.78	19.6	86.66	1.95	13.32	19.98	43.17
	4	0.53	13.34	100.00	22.05	20.86	7.76	2.68
					TOTAL	100.00	100.00	100.00
MANTA	1	2.33	58.16	58.16	78.61	81.78	12.45	59.91
	2	0.96	24.12	82.28	2.05	8.80	84.77	0.83
	3	0.56	13.93	96.21	13.22	1.33	2.41	38.77
	4	0.15	3.79	100.00	6.12	8.09	0.37	0.59
					TOTAL	100.00	100.00	100.00
SALINAS	1	3.04	77.40	77.40	85.12	88.84	83.74	51.90
	2	0.62	15.48	92.88	10.52	0.02	3.97	47.40
	3	0.21	5.31	98.19	0.50	9.07	11.33	0.33
	4	0.07	1.81	100.00	3.86	2.07	0.96	0.37
					TOTAL	100.00	100.00	100.00
GUAYAQUIL	1	1.88	62.54	62.54	68.20	*	56.88	62.54
	2	0.63	21.03	83.57	1.94		40.12	21.04
	3	0.49	16.43	100.00	29.86		3.00	16.42
	4	*						
					TOTAL	100.00	100.00	100.00
PUERTO BOLIVAR	1	2.59	64.73	64.73	83.02	83.04	38.86	53.99
	2	0.73	18.21	82.94	1.27	2.40	58.94	10.21
	3	0.55	13.76	96.70	9.15	7.91	2.19	35.79
	4	0.13	3.30	100.00	6.56	6.65	0.01	0.01
					TOTAL	100.00	100.00	100.00

* La estación de Guayaquil no tiene serie de temperatura superficial del mar

5.2.2- Resultados por parámetros.

Al aplicar el método de EOF a todas las series de tiempo que describen el comportamiento de la Presión, la Temperatura Superficial del Mar y del Aire, y de la Precipitación, en todas las estaciones , obtenemos la tabla IV que nos muestra cada uno de los modos con sus respectivos valores característicos, porcentaje de varianza y varianza acumulada. Del análisis de esta tabla definimos los tres primeros modos como significantes para la Presión con 59.8%, 17.3% y 12% respectivamente. La Temperatura Superficial del Aire muestra solamente al primer modo como significativo con 87% .

En los resultados obtenidos para Precipitación definimos los dos primeros modos como significantes con 75% y 12% de varianza respectivamente.

Por último, la Temperatura Superficial del Mar presenta a los dos primeros modos como significantes con 63% y 17% respectivamente.

Tabla IV.- Resultados de las Funciones Empíricas Ortogonales para el análisis por parámetro. En las cuatro últimas filas se indica la ponderancia de cada modo para cada serie.

ESTACION	MODO	VALORES CARACTERISTICOS	%VARIANZA EXPLICADO	SUMA ACUMULATIVA	CRIS	ESM	MAN	SAL	BOL	GYE
PRE.	1	3.58	59.79	59.79	69.88	37.98	35.18	72.15	64.28	79.27
	2	1.03	17.31	77.10	23.01	52.96	0.80	17.28	1.77	8.02
	3	0.71	11.99	89.10	1.67	0.24	63.95	4.02	1.54	0.54
	4	0.41	6.96	96.07	0.80	4.25	0.01	2.76	32.27	1.70
	5	0.16	2.71	98.78	3.38	4.54	0.02	0.11	0.09	10.28
	6	0.07	1.21	100.00	3.38	0.01	0.03	3.66	0.03	0.15
				TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
TSA.	1	5.23	87.19	87.19	90.34	58.29	94.99	92.09	96.24	91.17
	2	0.47	7.93	95.12	0.44	41.61	0.43	3.01	1.01	1.07
	3	0.12	2.10	97.23	7.02	0.04	0.79	0.19	0.22	5.08
	4	0.08	1.40	98.63	2.16	0.04	0.38	3.46	0.07	2.26
	5	0.05	0.90	99.54	0.01	0.03	4.08	0.61	0.63	0.07
	6	0.02	0.45	100.00	0.01	0.01	0.01	0.60	1.79	0.32
				TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
PTN	1	4.50	75.04	75.04	76.64	37.51	86.38	77.83	84.70	87.17
	2	0.74	12.39	87.44	1.03	60.76	0.73	10.31	1.00	0.51
	3	0.27	4.63	92.07	21.751	0.01	0.18	1.15	1.60	3.11
	4	0.21	3.63	95.70	0.40	0.57	6.11	4.04	8.91	1.73
	5	0.15	2.59	98.30	0.01	1.12	3.97	5.61	1.16	3.70
	6	0.10	1.69	100.00	0.14	0.01	2.59	1.02	2.80	3.76
				TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
TSM.	1	3.16	63.32	63.32	53.63	26.25	80.54	81.28	74.90	
	2	0.85	17.18	80.51	0.99	70.61	0.14	6.55	7.63	
	3	0.58	11.69	92.20	43.53	1.82	10.03	2.98	0.09	
	4	0.26	5.20	97.40	1.74	0.93	3.71	2.38	17.23	
	5	0.12	2.59	100.00	0.09	0.36	5.56	6.79	0.13	
				TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	*

6.- Análisis de resultados

6.1.- Consideraciones previas.

El factor limitante.

Las periodicidades que esperamos encontrar en nuestro análisis están limitadas dentro de un rango definido entre 2 y 18 meses. El principal factor limitante es en nuestro caso la longitud del registro de las series de tiempo. Sabemos empíricamente que para que un evento sea detectado por nuestro análisis y tenga validez estadística, debe de tener por lo menos 10 realizaciones dentro de la banda de tiempo de que disponemos para nuestro estudio. Es así como si nuestro registro tiene 15 años de duración (desde 1975 hasta 1990) entonces nuestra periodicidad máxima será de 1.5 años. La periodicidad mínima será de dos meses porque, si trabajamos con valores mensuales, nuestro intervalo de tiempo **dt** es un mes y el periodo mínimo que se puede detectar es **2dt**.

Si sabemos que El Niño tiene una periodicidad de 2-5 años, y que la periodicidad máxima de nuestro estudio es de 1.5 años, entonces sabemos de antemano que la estructura del evento del Niño (que es el principal evento interanual que afecta nuestras costas) no podrá ser identificado con un nivel de confianza alto (80%) en este trabajo específico. Sin embargo, dada la intensidad del evento, si esperamos detectar su presencia por lo menos indirectamente. Un estudio dirigido a determinar la estructura del evento en nuestras costas deberá incluir una serie de, por lo menos, 50 años de registro.

