



**ESCUELA SUPERIOR  
POLITECNICA DEL LITORAL**

**FACULTAD DE INGENIERIA MARITIMA  
Y CIENCIAS DEL MAR**

***"ANÁLISIS DE LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA DE COSTA  
ECUATORIANA DURANTE EL PERIODO 1949-2004"***

**TESIS DE GRADO**

Previa la obtención del título de:

**OCEANOGRAFO**

Presentada por:

**FREDDY EDINSON HERNANDEZ VACA**

GUAYAQUIL - ECUADOR

2006

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Instituto Oceanográfico de la Armada por la cooperación recibida para el desarrollo de esta tesis, Sr. CPG-EM Mario Proaño Silva un agradecimiento especial por la autorización del uso de la información.

Agradecimiento especial a mi esposa por las constantes presiones para la terminación de este trabajo.

Al Dr Santos por la idea de este trabajo, y las enseñanzas recibidas tanto como alumno, trabajador y tesista, a Feng, Yang del Departamento de Investigación Climática del Servicio Meteorológico de Canadá, por los diferentes emails aclarando el uso del Rclimindex.

Al Ing. Enrique Sánchez por ser artífice principal en la continuación y terminación de mi carrera como oceanógrafo.

A la Dra. M. Pilar Cornejo de Grunauer por sus consejos y orientación durante mi formación y ahora en la terminación de mi carrera.

Y no puedo dejar de nombrar a mis compañeros de ESPOL e INOCAR, gracias por todo el tiempo y ayudas recibidas, a Michelle por su ayuda a romper la fuerza de fricción para continuar con este trabajo y a Héctor Chaux por las innumerables asesorías recibidas en aquella navegación en el Thompson.

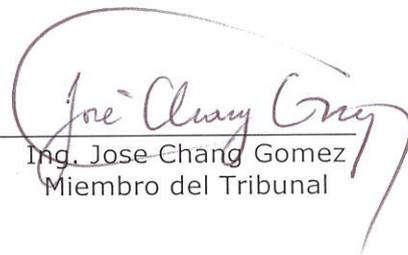
## **DEDICATORIA**

A Dios, principio y fin de todas las cosas, a mi familia por su constante y permanente apoyo gracias mamá papá y hermano, a mi esposa y mi hijo Santiago

**TRIBUNAL DE GRADO**



Dr. Jose Santos  
Director de tesis



Ing. Jose Chang Gomez  
Miembro del Tribunal



Ms. C. Francisco Medina  
Miembro del Tribunal



## 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).



---

**FREDDY EDINSON HERNANDEZ VACA**

## RESUMEN

Datos diarios de parámetros meteorológicos (temperatura del aire, temperatura máxima, mínima del aire y precipitación) de la red de estaciones meteorológicas del Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador han sido analizados en este trabajo. Variaciones espaciales y temporales fueron descritas aplicando análisis de componentes principales notando la existencia del ciclo anual así como la influencia de las variaciones interanuales El Niño-a en todos los parámetros y siguiendo la metodología de los diagramas ombrotérmicos se encontró la existencia de tres grupos de climatología en la costa ecuatoriana. 1. Estación San Lorenzo sin meses ecológicamente secos durante todo el año, 2.- Estación Esmeraldas los meses ecológicamente secos desde julio a noviembre y 3.- Manta, La Libertad, Guayaquil, Puna y Pto. Bolívar sus meses ecológicamente secos entre mayo y noviembre. Índices extremos de clima para temperatura máximas y mínimas del aires y precipitación se encontraron siguiendo la metodología del Equipo de Expertos en índices y detección de cambios climáticos ( *The Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices ETCCDMI*) auspiciado por la Comisión Climatológica de la Organización (CCI) Meteorológica y el proyecto de variabilidad y predictibilidad climática ( *Climate Variability and Predictability CLIVAR*), observando en general un comportamiento a tendencias positivas significativas en las temperaturas máximas y mínimas del aire así como la disminución de los días y las noches frías.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	6
INDICE GENERAL.....	7
INDICE DE FIGURAS.....	9
INDICE DE TABLAS.....	10
INTRODUCCIÓN.....	11
CAPITULO I	
1.1 Antecedentes .....	12
1.2 Materiales y métodos .....	15
1.2.1 Herramientas estadísticas .....	17
1.3 Control de calidad de las series de tiempo .....	19
1.4 "Unión" de series de Salinas y La Libertad .....	20
CAPITULO II	
2.1 Estadística básica de las series de tiempo .....	23
2.2 Climatología.....	29
2.2.1 Climatología de las series de tiempo .....	29
2.3 Clasificaciones Climáticas.....	30
2.3.1 Diagramas Ombrotérmicos.....	30
2.4 Variaciones espaciales y temporales de las series de tiempo .....	31
2.4.1 Modos empíricos de variabilidad estacional.....	32
2.4.2 Modos empíricos de variabilidad interanual.....	33
2.5 Años "Anómalos" como afecta a la climatología .....	36

### CAPITULO III

3.1 Homogeneización de series de tiempo .....	39
3.1.1 Aplicación de rutina RHTest .....	40
3.2 Índices de clima .....	42
3.2.1 Definición de índices de clima .....	43
3.2.2 Descripción de la rutina RClimDex (1.0) .....	45
3.3 Cambios Climáticos que ha experimentado el litoral ecuatoriano .....	49

### CAPÍTULO IV

Resultados .....	52
4.1 Distribución de temperatura del Aire .....	52
4.2 Distribución de las precipitaciones .....	57
4.3 Diagramas Ombrotérmicos.....	58
4.4 Distribución de índices climáticos.....	61
4.4.1 Usando todo el periodo de cada serie .....	61
4.4.2 Usando el periodo continuo mas largo de cada estación.....	64

### CAPITULO V

5.1 Conclusiones.....	68
5.2 Recomendaciones.....	71
Anexo I .....	72
BIBLIOGRAFIA.....	75

|

## INDICE FIGURAS

Figura	Pag.
Figura 1 Ubicación de las estaciones y períodos de estudio	....16
Figura 2 Series de tiempo: Salinas y La Libertad	....21
Figura 3 Datos diarios temperatura del aire en las estaciones de estudio	....24
Figura 4 Datos diarios temperatura máxima del aire en las estaciones de estudio	....25
Figura 5 Datos diarios temperatura mínima del aire en las estaciones de estudio	....26
Figura 6 Datos diarios precipitación en las estaciones de estudio	.....27
Figura 7 Modos empíricos estacionales, modo 1 explica 66.9 de la varianza y el modo 2 10.4 % de la varianza	.....37
Figura 8 Modos empíricos interanuales, modo 1 explica 57.0 de la varianza y el modo 2 13.9 % de la varianza	.....37
Figura 9 Consola de R 1.-Carga Rhtest.r 2.- Aplicación de función FindSteps a los datos de Prec San Lorenzo	....41
Figura 10 Menú Principal del Rclimdex	.....46
Figura 11 Ventana de error al aplicar control de calidad con Rclimdex, en los datos de San Lorenzo	.....47
Figura 12 Ventana de error al aplicar control de calidad con Rclimdex, en los datos de Manta	....47
Figura 13 Archivos individuales de los índices climáticos para la estación Guayaquil	.....48
Figura 14 Puntos de cambio en series anuales de temperatura mínima del aire	....51
Figura 15 Condiciones mensuales normales de Ta (°C)	....54
Figura 16 Condiciones mensuales normales de Tmax (°C)	.....55
Figura 17 Condiciones mensuales normales de Tmin (°C)	....56
Figura 18 Condiciones mensuales normales de Prec (x 100 mm)	.....57
Figura 19 Diagramas ombrotérmicos	.....60
Figura 20 Índices con tendencias significativas al 90% de confianza, tendencia en °C/año, usando todo el periodo de estudio	.....62
Figura 21 Índices con tendencias significativas al 90% de confianza, usando el periodo continuo mas largo	.....65
Figura 22 Diversos índices, gráficos realizados por el Rclimdex.	....66