Una estructura para cada onda.

En su trabajo sobre la aplicación de Funciones Empíricas Ortogonales a variabilidad Climática, Wallace (1972) indica la principal importancia en relación al análisis de los resultados, de los siguientes puntos :

- 1.-Proveen una determinación objetiva de la amplitud de la onda
- 2.-La magnitud relativa de los primeros eigenvectores de la expansión da una indicación de si una o más perturbaciones están presentes.
- 3.-Separan las perturbaciones que están sobrepuestas en la misma banda de frecuencia.
- 4.- La varianza nos da la significancia estadística.

Wallace (1972) explica que la combinación lineal que prescribe un modo (Componente Principal) en base a una expansión de eigenvectores puede ser considerada como una estructura específica de una onda. Se debe definir sin embargo si esta onda representa a un agente físico local o global, a una fabricación estadística o a una manifestación de ruido.

El cuarto punto expuesto por Wallace nos da la pauta para discriminar modos que puedan ser considerados como no significativos. Cuando el registro es sumamente largo, es de esperarse que sólo el primer modo, o a lo sumo unos pocos primeros modos sean estadísticamente significativos. Debemos mantener presente sin embargo que la seguridad de significancia estadística no necesariamente garantiza la significancia física y que los primeros eigenvectores no son más que aquellos que más eficientemente representan la estructura de la onda.

El ciclo estacional.

Considerando que nuestro principal objetivo en este análisis es el de identificar los agentes físicos que puedan ser los causantes de los patrones dominantes que obtuvieramos matemáticamente en los capítulos anteriores , y considerando de antemano que el ciclo estacional tendrá principal ingerencia en nuestro resultado, debemos tener presentes ciertas características (Wells,1986):

El ciclo estacional está definido por ciertos agentes físico oceano-atmosféricos que interactúan a nivel global tanto en el Océano Pacífico como en el Atlántico, y que se caracterizan por la regularidad año-a-año con que se presentan. Alrededor de Marzo, para cuando la actividad convectiva en el cinturón ecuatorial es más fuerte, correspondiendo a las estaciones calurosas en la zona Este de ambos océanos, las lenguas frías de temperatura superficial se encuentran ausentes, y la Zona de Convergencia Intertropical se desplaza a su posición más sureña . Con el establecimiento de la convección monzónica sobre Colombia, América Central y Africa occidental en Mayo-Junio se fortalecen los vientos Alisios, reaparecen las lenguas frías de temperatura superficial y la ZCIT regresa a su posición norteña. Este complejo lengua-fría/ZCIT se mantiene estable hasta Septiembre con una característica supresión de lluvias, no sólo sobre las zonas de lengua-frías sino también sobre la mayoría del territorio ecuatorial de Sudamérica (Mitchell y Wallace,1989).

Con respecto al tema vale la pena mencionar ciertos aspectos descritos por Wells (1986).

- 1.-La circulación atmosférica climatológica depende principalmente de dos factores: La orografía global y la distribución de fuentes y sumideros de calor.
- 2.-La circulación atmosférica (predictabilidad menor que 2 semanas) es el factor que generalmente inicia una anomalía oceano-atmosférica.
- 3.-El océano (que tiene una capacidad especial de "memoria" de calor) tiende a mantener el patrón anómalo por unos cuantos meses.
- 4.-El ciclo estacional limita la duración del patrón porque cambia la distribución de las fuentes y sumideros de calor.
- 5.-En la zona ecuatorial la variabilidad climática está más relacionada con la variación de los vientos alisios que con el periodo de almacenamiento de calor por parte del océano.
- 6.-Se asume, por lo tanto, que las anomalías del ciclo estacional están relacionadas con interacciones anómalas aire-océano que pueden producir patrones anómalos persistentes y reforzados por el intercambio de calor entre el océano y la atmósfera. Interacciones de larga escala también pueden ser responsables por patrones anómalos de escala mediana (Mitchell y Wallace,1989).
- 7.-Los agentes atmosféricos que intervienen en el ciclo estacional interactúan retroalimentándose positivamente.

Oscilación interestacional.

Otro agente importante que podríamos encontrar en nuestro análisis es la oscilación del nivel del mar que se presenta frente a nuestras costas, revelada y descrita por Spillane et al.(1987) y que tiene las siguientes características:

- 1- Es generada por variaciones interestacionales atmosféricas en zonas remotas sobre la línea ecuatorial.
- 2.- Se desplaza a lo largo de la línea ecuatorial hacia el este, adoptando la forma de onda Kelvin.
- 3.- Cuando llega a las costas se desvía con dirección a los polos bordeando las costas americanas (ondas atrapadas).
- 4.- Su periodicidad es de 30-70 días aproximadamente.

6.2.- Análisis por estación.

En esta sección se identifican las principales estructuras independientes presentes en cada una de las estaciones. Intentaremos después definir si su significancia estadística corresponde a una significancia física . Trataremos en el capítulo posterior la correlación de cada parámetro con su homólogo en cada una de las estaciones para tratar de definir si se trata de procesos locales o globales

El caso de Esmeraldas

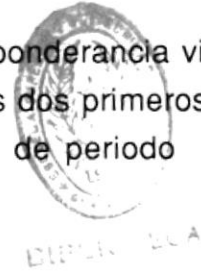
Para Esmeraldas obtuvimos tres modos significativos. Cada uno de estos tiene una ponderación definida independiente, lo que nos hace suponer que estamos tratando con tres agentes físicos no correlacionados entre sí (Wallace,1972). Si revisamos la tabla III que nos da el porcentaje de varianza para cada modo y la ponderación de cada parámetro en cada uno de los modos, encontramos que el primer modo que tiene un porcentaje de varianza de 39.3% está relacionado con la TSM y la TSA, aunque vale mencionar que este primer modo sí recibe, aunque en menor

grado, porcentajes de ponderancia de los otros dos parámetros. El segundo modo, con un porcentaje de 27.7% de varianza está relacionado sólo con la PRE y el tercero, con un porcentaje de 19.6% de varianza está relacionado sólo con la PTN. Este resultado nos hace suponer que tanto las temperaturas como la PRE y la PTN, para el caso de Esmeraldas, están siendo originados por tres agentes diferentes.