## INDICE TABLAS

Tabla	Pag.
Tabla I Características de las estaciones meteorológicas de la red Analógica del INOCAR	.....15
Tabla No. II Estadístico de Prueba de hipótesis, Diferencia de medias a) Salinas y serie nueva b) La Libertad y serie nueva	.....22
Tabla III Estadística básica de las series de tiempo	.....28
Tabla IV Modos empíricos estacionales, en las cuatro últimas columnas se indica la ponderancia de cada estación al modo respectivo	.....34
Tabla V Modos empíricos de la variabilidad interanual, en las cuatro últimas columnas se indica la ponderancia de cada estación al modo respectivo	.....35
Tabla VI Definición de índices extremos de temperaturas y precipitación, se mantiene la nomenclatura internacional según lo recomendado por (20)	.....44
Tabla VII Puntos de cambio de las series anuales de Tmax, Tmin y Prec, números en rojo puntos de cambios estadísticamente significativas, ND no detectado	.....50
Tabla VIII Tendencia de índices extremos, valores marcados en rojo tendencias significativas al 95% y en azul al 90% usando todo el periodo	.....63
Tabla IX Tendencia de índices extremos con su respectivo p-value, valores marcados en rojo significativos al 95% y en azul al 90%, usando el periodo continuo mas largo	.....67

## **Introducción**

Cambios climáticos son perceptible en toda la tierra pero los mismos no tienen distribución homogénea en toda la tierra, se atribuye a las actividades humanas como la razón del efecto invernadero, y una consecuencia de éste son los cambios climáticos, el Equipo de Expertos en índices y detección de cambios climáticos (*The Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices ETCCDMI*) auspiciado por la Comisión Climatológica de la Organización (CCI) Meteorológica y el proyecto de variabilidad y predictibilidad climática (*Climate Variability and Predictability CLIVAR*), pone en el contexto mundial una lista de índices climáticos extremos a fin que puedan hacerse comparaciones de las variabilidades climáticas en toda la tierra. En este trabajo se aplica esta técnica estandarizada no sin antes hacer una descripción estacional y temporal de las series estudiadas con herramientas como análisis de componentes principales, los resultados son ploteados de manera espacial a fin de tener una mayor visualización de la variabilidad climática presente explicada por las componentes principales o por los índices climáticos propuestos por el grupo de expertos.

## **CAPITULO I**

### **1.1 ANTECEDENTES**

En el 2004, el Panel Intergubernamental en Cambio Climático (PICC), integrado por miles de científicos de todo el mundo, afirmó que la creciente contaminación industrial aumenta el "efecto invernadero", lo que origina un aumento en la temperatura o calentamiento global, la elevación del nivel del mar y cambios en el clima, con olas de calor, sequías, inundaciones y violentas tormentas. Un tipo de variabilidad asociada a los cambios en el clima es el "El evento El NIÑO que no solo se presenta y repercute en el Ecuador y Sudamérica, si no también en todo el globo terrestre" (1), "los cambios son de variada intensidad y han provocado efectos débiles como en el 1986-87 y en otras extremadamente fuertes tal como ocurrió en 1982-83" (2) y 1997-1998 este ultimo superó en intensidad, anomalías e impactos al evento ocurrido en 1982-1983.

La temperatura promedio en la tierra se ha incrementado cerca de 0.6° C en el siglo XX, este cambio tiene diferente distribución sobre la tierra haciendo que algunas áreas se hayan calentado mas que otras, no se puede pronosticar con exactitud como serán los cambios climáticos ni que consecuencias traerá sobre la sociedad, pero debemos tomar al clima como un aliado y no como una amenaza.

**Se mejora un suelo, se ordena una vertiente, pero no se mejora un clima; se lucha con él para obtener el mayor beneficio de las condiciones reinantes y se intentan prevenir los efectos negativos para paliar sus consecuencias (3)**

Diferentes conclusiones de estudios de variabilidad climática y cambios climáticos se han efectuado para el Ecuador con énfasis en la zona costera, entre algunas conclusiones se enuncian:

**La precipitación es el parámetro que presenta mayor variabilidad en la costa ecuatoriana.....temperatura del aire, temperatura del mar y precipitación tienen un ciclo anual y ampliado durante un Evento El Niño (4).**

**En la zona costera del Ecuador se ha establecido la presencia de dos estaciones climáticas, una seca de Mayo a Noviembre y una lluviosa de Diciembre a Abril, no se observa diferencia significativa entre la estación seca y lluviosa en la mayoría de los parámetros meteorológicos analizados, excepto en precipitación, y los patrones de las estaciones en Esmeraldas (costa norte del Ecuador) son diferentes a las del centro o sur del Ecuador (5).**

**Las temperatura del aire y temperatura del mar muestran tendencia al incremento, lo que representa una clara evidencia de cambio climático, principalmente en la zona central y norte de la costa del Ecuador (6)**

**Tendencias crecientes tanto en temperatura media como en temperatura extrema se reportan en todo el Ecuador, y las tendencias de las precipitaciones con el tiempo son irregulares con mayor inclinación hacia la disminución especialmente en la región litoral (7)**

**El periodo de lluvia comienza con el Solsticio de diciembre (cuando el sol se encuentra en el Trópico de capricornio) y termina dos meses después del Equinoccio de marzo (cuando el sol se encuentra sobre el Ecuador), este periodo se caracteriza por tener dos meses de máximas lluvias, marzo y abril que coinciden y vienen inmediatamente después del equinoccio de marzo. El periodo seco comienza con el Solsticio de junio (cuando el sol se encuentra en el Trópico de Cáncer) y termina un poco antes del Solsticio de diciembre. (8)**

Productos de la variabilidad climática existentes dan como resultado diferentes tipo de variaciones temporales: 3-6 meses (estacionales), 3-6 años (interanuales), 15-20 años (interdecadales), de las nombradas la mas conocida y estudiada es la interanual con cuyo nombre nos familiarizamos y es atribuida a el Evento el Niño-a, esta variación produce cambios en los patrones oceánicos y atmosféricos produciendo daños que pueden ser en todo nivel. El Evento Niño-a es monitoreado continuamente logrando con cierto grado de exactitud atinar en su pronóstico, lo que es más difícil pronosticar son los estragos que causará. Motivados por el monitoreo continuo de la variabilidad climática a nivel mundial un Equipo de expertos en detección de cambios climáticos conformó una lista de índices extremos (9) (10) comprensibles a fin de que sea una lenguaje común que explique la variabilidad encontrada. Diferentes estudios se han conseguido al aplicar esta metodología, así por ejemplo "no se han encontrado cambios sustanciales en índices de temperatura máxima pero si en los de temperatura mínima en sur América" (11), en "Colombia la temperatura de la media noche se ha incrementado establemente en los últimos 30-40 años" (12), en algunas localidades de Argentina ha incrementado el número de noches calientes y días fríos mayormente durante el verano (13).

En este trabajo se relacionan cambios en los patrones de temperatura del aire y precipitación con sus variaciones temporales (anuales, interanuales) y estacionales, se explica los índices climáticos detectando presencia o no de variabilidad climática, y se define estaciones climáticas presentes en la costa ecuatoriana.

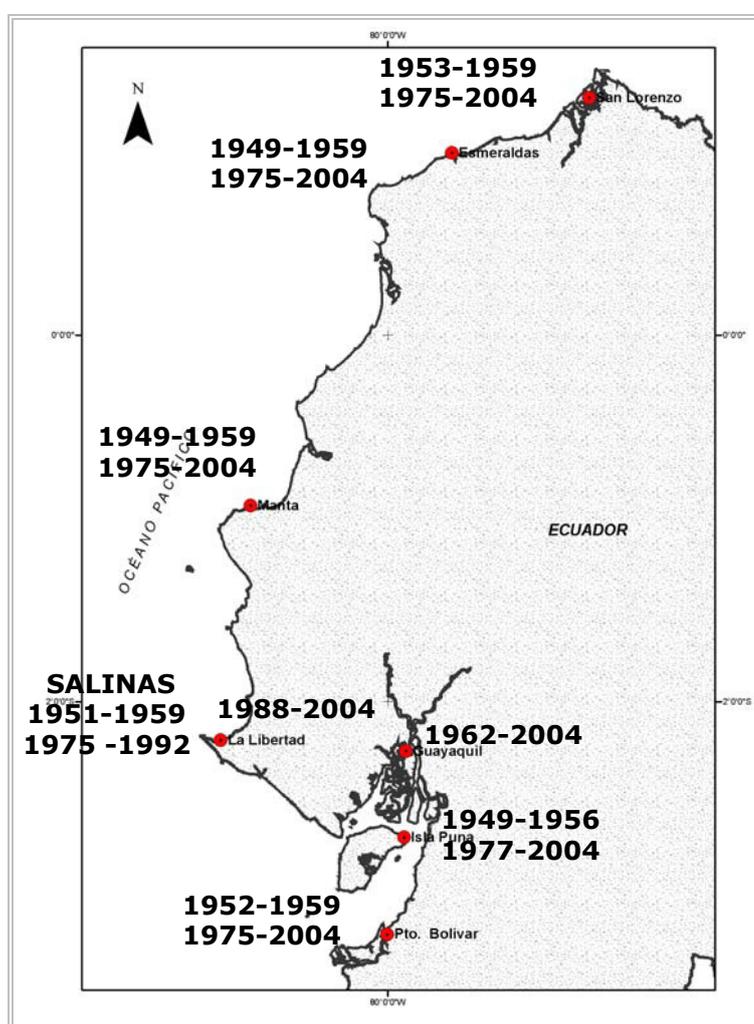
## 1.2 MATERIALES Y METODOS

Las series de datos analizados, datos diarios, pertenecen a las estaciones de la red meteorológica del Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR), las características de las estaciones se encuentran en la Tabla I, los parámetros analizados son Temperatura del Aire (Ta), Temperatura del aire máxima (Tmax), Temperatura del aire mínima (Tmin) y precipitación (Prec), los cuales se han seleccionados por considerarse los mas representativos cuando se habla del estudio de climatología.

<b>Puerto</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Altitud</b>	<b>Instalación</b>	<b>Ultima reubicación</b>
<b>San Lorenzo</b>	1°17' 47" N	78°54'34" O	5 m nm	Febrero-53	No hay reubicación
<b>Esmeraldas</b>	00° 59' 45" N	79°39'7" O	4 m nm	Enero-1949	Sep-98
<b>Manta</b>	00° 55' 53" S	80°44'15"O	4 m nm	Enero-1949	Oct-92
<b>La Libertad</b>	02° 12' 52" S	80°54'12" O	17 m nm	Mayo-98	Nov-04
<b>Guayaquil</b>	2°16 ` 06"S	79°54'0" O	4 m nm	Enero-48	Julio 1984
<b>Isla Puna</b>	2°44' 15" S	79°54'30"O	22 m	Enero-49	Nov-80
<b>Puerto Bolívar</b>	3°16' 05" S	80°0'0" O	4 m nm	Enero-52	No hay reubicación

**Tabla I Características de las estaciones meteorológicas de la red Analógica del INOCAR**  
**Fuente: Instituto Oceanográfico de la Armada**

No se presenta en la Tabla I la estación Salinas debido a que esta estación inicialmente perteneció a la Fuerza Aérea Ecuatoriana y no perteneció a la red de estaciones del INOCAR, pero los datos de Salinas se encuentran en el Sistema de Información Hidrográfica y Oceanográfica del INOCAR (SIHO), no está ingresada su metadata, fue hasta 1988 que INOCAR empezó sus mediciones en le Península de Santa Elena no en Salinas si no en La Libertad, dando comienzo a la Estación Meteorológica La Libertad.



**Figura 1 Ubicación de las estaciones y períodos de estudio**  
**Fuente: Instituto Oceanográfico de la Armada**

El inicio de las mediciones en cada estación es diferente por referencia de la metadata entregada por el INOCAR, al comienzo en cada estación meteorológica las observaciones eran anotadas por personal de la marina, no fue hasta 1975 en todas las estaciones menos en Puná que INOCAR puso personal propio como observadores logrando una continuidad en los datos de cada estación, la estación Guayaquil empezó sus mediciones en 1962, el periodo de estudio y la ubicación de las estaciones se muestran en la Figura 1.

## **1.2.1 Herramientas Estadísticas**

### **1.2.1.1 Estadística descriptiva**

Con el fin de condensar los datos a través de tan solo unas cuantas medidas descriptivas se usan medidas de tendencias central o dispersión como: media aritmética, desviación estándar, varianza, rango, percentil; conceptos de estadística inferencial como prueba de hipótesis también se usan en esta tesis.