En los gráficos 4 y 5 observamos el primer modo (las líneas punteadas representan el 95% de confianza) y su correspondiente espectro, respectivamente. Considerando los niveles de confianza identificamos dos picos que representan dos frecuencias significativas la primera en una banda entre los 0.0936 y los 0.1092 ciclos por mes (alrededor de 10 meses) que representa probablemente el ciclo anual con un marcado nivel de significancia (95%). El segundo pico se encuentra entre 0.187-0.2028 ciclos por mes (alrededor de 5 meses). Notamos además que el gráfico que representa el modo parece representar la extensión de una oscilación de período mucho mayor al establecido en este estudio. Antes de asignar un agente físico externo a este modo, analizaremos si se trata de un proceso local o global por medio del análisis de la correlación de las series de tiempo que representan la TSA y la TSM con sus series homólogas de las demás estaciones. Analizaremos esta posibilidad más adelante.

Siguiendo el mismo procedimiento se analizó del segundo modo para Esmeraldas y su respectivo espectro (Sus gráficos no son mostrados en este trabajo), y se encontraron dos frecuencias significativas muy marcadas. También en este caso, la primera con una periodicidad anual y la segunda con una periodicidad semianual y una configuración que insinúa ser la extensión de una oscilación de periodo mayor. Recordemos que la principal ponderancia viene dada por la PRE y que debemos definir si se trata de procesos globales o locales. Para el tercer modo para Esmeraldas también pudimos encontrar las dos frecuencias significativas

(anual y semianual) muy marcadas. La principal ponderancia viene dada por la PTN y la morfología que encontramos en los dos primeros modos y que insinuaba ser la extensión de una oscilación de periodo mayor se encuentra ausente en este caso.



Alentados por Wallace (1972) que explica que cada Modo debe de representar a un agente físico externo, y considerando las periodicidades del primer y segundo modo (anuales) y sus respectivas ponderancias (TSM y TSA en el primer Modo, y PTN en el segundo), podríamos insinuar que en el primer caso se trate de las invasiones estacionales de aguas tropicales y para el segundo se trate del desplazamiento de la ITCZ. Si bien estos agentes están relacionados, ambos siguen patrones independientes. Sin embargo, para confirmar esta última hipótesis sería necesario un estudio más completo en cuanto a parámetros meteorológicos y oceanográficos en un rango de tiempo mayor.

Análisis de Manta

Predominan dos modos, el primero con mayor porcentaje de varianza y con periodicidad anual está relacionado con las temperaturas TSM y TSA pero también con la PTN. El segundo modo está relacionado con la PRE y, teniendo una periodicidad parecida a el primer modo, su comportamiento es opuesto. En los gráficos 4 y 5 podemos ver el primer modo con su respectivo espectro para Manta donde observamos un ciclo anual muy marcado. El porcentaje de la varianza de este modo es del orden del 58%. El segundo modo tiene una varianza del orden del 24%, no presenta un ciclo anual sino más bien una frecuencia alta (una periodicidad de días). Su mayor ponderancia pertenece únicamente a la PRE.

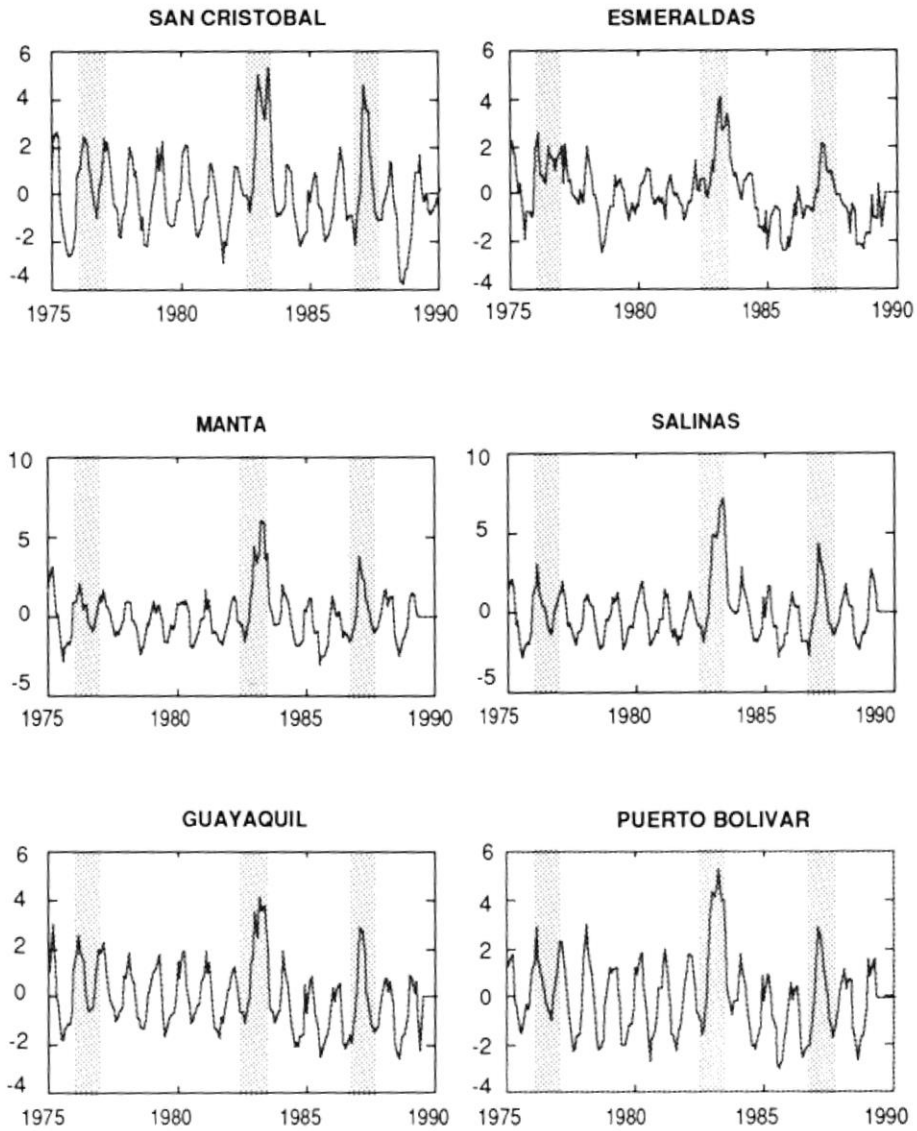
MODO 1 (PRIMER COMPONENTE PRINCIPAL)