### **1.2.1.2 Métodos Univariados**

A fin de encontrar relaciones entre variables se usan herramientas como regresión simple y correlación, la regresión es útil para averiguar la forma probable de las relaciones, y como objetivo final predecir o estimar el valor

de una variable que corresponde al valor dado de otra variable. La correlación se refiere a la medición de la intensidad de la relación entre variables.

Un concepto "nuevo" es introducido en esta tesis que es el modelo de regresión de dos fases, que consiste en comprobar o no la existencia de puntos de cambios en las series de tiempo, analizando a la vez la pendiente de la recta de regresión y la media cada ciertos segmentos de la misma, mas detalles de la aplicación del modelo de regresión de dos fases se incluye en el Capitulo III.

### **1.2.1.3 Métodos multivariados**

Se aplica análisis de componentes principales (PCA) que comprende un procedimiento matemático que transforma un conjunto de variables correlacionadas de respuesta en un conjunto menor de variables no correlacionadas llamadas *componentes principales o modos*, es posible extraer igual numero de nuevas variables como variables iniciales se haya utilizado, sin embargo, el objetivo en la mayoría de las aplicaciones es de obtener el menor número de componentes principales posibles que a sus vez expliquen el mayor porcentaje de la varianza total posible lo que en otras palabras seria descubrir la verdadera

dimensionalidad de los datos. Si los datos se sitúan en un espacio  $p$ -dimensional, ¿esos datos tomarán las  $p$ -dimensiones? En caso contrario, aunque se este midiendo  $p$ -variables, la dimensionalidad real de los datos es menor que  $p$ . Se usa el PCA para determinar la dimensionalidad real de los datos, y cuando esa dimensionalidad es menor que las variables originales se pueden reemplazar por un número menor de variables subyacentes, sin que se pierda información.

Diferentes estudios de la aplicación de esta técnica se han desarrollado inclusive para la costa del Ecuador, (4) (5), (15), (16), (17), (18), (19) encontrando aplicabilidad a la técnica a fin de reducir el número de variables estudiadas sin perder información. Detalles de la formulación matemática de esta técnica se muestran en (20).

### **1.3 CONTROL DE CALIDAD (CC) EN LA SERIES DE TIEMPO**

Los resultados encontrados en este trabajo dependen no solo de las técnicas analíticas empleadas también dependen de la calidad de los datos, ésta entre otras cosas depende de la longitud o tamaño de la muestra, la homogeneidad de los datos, la coincidencia temporal de las observaciones

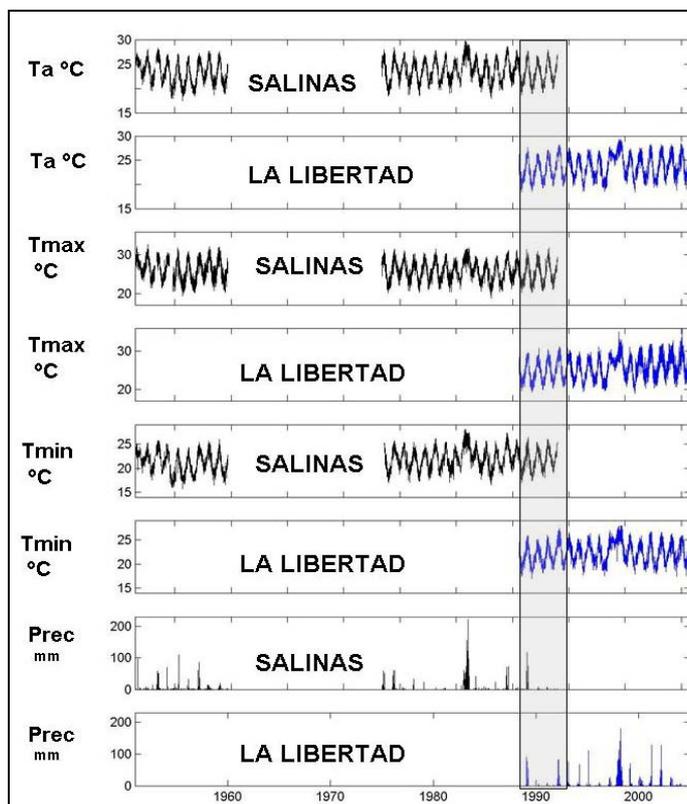
entre estaciones, a fin de poder realizar comparaciones. En este trabajo primero se realizó un control visual de los datos dentro del cual se eliminaron datos sospechosos, no sin antes acudir a la metedata de los mismos, ya que la existencias de datos sospechosos podrían deberse a errores de tipeo, los datos faltantes no fueron rellenos. Segundo con la aplicación del Rclimdex, se encontró datos erróneos como  $T_{min} > T_{max}$ ,  $Prec < 0$ , los datos faltantes fueron codificados con -99,9 para trabajar en Rclimdex, y luego reemplazados por NaN para trabajar en Matlab en la aplicación de Análisis de Componentes Principales.

A fin de encontrar puntos de cambios sin documentar, "inhomogeneidades en las series", se aplica el test de homogeneidad basado en aplicar el modelo de regresión de dos fases detallado por (14), detalles de la aplicación del Rclimdex y Rtest se presentan en el Capitulo III.

#### **1.4 "UNIÓN" DE SERIES DE SALINAS Y LA LIBERTAD**

A fin de hacer referencia a las dos series de Salinas y La Libertad como una sola serie se aplicó un procedimiento "especial" para realizar la unión entre las mismas, el periodo de las series de Salinas es de 1951-1959/ 1975 - 1992 y en la Libertad es de 1988-2004, obteniéndose una sola serie con periodos de 1951-1959 y 1975-2004, el procedimiento consistió que en el periodo en común, 8/5/1988- 31/1/1992, se promedió los datos que existían para cada una de las variables, luego realizando una prueba de hipótesis se comprobó que no existían diferencias significativas al 95% de

confianza, resultados de las pruebas de hipótesis se muestran en la Tabla III, en la Figura 2 se muestran las series de Salinas y La Libertad el recuadro marca el periodo en común entre ambas series.



**Figura 2 Series de tiempo: Salinas y La Libertad**  
**El recuadro muestra el periodo común en ambas series**  
**Fuente: Freddy Hernandez 2006**

Tres de las cuatro series no mostraron diferencia significativas con la serie nueva, por los resultados del estadístico de prueba en la aplicación de prueba de hipótesis diferencia de medias que se muestran en la Tabla II, unimos las series Salinas con la Libertad, aun con la incertidumbre de la diferencia encontrada para Tmax, de aquí en adelante se refiere a La Libertad como la unión de los datos de Salinas y La Libertad.

a)	Salinas		Serie nueva		$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$ $H_A: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$	
	Media	Varianza	Media	Varianza	z	P(z)
Ta	23.1	4.5	22.9	4.4	1.62	0.05
Tmax	25.14	6.5	24.75	6.3	4.0	2.8 E-05
Tmin	21.6	4.0	21.6	3.6	0.31	0.37
Prec	0.50	23.8	0.51	17.0	-0.07	0,47
b)	La Libertad		Serie nueva		$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$ $H_A: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$	
	Media	Varianza	Media	Varianza	z	P(z)
Ta	22.8	4.3	22.9	4.4	-1.61	0.05
Tmax	24.35	6.3	24.7	6.3	-4.15	1.65 E-05
Tmin	21.58	3.5	21.6	3.6	0.31	0.37
Prec	0.52	20.6	0.51	17.0	0.03	0.48

**Tabla No. II Estadístico de Prueba de hipótesis**

**Diferencia de medias a) Salinas y serie nueva**

**b) La Libertad y serie nueva**

**Fuente: Freddy Hernandez 2006**

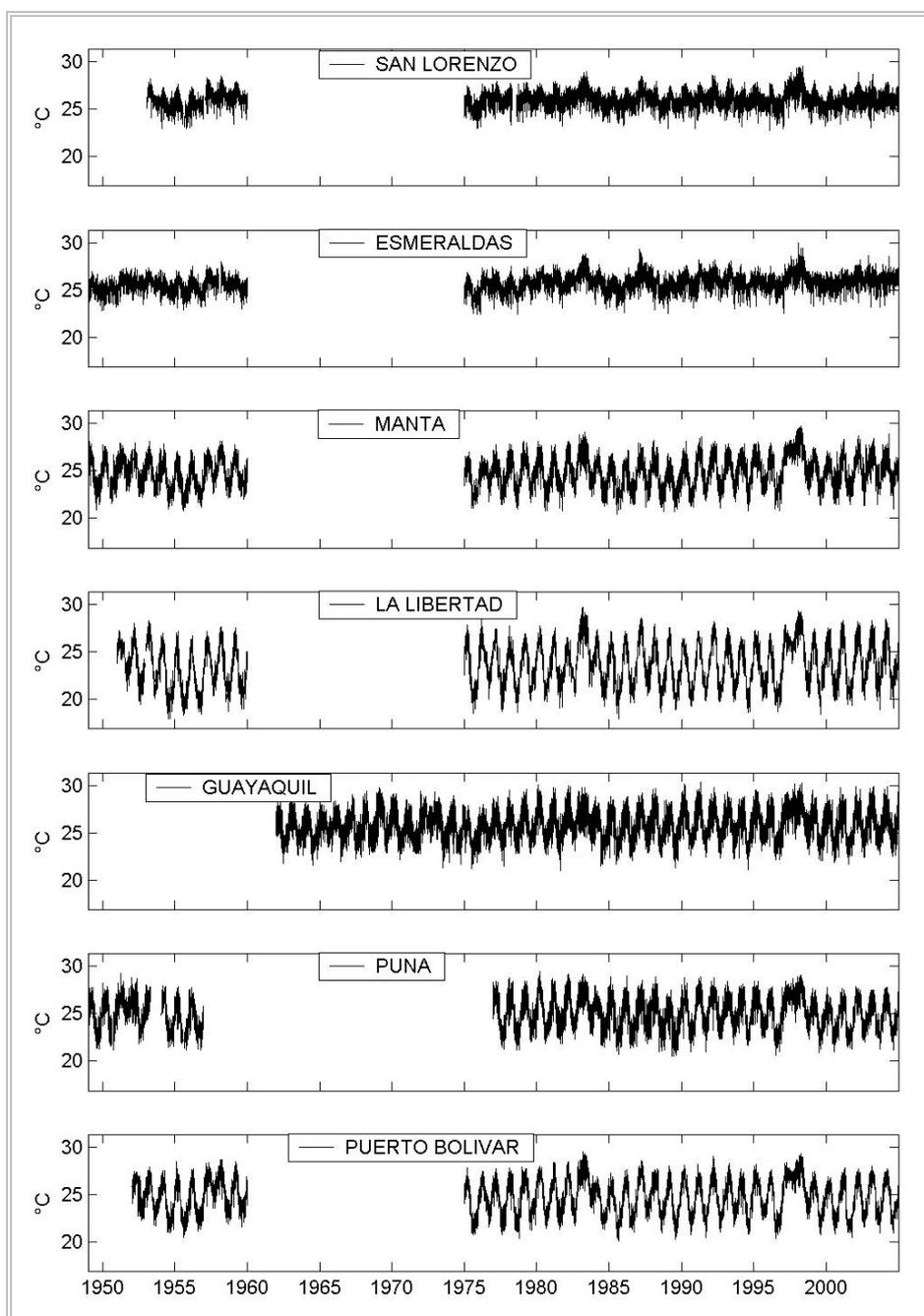
## **CAPITULO II**

### **2.1 ESTADÍSTICA BÁSICA DE LAS SERIES DE TIEMPO**

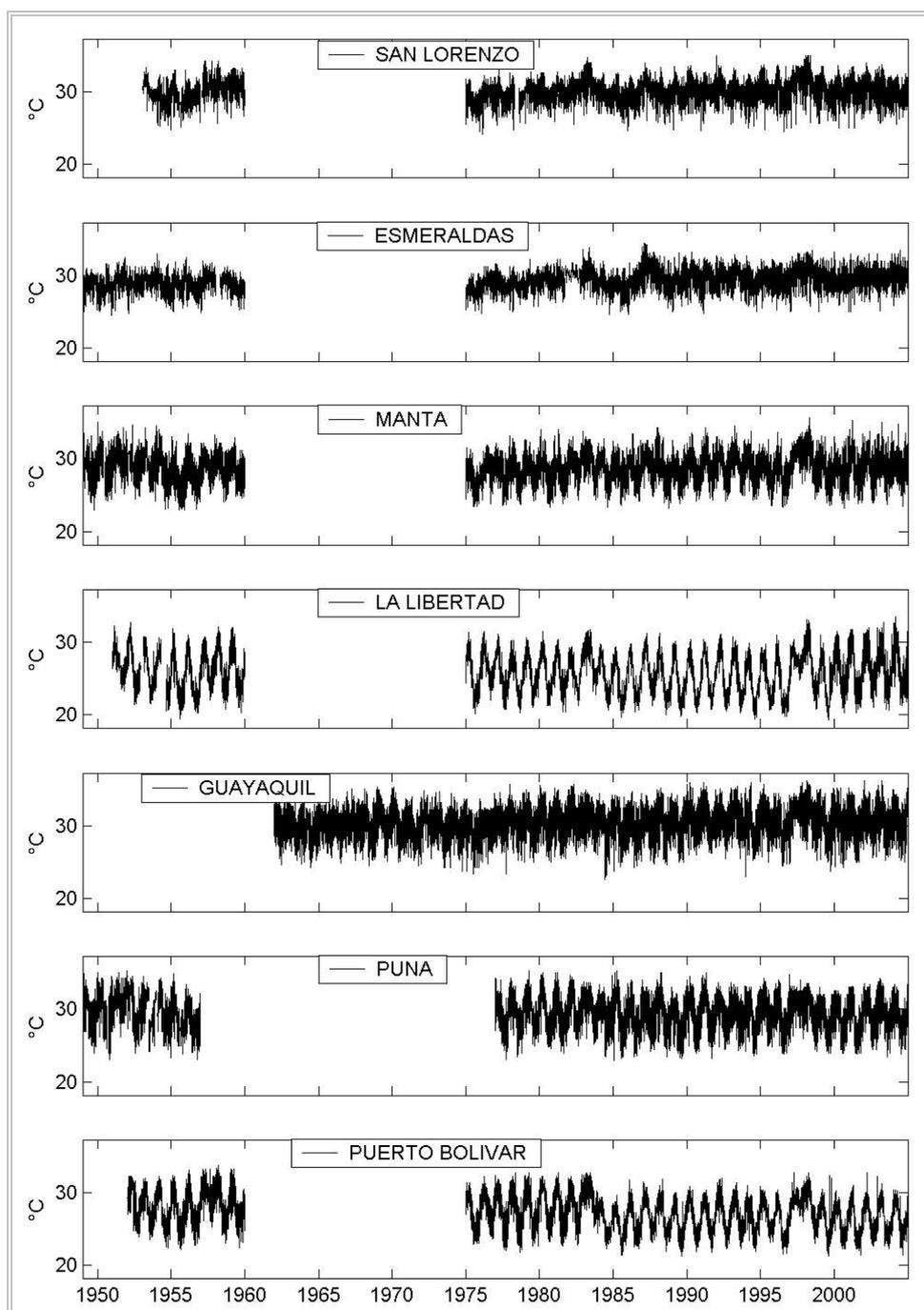
Si bien es cierto el título de ésta tesis menciona que se analiza el periodo 1949-2004, el periodo no es continuo, existe una gran vació en los datos, en esta parte de la tesis se analizarán los periodos continuos en promedio 1975-2004 para todas las estaciones menos Guayaquil que tiene datos desde 1962 hasta 2004.