Figura 4.- Serie de tiempo del Modo 1 para cada estación

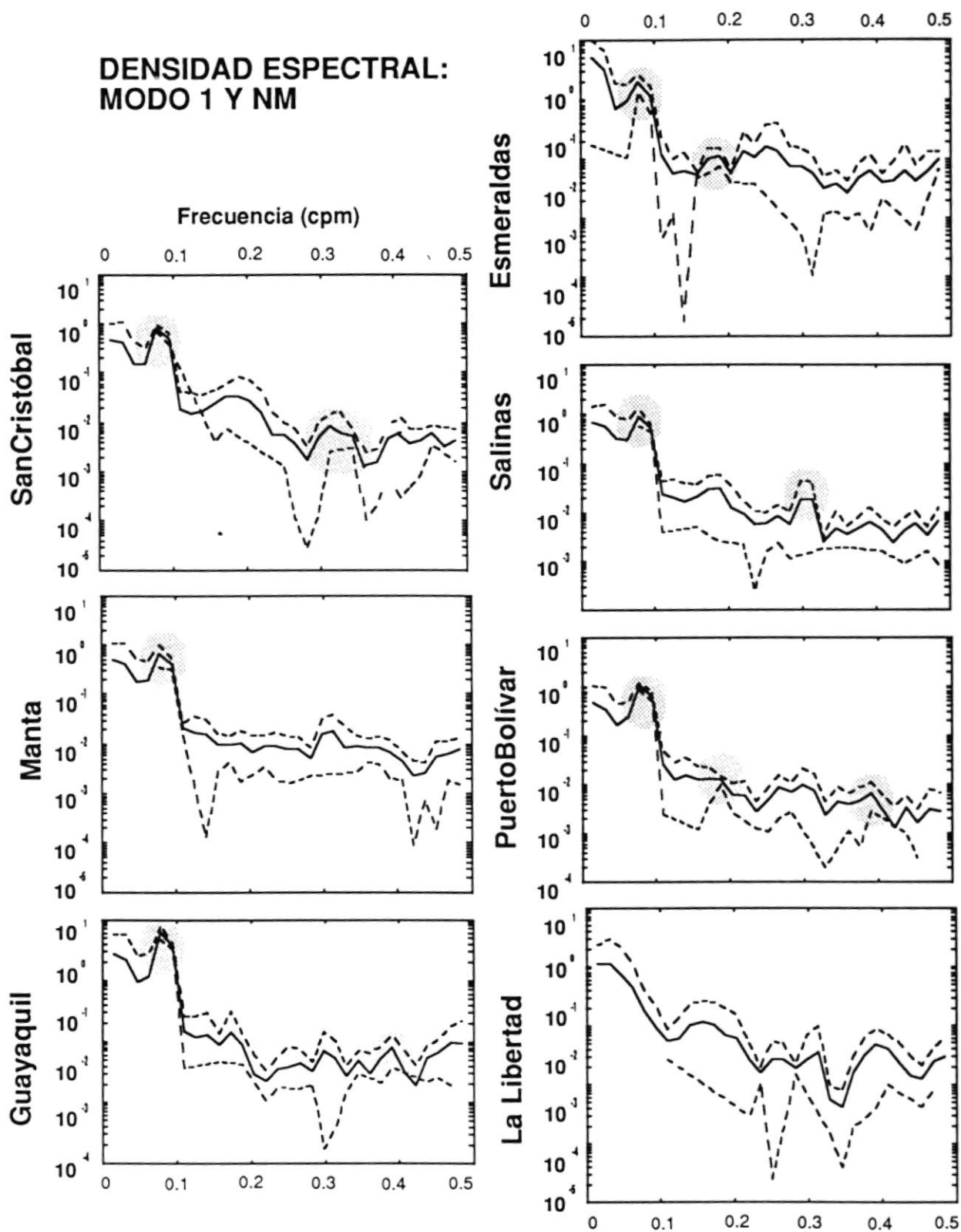


Figura 5.- Densidad Espectral para el Modo 1, y NM en La Libertad.

Podemos identificar al ciclo anual en el primer modo actuando sobre los tres parámetros en conjunto y definimos un segundo agente que controla la presión, su estructura opuesta podría ser explicada si consideramos que los valores de la presión son inversos a los de las temperaturas y PTN.

Puerto Bolívar

A pesar de las claras diferencias de la morfología de sus costas, tanto en Manta como en Puerto Bolívar encontramos patrones dominantes similares, probablemente indicando de esta manera el carácter global o forzamiento remoto del agente en cuestión, es así como: predominan dos modos, el primero con mayor porcentaje de varianza y con periodicidad anual está relacionado con las temperaturas TSM y TSA pero también con la PTN. El segundo modo está relacionado con la PRE y, teniendo una periodicidad parecida al primer modo, su comportamiento es opuesto. En las figuras 4 y 5 podemos ver el primer modo con su respectivo espectro para Manta donde podemos observar un ciclo anual muy marcado con un porcentaje de la varianza del orden del 58%.

Podemos identificar al ciclo estacional en el primer modo actuando sobre los tres parámetros en conjunto y definimos un segundo agente que controla la presión, su estructura opuesta podría ser explicada si consideramos que el comportamiento de la presión en situaciones normales es inverso a los de temperatura y precipitación.

Salinas y San Cristóbal.

También en estos casos encontramos patrones dominantes similares: Predominan dos modos, el primero con mayor porcentaje de varianza y con periodicidad estacional está relacionado con todos los parámetros: las temperaturas TSM y TSA y también con la PRE y la PTN, sin embargo la ponderancia en este último parámetro es mucho menor que el resto (la mitad). El segundo modo está relacionado con la PTN y complementa la ponderancia de este parámetro, teniendo una periodicidad parecida al primer modo, mucho más claramente que el caso anterior y sobretodo en el caso de San Cristóbal. El ciclo estacional está muy marcado en el primer modo actuando sobre todos los parámetros en conjunto y definimos un segundo agente que aporta en la precipitación total, el comportamiento de este agente es claramente opuesto al patrón del primer modo.

Guayaquil.