Las Figuras siguientes 3, 4, 5 y 6 muestran  $T_a$ ,  $T_{max}$ ,  $T_{min}$  y  $Prec$ , respectivamente, luego de haberles aplicado a cada una de las series el "control de calidad" explicado en el capítulo anterior.

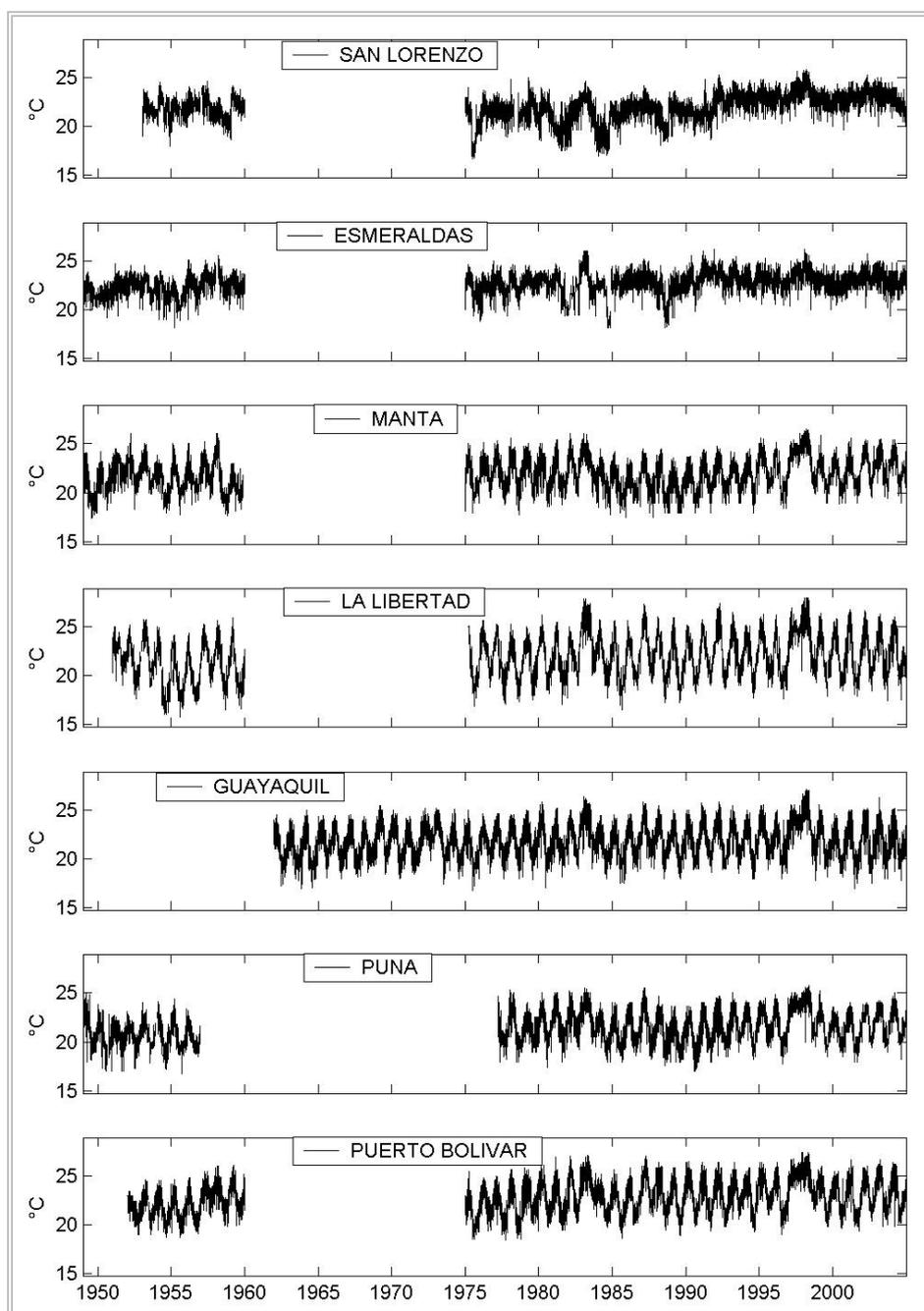
Se observa en cada una de las figuras anteriores una "clara" diferencia de ciclos entre las estaciones ubicadas en la costa norte que las que se encuentran en el centro y sur de nuestra costa, eso se debe a que las estaciones en el norte San Lorenzo y Esmeraldas están mayormente influenciadas casi o todo el año por la corriente de Panamá, en cambio las estaciones al sur del Ecuador, La Libertad, Puna, Pto. Bolívar están influenciadas por la corriente fría de Humboldt, Manta, en cambio tiene la influencia de ambas corrientes por encontrarse en la zona del frente ecuatorial. Guayaquil es muy diferente a las otras estaciones, ésta no se encuentra en el margen costero, lo que hace de su comportamiento un caso especial dentro de este estudio.