Analizamos los resultados indicados en la tabla III , donde podemos escoger los dos primeros modos como significativos con 62.54% y 21.57% respectivamente. El primer modo mantiene una ponderancia significativa con todos los parámetros y su espectro demuestra un periodo anual y semianual, mientras que el segundo modo mantiene una ponderancia importante en Presión y su espectro muestra un periodo de 2.5 meses

6.3 Análisis por parámetro.-



Efectos locales y efectos regionales

El objetivo del análisis de esta sección es el de definir si los agentes físicos que determinamos en la sección anterior tienen un carácter global o se trata de procesos locales. Para esto utilizamos los resultados de la tabla IV en cuyo extremo derecho encontramos las ponderancias respectivas para cada uno de los modos. Para complementar este análisis se graficó cada uno de los modos significativos y sus respectivos espectros siguiendo la misma metodología que se utilizó para el análisis por estación. Los resultados del análisis de los espectros se encuentra resumido en la tabla V.

TABLA# V.- Resumen del Análisis Espectral por parámetro

PARAMETRO	MODO	BANDA	FRECUENCIA MAXIMO ESPECTRAL (c/mes)	DENSIDAD SPECTRAL
tsm	1	0.0781-0.1250	0.0938	0.8043
		0.2500-0.2969	0.2656	0.0134
tsm	2	0.0625-0.1250	0.0938	0.1817
ptn	1			no hay pico
ptn	2	0.0781-0.1562	0.0938	0.0761
pre	1	0.0781-0.1250	0.0938	0.8160
pre	2	0.0781-0.1562	0.0938	0.0993
pre	3			no hay pico
tsa	1	0.0625-0.1250	0.0938	2.0766

Del análisis tanto de las ponderancias como de los espectros obtuvimos los siguientes resultados:

- El primer modo de PRE tiene un período anual y mantiene una ponderancia significativa en todas las estaciones por lo que concluimos que este modo representa a un agente físico de ingerencia regional. Los modos dos y tres de PRE son menores en amplitud pero todavía son significativos, sin embargo su ponderancia es mantenida solamente por una estación (Esmeraldas en el primer caso y Manta en el segundo), por lo que concluimos que estos dos modos representan agentes locales en las zonas más norteñas.

- La TSA presenta solamente un primer modo con alta significancia , su espectro muestra un periodo anual y mantiene una ponderancia significativa en todas las estaciones (carácter regional).

- La PTN muestra un primer modo muy significativo de carácter regional pero que no presenta un pico definido en el espectro, y un segundo modo más pequeño, con período anual y con una ingerencia de carácter local definida para Esmeraldas.

- La TSM también presenta dos modos significativos. El primero de carácter regional presenta dos picos en el espectro, un periodo anual y otro de 3.7 meses. El segundo tiene carácter local definido para Esmeraldas y también muestra un periodo anual.

7.- Proyección de los objetivos .-

En este capítulo se indica, a manera de proyección de objetivos, cuál es el paso a seguir una vez que hemos detectado los modos de los principales agentes involucrados en el análisis y, debido a lo interesante del tema, nos extenderemos un poco más hasta enunciar las conclusiones del análisis tal y como fueran establecidas en el proyecto asociado a esta tesis: "VARIACIONES INTERANUALES Y ESTACIONALES DE LA CLIMATOLOGIA DE LA ZONA COSTERA ECUATORIANA" mencionado dentro de los antecedentes de esta tesis. Aún cuando el objetivo principal de el presente trabajo ya ha sido alcanzado, cual es el de establecer un método para utilizar las Componentes Principales en el análisis de la climatología, la utilidad de este método no sería apreciada a menos que se indicaran las interesantes posibilidades de análisis que nacen a partir de estos resultados, y que de otra manera quedarían incompletos.

Para conseguirlo se utilizarán metodologías y conceptos adicionales como el de análisis de Espectro Cruzado descrito por Cornejo en su trabajo sobre "Forzamiento y Propagación de Variabilidad de Alta Frecuencia en el Nivel del Mar" (1987).

Análisis de la variabilidad común.-

Hasta este punto hemos podido comprobar la utilidad del método al corroborar con nuestros resultados la existencia de un marcado ciclo estacional de período anual e ingerencia regional, pero como habíamos indicado en los antecedentes, lo que en realidad nos interesa es conocer

el comportamiento de las desviaciones de la climatología tanto estacionales como interanuales para establecer correlaciones entre los diferentes parámetros para determinar sus patrones de comportamiento. Es decir: Más que las condiciones normales de la climatología y el ciclo estacional que por otro lado ya ha sido estudiado en otros trabajos, nuestro mayor interés es el de identificar la variabilidad de estos parámetros o sus condiciones "anormales" que son las que mayor importancia física , social y económica tienen , (ej: El Niño).

Para conseguir este objetivo utilizamos el análisis de espectro cruzado entre cada uno de los primeros modos que obtuvimos en nuestro análisis y el espectro del nivel del mar en la Libertad (Cornejo y Enfield,1987) cuya serie se encuentra graficada en la figura #6. Las razones para escoger esta serie fueron principalmente dos: 1.-Debido a que la serie NM de Libertad no presenta un ciclo anual , no presentará coherencias al aplicarse el análisis de espectro cruzado con ninguno de los modos actuando de esta manera como filtro para las condiciones "normales" enfocando sólo las "anormales" , y 2,- Debido a la amplia disponibilidad de información que ofrece esta serie en particular. Escogimos el primer modo del análisis por estación basados en los altos niveles de significancia que estos representaban. Los resultados de esta operación se encuentran graficados en la figura 7 y resumidos en la Tabla #VI.

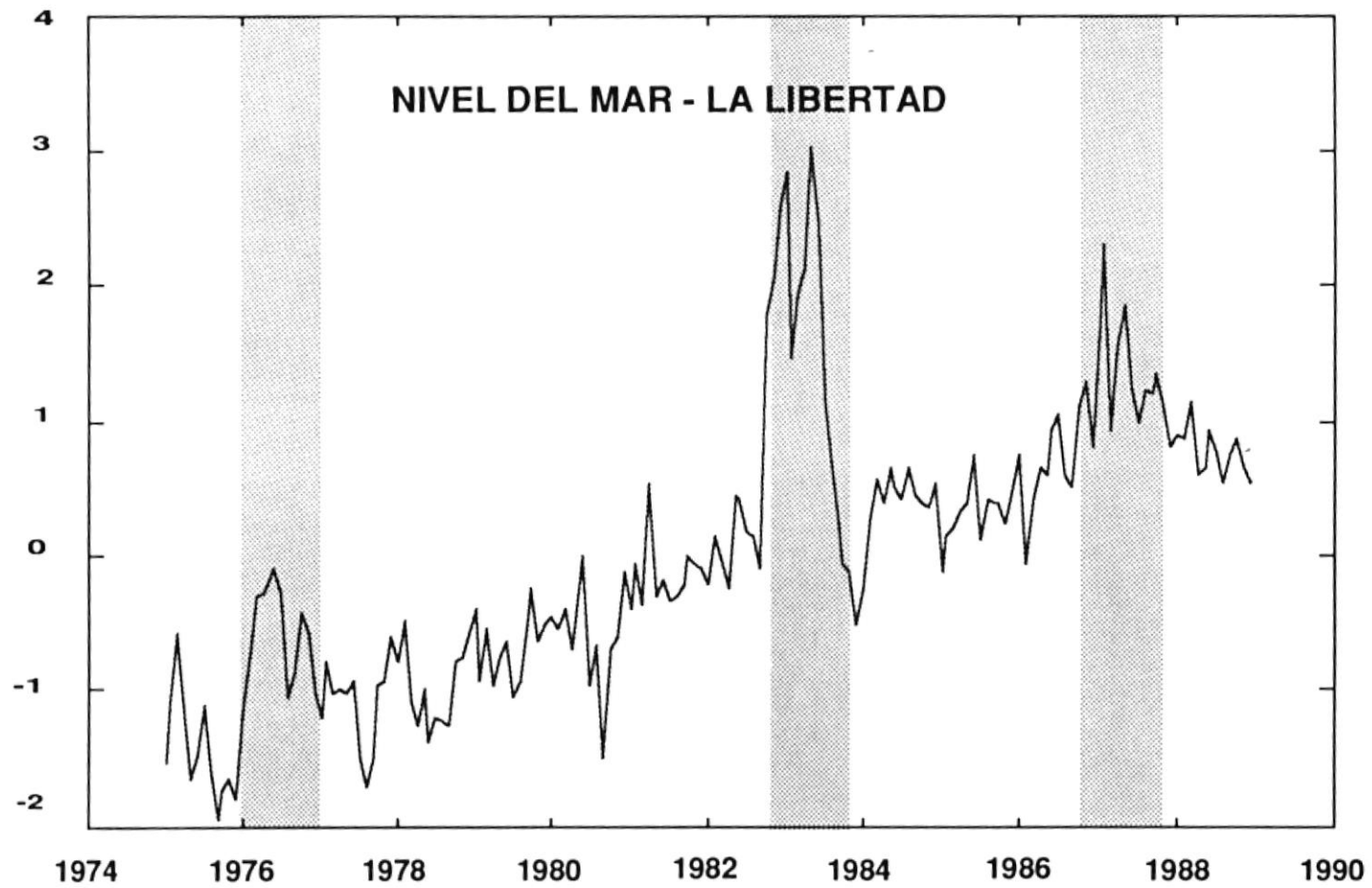


Figura 6.- Serie Normalizada de Nivel del Mar (NM) en La Libertad

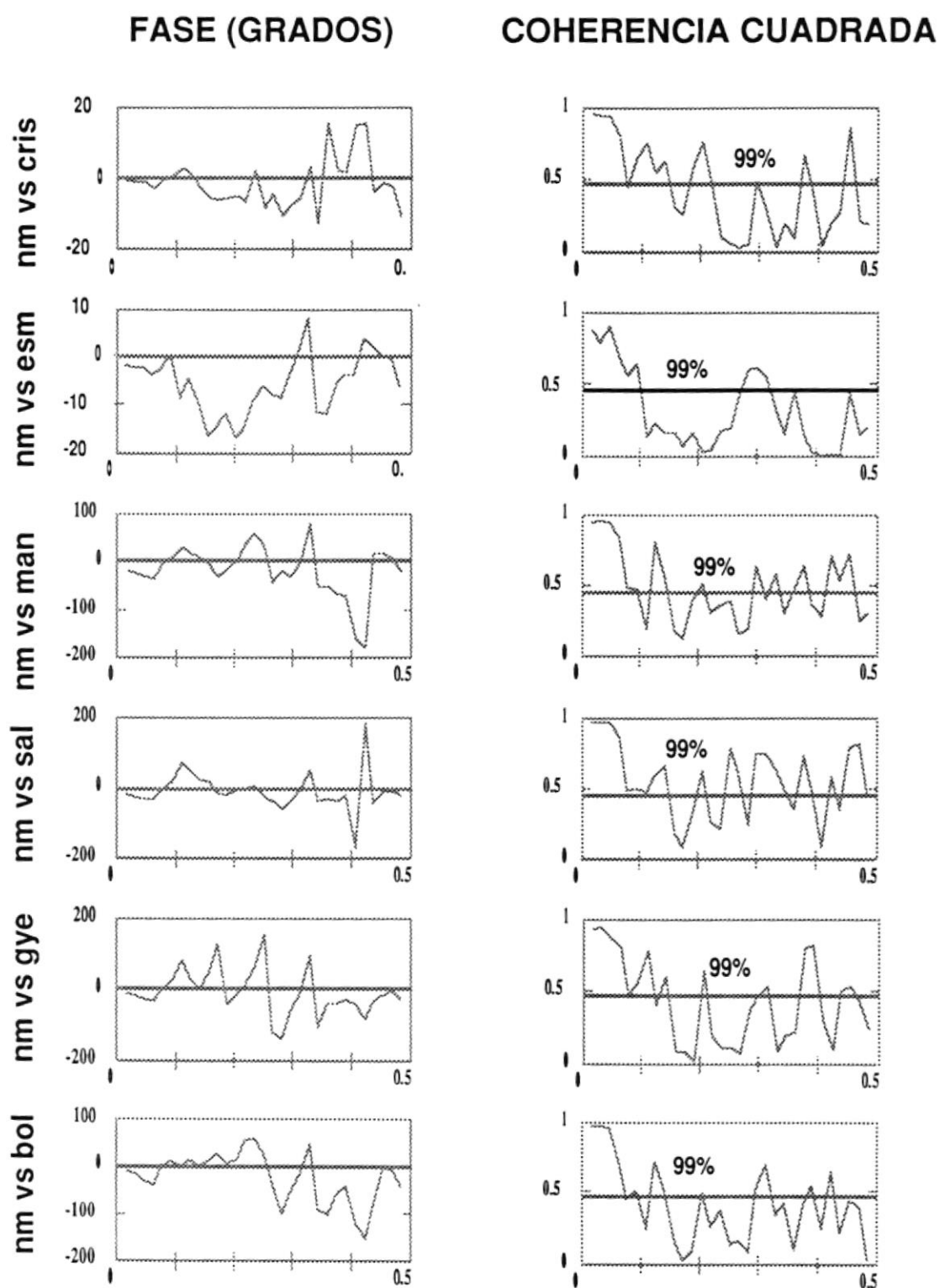


Figura 7.- Espectro Cruzado de Nivel del Mar en La Libertad vs Modo 1

La tabla VI resume de la figura 7 los resultados más importantes del análisis, es decir, aquellos que en los cuadros de la derecha presenten mayores niveles de significancia y que a su vez se mantengan para todas estaciones porque, no olvidemos, buscamos la mayor variabilidad común.

Tabla VI.- Espectro Cruzado

COHERENCIA CUADRADA (99% -> 0.48)	FASE (grados)	FRECUENCIA (ciclos/mes)	PERIODO
≥ 0.9	(-10) - (-20)	0.005	20 meses
0.7-0.8 ¹	0	0.13	8 meses
0.5-0.8	0 ²	0.20	5 meses
0.5-0.8	negativa (max -100)	0.30	3 meses
0.5-0.8	variables	0.4-0.5	60-90 días

Podemos notar en la tabla que la mayor coherencia (≥ 0.9) y el mayor nivel de confianza (95%) se encuentran en la banda centrada en la frecuencia 0.005 que corresponde a los 20 meses (casí dos años), con un desfase negativo que va de 10 a 20 que significa que el agente físico relacionado con el primer modo se presenta 10-20 grados antes que el Nivel del Mar comience a variar. La tabla VI también muestra coherencias significativas en los 8, 5 y 2-3 meses, pero quizá la más interesante sea la primera, no solo porque sus niveles de significancia son los más altos sino porque además la longitud de la frecuencia nos dice que podemos haber detectado con nuestro método, un rastro de la existencia de la Componente Bienal cuya presencia ha sido recientemente determinada por Rasmusson (1990), como un modo fundamental de los eventos ENSO,

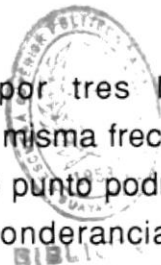
¹ excepto Esmeraldas

² excepto Esmeraldas, fase = -180

con una fase similar a la del ciclo anual observada en el MODO 1 de nuestro análisis. Aún cuando la relación entre ambos no es clara, se sabe que esta Componente Bienal es resultado del forzamiento oceano-atmósfera.

8.-Discusiones y Conclusiones

- 1).- Del análisis de las propiedades estadísticas de las series (Figura 2 y Tabla II del capítulo III) concluimos que la PTN es el parámetro que presenta mayor variabilidad en todas las estaciones.
- 2).- También encontramos una alta variabilidad en las TSA y TSM pero esta no se encuentra presente en todas las estaciones siendo las encontradas en San Cristóbal y Salinas mayores que las encontradas en otras estaciones, lo que suena lógico si consideramos que son las estaciones más expuestas a variabilidad de forzamiento remoto en la zona ecuatorial.
- 3).- Tanto en la TSA como en la TSM y la PTN se observa que el ciclo anual se ve amplificado durante eventos ENSO. Sin embargo observamos que en la PRE solo se observan cambios sustanciales en Salinas.