**Figura 3 Datos diarios temperatura del aire en las estaciones de estudio**  
**Fuente: Freddy Hernandez 2006**

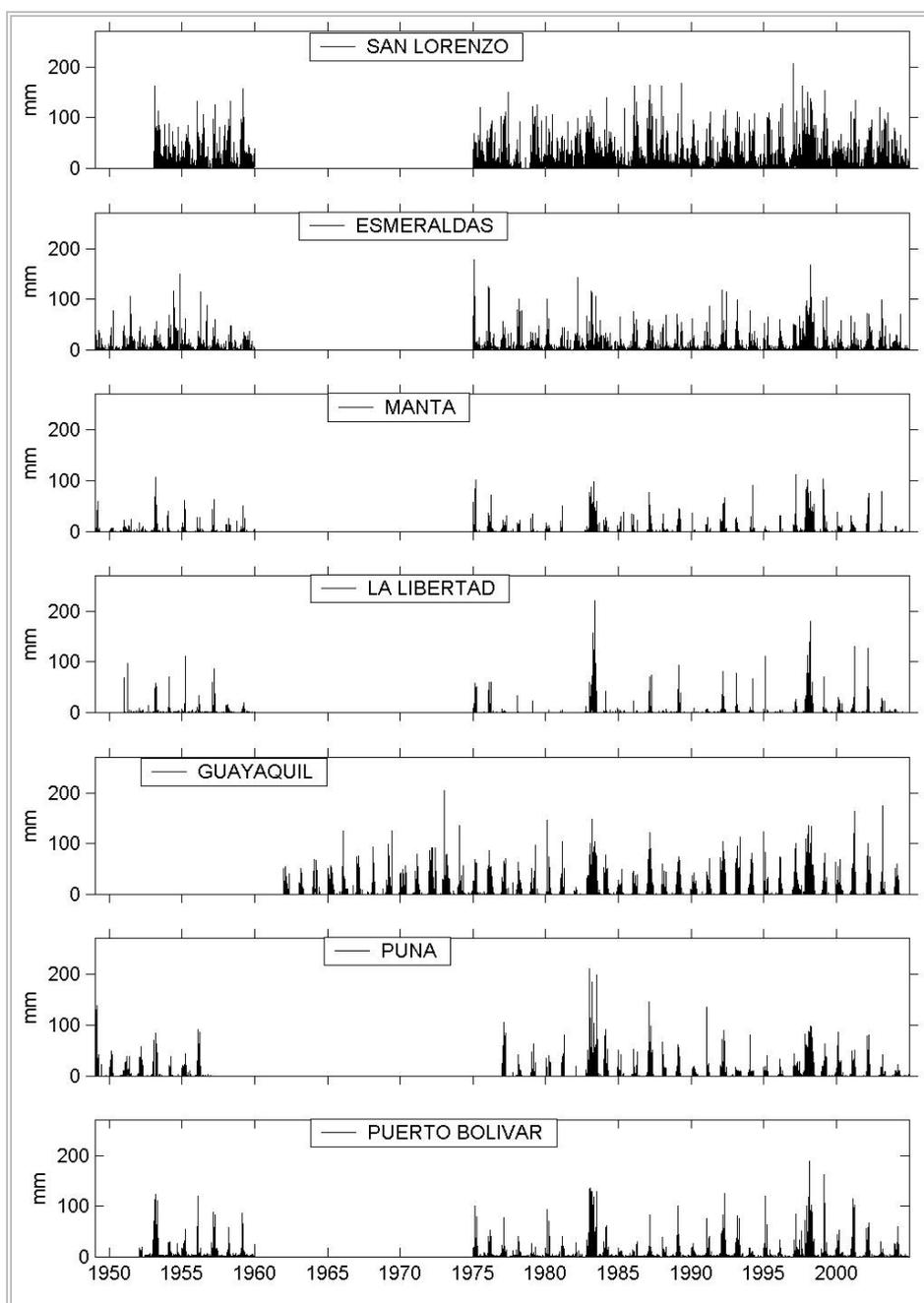


**Figura 4 Datos diarios temperatura máxima del aire en las estaciones de Estudio**  
**Fuente: Freddy Hernandez 2006**



**Figura 5 Datos diarios temperatura mínima del aire en las estaciones de estudio**

**Fuente: Freddy Hernandez 2006**



**Figura 6 Datos diarios precipitación en las estaciones de estudio**  
**Fuente: Freddy Hernandez 2006**

En la Tabla III se muestran las propiedades estadísticas de las series climáticas de  $T_a$ ,  $T_{max}$ ,  $T_{min}$  y Prec para cada localidad.

LOCALIDAD	SAN LORENZO	ESMERALDAS	MANTA	LA LIBERTAD	GUAYAQUIL	PUNA	PTO. BOLIVAR
<b>TEMPERATURA DEL AIRE</b>							
Promedio (°c)	26	25.8	24.8	23.6	25.9	25.1	24.8
Máximo (°c)	29.5	30.1	29.7	29.7	30.4	29.5	29.5
Mínimo (°c)	22.7	22.4	20.4	17.8	21	20.5	20
Rango (°c)	6.8	7.6	9.3	11.9	9.4	9	9.5
Desviación Estándar (°c)	0.9	0.9	1.6	2.3	1.6	1.7	1.8
<b>TEMPERATURA MAXIMA DEL AIRE</b>							
Promedio (°c)	30.2	29.3	28.7	25.8	30.6	29.6	27.3
Máximo (°c)	35	34.5	35.6	33.5	36.3	35.2	33.8
Mínimo (°c)	24.1	24.5	23	19.2	22.6	23	21.2
Rango (°c)	10.9	10	12.6	14.3	13.7	12.2	12.6
Desviación Estándar (°c)	1.5	1.3	1.9	2.7	2.1	2.2	2.4
<b>TEMPERATURA MINIMA DEL AIRE</b>							
Promedio (°c)	22	22.7	21.9	21.9	21.9	21.5	22.8
Máximo (°c)	25.8	26.2	26.5	27.9	27.1	25.7	27.4
Mínimo (°c)	16.7	18.2	17.4	15.8	16.8	16.8	18.4
Rango (°c)	9.1	8	9.1	12.1	10.3	8.9	9
Desviación Estándar (°c)	1.3	1.1	1.6	2.2	1.6	1.6	1.6
<b>PRECIPITACION</b>							
Promedio (mm)	7.4	2.4	0.9	0.9	2.8	1.9	1.8
Máximo (mm)	207.2	178	112.3	221	204.7	210	188.5
Mínimo (mm)	0	0	0	0	0	0	0
Rango (mm)	207.2	178	112.3	221	204.7	210	188.5
Desviación Estándar (mm)	15.8	8.7	5.6	6.5	10.5	8.9	8.7

**Tabla III Estadística básica de las series de tiempo**  
Fuente: Freddy Hernandez 2006

## **2.2 CLIMATOLOGIA**

### **2.2.1 Climatología de las series de tiempo**

La temperatura junto a las precipitaciones son los elementos más representativos de las características climáticas de una zona. La Organización Meteorológica Mundial (OMM) ha establecido en 30 años el periodo representativo de series climáticas, y define periodos internacionales 1901-1930, 1931-1960 y 1961-1990, en este caso por lo mostrado en el Mapa I, los datos no se ajustan a los periodos internacionales, pero se mantienen en el rango de cercanía de 30 años continuos de datos, así el periodo continuo mas corto es de 28 años para Pto. Bolívar y el periodo continuo mas largo lo tiene la estación Guayaquil 42 años. A fin de definir "condiciones mensuales normales" para las series Ta, Tmax, Tmin se usarán las medias mensuales y para Prec el promedio acumulado mensual, no se usa la misma definición que para Ta, Tmax y Tmin por que la media mensual en la Prec no es un buen indicador de condiciones de pluviosidad en una zona, así por ejemplo al leer en Tabla III el promedio de precipitación está entre 0.9 y 7.4 mm para La Libertad y San Lorenzo respectivamente estos valores hacen pueden llevar a una mala interpretación, y hacer pensar que la pluviosidad es poca o nada en esas zonas, pero la tabla muestra el promedio de la precipitaciones en cada estación como una medida de tendencia

central y no es un valor representativo de las precipitaciones en cada estación.