- 4).- Las series de tiempo en Esmeraldas tienen un comportamiento diferente al de las otras, con variabilidad de alta frecuencia (1-3 meses). Esta observación nos hace sospechar que en la climatología de las costas de Esmeraldas influyen agentes físicos diferentes de aquellos que actúan en las demás estaciones. La hipótesis se ve corroborada posteriormente con el análisis de los Modos presentes en esta estación. A diferencia de las demás estaciones que muestran una estructura conformada por un primer modo muy significativo y un segundo modo de variabilidad secundaria,



Esmeraldas muestra una estructura conformada por tres Modos significativos con varianzas similares y que presentan la misma frecuencia relacionada con el ciclo anual. Considerando este último punto podríamos sospechar que en el primer Modo cuya mayor ponderancia está relacionada con la TSM y la TSA, represente las invasiones estacionales de aguas tropicales del norte; y que el segundo Modo cuya ponderancia es mayoritariamente de la PTN, se trate del desplazamiento de la ITCZ. Si bien estos agentes están relacionados y presentan la misma frecuencia relacionada con el ciclo anual, ambos siguen patrones independientes. Sin embargo, para confirmar esta última hipótesis sería necesario un estudio más completo en cuanto a parámetros meteorológicos y oceanográficos en un rango de tiempo mayor. En el análisis por parámetros (Tabla IV) notamos que todos los primeros Modos tenían carácter regional y que los segundos Modos eran locales y ubicados en Esmeraldas. Todos estos datos nos reafirman la idea de que la Climatología en Esmeraldas podría ser influenciada por otros agentes físicos como la circulación Monzónica Colombiana y la invasión de aguas cálidas provenientes del Golfo de Panamá; además de la corriente de Humboldt o Perú.

- 5.- En el resto de las estaciones la estructura es común aún en estaciones de diferentes características geográficas lo que reafirma el carácter regional de los modos hallados. En esta estructura domina un primer modo de alta significancia coexistiendo con un segundo Modo de menor varianza. El análisis espectral indica que la mayor energía del primer Modo se concentra en un período de alrededor de los 10-11 meses relacionándolo con el ciclo anual. Este Modo domina en TSA y TSM a lo largo de la costa y Galápagos siempre, no así en PRE y PTN. No se halló una estructura clara que represente la Oscilación 30-70 días aunque en algunos casos pudieramos notar su posible influencia. Una razón para no haber detectado este agente es el hecho de haber utilizado registros

meteorológicos locales, coincidiendo con los resultados de Spillane et al (1987) que concluyó que su forzamiento era provocado algunas millas mar adentro sobre la línea ecuatorial. En las estaciones más norteñas la variabilidad es pequeña comparada con las otras estaciones, aunque significativa. Todos los parámetros muestran picos espectrales en las bandas interestacional y estacional, aunque la primera no es resuelta por el intervalo de muestreo.

- 6.- El nivel del mar no exhibe un ciclo anual muy claro sino variaciones de baja frecuencia (ENSO) y de alta frecuencia (2-3 meses). Estas características fueron utilizadas relacionando su serie (espectro cruzado) con el primer MODO de cada estación. El resultado de este análisis indica que las mayores coherencias se encuentran en la banda centrada en 20 meses (casi dos años), con coherencias significativas también en los 8, 5 y 2-3 meses. Este resultado es coherente con Rasmusson (1990) que determinó la presencia de una componente bienal (24 meses), como modo fundamental de los eventos ENSO, con una fase similar a la del ciclo anual observada en el MODO 1 de nuestro análisis, por lo que concluimos que esta señal interanual, presente en todas las series, es una respuesta clara a eventos de El Niño y anti-El Niño (3 eventos de El Niño están presentes en las series).

BIBLIOGRAFIA

- Bigg G.R. y A.E.Gill, "The anual Cycle of sea level in the Eastearn Tropical Pacific"., Vol.16 1055-1061, 1986.
- Boletin EOS, American Geophysical Union, Septiembre 3, 1983.
- Busalacchi A.J. y J.O'brien, "The seasonal Variability in a Model of the Tropical Pacific", J.Phys. Oceanogr., Vol. 10, 1929-1951, 1980.
- Chiswell S.N.,D.R. Watts y M. Wimbush, "Inverted Echo Sounder Observations of Zonal and Meridional Dynamic Heigth Variability in the Eastern Equatorial Pacific during the 1982-83 El Niño" , Deep Sea. Res., Vol. 34, 313-327, 1987.
- Cornejo-Rodríguez M.P. y D.B.Enfield, "Propagation and Forcing of high frecuency Sea Level Variability Along the West Coast during the 1982-83 El Niño" J. Goephys. Res.,en prensa, 1987.
- Cornejo-Rodríguez M.P.,"The Effects of El Niño Event 1982-1983 in the Composition, Distribution and Biomass of Phytoplankton in the Southeastern Pacific", sin publicar, 1985.(2 copias).
- Dillon W.R. y M Goldstein, Multivariate Analysis Methods and its Applications, John Wiley & Sons, 587 p., 1984.
- Enfield D.B., "Annual and Nonseasonal Variability of Monthly Low Level Wind Filds over the Southeastern Tropical Pacific", Mon. Wea.Rev., Vol. 109, No. 10, 2179-2190, 1981.
- Enfield D.B." Progress in understanding El Niño", Endeavour, New Series, Vol. 11, No.4, 1987.
- Enfield D.B. y P.A. Newberger, "Peru Coastal Winds in 1982-1983", Proc. Ninth Ann. Clim. Diag. Workshop, Oregon State University, 22-26 October 1984, U.S. Dept. of Commerce, NOAA,147-156, 1984.
- Enfield D.B., "El Niño, Pacific Eastern Boundary Response to interannual forcing" Resource Management and Environmental Uncertainty, John Wiley & Sons Inc.,Cap 8, 1980.
- Enfield D.B.,M.P.Cornejo-Rodríguez, R.L. Smith y P.A. Newberger, "The Equatorial Source of propagating Variability Along The Peru Coast during the 1982-83 El Niño" J. Geophys.Res., en prensa, 1987.

- Flores Palomino, M.J., "Situación Actual de la Zona Costera Peruana, sus Recursos y su Utilización" , presentado en el I curso seminario sobre Manejo y Planificación de la Zona Costera y la Zona Económica Exclusiva, Mar del Plata Argentina, 7-16. Diciembre, 1983.
- Horel J.D. y A.G. Cornejo-Garrido, "Convection Along the Coast of Northern Peru during 1983. Part I: spatial and temporal Variation of clouds and rainfall", Mon.Wea.Rev.,1985,información incompleta.
- Leetmaa. A, D.W. Behringer, A. Huyer, R.L.Smith y J. Toole, "Hydrographic Conditions in the Eastern Pacific Before, During and After the 1982/1983 El Niño" Deep-sea research., en prensa, 1987.
- Luther D.G." Observations of Equatorial Waves ", Tesis de doctorado, Massachusetts Institute of Technology - Woods Hole Oceanographic Institution, 210 p, 1980.
- Mitchell Todd P. y Wallace John , "On the annual Cycle in Equatorial Convection and Sea-Surface Temperature".
- Moreano H.R., " Interacción Océano-atmósfera sobre la zona costera del Ecuador", Acta Oceanográfica, Vol. 1 No.1, 1-9,1980.
- Pizarro Pereyra L., "Observaciones del Viento durante el Niño 1982-1983", presentado en el taller sobre "El Niño" Guayaquil, Diciembre 1983.
- Resúmenes del Taller sobre "El Niño", Comisión Permanente del Pacífico Sur, Guayaquil, Diciembre de 1983.
- Santos S. y Arellano E., "Comportamiento de los parámetros Meteorológicos en el Fenomeno de El Niño 1982-1983", sin publicar, 1987.
- Spillane M.C., D.B. Enfield y J.S.Allen, "Intra-seasonal Oscillations in Sea Level along the West Coast of the Americas", J. Phys. Ocean., en prensa, 1987.
- Torres M.A., "El Niño 1982-1983: Aspectos Meteorológicos" presentado en el taller sobre "El Niño", Guayaquil, Diciembre 1983.
- Unninayar S., "Climate System Fluctuation,Monitoring", Proc. Ninth Ann. Clim, Diag. Workshop, Oregon State University, 22-26 October 1984, U.S. Dept. of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration NOAA, 147-156, 1984.

- Wallace J.M. y R.E. Dickinson, "Empirical Orthogonal Representation of Time Series in the Frequency Domain. Part I : Theoretical Considerations" and Part II : Application to the Study of Tropical Wave Disturbance, J. Applied Meteor., Vol. 11, No. 6, 887-900, 1972.
- Wells Niel , The Atmosphere and Ocean: A Physical Introduction, Taylor & Francis, 1986.
- Wyrki K., "The Slope of Sea Level Along the Ecuator during the 1982/1983 El Niño ", J.Geophys. Res.,Vol.89 No.C6, 104919-10424, 1984.
- Zambrano E., " Distribución de la temperatura Superficial en el Pacífico Ecuatorial (1974-1976)", Acta Oceanográfica, Vol. 1, No.1 1-9, 1980.