## **2.3 CLASIFICACIONES CLIMÁTICAS**

Se entiende por clima al estado medio de la atmósfera sobre un lugar determinado, así este estado medio está descrito por medias climáticas (valores esperados o medias) que pueden ser diarias, mensuales y/o anuales, estos valores son solo relativos y a la hora de describir el clima se debe tener en cuenta también la variabilidad que muestran las series sean de corta o gran escala que podrán ser descritas por la frecuencia y longitud de los datos. El clima es todo un conjunto de variables de entrada y salida, la radiación solar, temperatura y precipitación son los más representativos de las características climáticas de una zona e influye en la configuración del medio natural. Existen grupos de clasificaciones climáticas por ejemplo Diagramas Ombrotérmicos, Sistema de Koeppen, Sistema Thorthwaite, Sistema Walter. y están fundamentadas en las temperaturas, las precipitaciones, combinaciones de ambos factores, o la distribución de los seres vivos (bioclimáticas), en este trabajo usaremos los Diagramas ombrotérmicos a fin de encontrar zonas diferentes zonas climáticas.

### **2.3.1 Diagramas Ombrotérmicos**

Gausenn (citado por 8) establece que en Climatología, la distribución de temperatura y la precipitación durante el año en curso tiene

mayor importancia que su media anual toma en consideración los periodos que son favorables o desfavorables para la vegetación como: periodo húmedo, seco, calido y frío. Se considera un mes ecológicamente seco, cuando la precipitación total mensual, expresada en milímetros, es igual o inferior, a dos veces del valor de la temperatura promedio mensual expresado en grados Celsius, es decir  $P \leq 2T$ , de acuerdo a esta definición dada por Gausson, el diagrama Ombrotérmico es un grafico en el cual se marca:

En la abscisa: meses del año, en la ordenada, a la derecha la escala de precipitación en mm, a la izquierda la temperatura en grados Celsius, a escala doble de la precipitación, durante los meses secos la curva de temperatura se encuentra sobre la curva de precipitación.

## **2.4 VARIACIONES ESPACIALES Y TEMPORALES DE LAS SERIES DE TIEMPO**

El análisis de componentes principales (PCA) o funciones empíricas ortogonales es una herramienta de análisis multivariado que nos proporciona de manera compacta la variabilidad espacial y temporal común en las series de datos en términos de componentes principales o funciones ortogonales o modos estadísticos, la mayor parte de la varianza de las series está distribuida en los primeros modos o funciones. La aplicación de las PCA, se la realizó mediante una función EOF (Empirical Orthogonal function), escrita por Martijn Hooimeijer (1998), corrida en MATLAB 6.5 de

la compañía Mathworks, el texto de la función EOF se muestra en el Anexo I.

A fin de describir los modos empíricos de variabilidad estacional mediante el uso de PCA se usó las series de datos mensuales en el periodo 1977-2004 de cada variable por separado, el resultado de este cálculo se muestra en la Tabla VI y para calcular los modos empíricos de variabilidad interanual de cada serie de datos se remueve la variabilidad anual y semianual a partir de las condiciones normales mensuales de cada parámetro, los resultados se muestran en la Tabla VII.

#### **2.4.1 Modos empíricos de variabilidad estacional**

El primer modo para cada corrida de PCA explicada en la Tabla VI, para  $T_a$  representa el 93.3 % de la varianza, para  $T_{max}$  el 85%, para  $T_{min}$  81.8% y para  $Prec$  el 71.6 %, analizando la modulación en el tiempo de los valores característicos, (gráficos no mostrados en este estudio) esta modulación muestra de manera clara la presencia clara de un ciclo anual e interanual que sucede al mismo tiempo, lo que en otras palabras sería el ciclo anual influenciado por variaciones interanuales como El Niño La Niña.

Las ponderaciones que cada estación le hace al respectivo modo es mostrada en las últimas 4 columnas de la Tabla IV, vemos "bajas" ponderaciones al modo 1 para las estaciones ubicadas al norte de la costa ecuatoriana, tanto que para explicar una varianza significativa

de esas estaciones se deberá tomar los tres modos cosa que no ocurre que las demás estaciones.

#### **2.4.2 Modos empíricos de variabilidad interanual**

Ya removida la variación anual se encuentran modos empíricos de variabilidad interanual, Tabla VII, el modo 1 para Ta aporta con el 85.3% de la varianza, para Tmax 67%, Tmin 67.1 y Prec 71.6, que analizando la modulación en el tiempo de los valores característicos, (gráficos no mostrados en este estudio), las variaciones temporales son atribuibles a variabilidad interanual El Niño-La Niña. Las ponderancias de cada estación a su respectivo modo sigue la particularidad mostrada por los modos empíricos de variabilidad estacional, o sea menores ponderancias en estaciones ubicadas al norte de la costa ecuatoriana, pero esta diferencia es menor Tabla V.

VARIABLE	MODO	VALOR CARCTERISTICO	% VARRIANZA EXPLICADA	VARIANZA ACUMULADA	SAN LORENZO	ESMERALDAS	MANTA	LA LIBERTAD	GUAYAQUIL	PUNA	PTO. BOLIVAR
<b>Ta</b>	1	14.0	93.2	93.2	61.5	45.6	94.1	96.3	92.3	94.8	97.7
	2	0.4	2.8	96.0	24.3	40.7	1.9	0.1	2.8	2.0	0.2
	3	0.3	2.0	97.9	3.1	7.2	0.1	3.5	2.2	1.7	0.1
<b>Tmax</b>	1	15.2	85.0	85.0	58.3	21.5	77.4	94.0	76.7	87.6	91.1
	2	1.0	5.5	90.5	24.2	58.2	13.2	0.0	0.4	3.1	2.0
	3	0.7	3.9	94.3	0.1	1.4	1.4	4.4	14.9	6.0	0.1
<b>Tmin</b>	1	11.7	81.8	81.8	19.1	30.0	87.4	95.3	94.0	92.7	92.2
	2	1.4	9.9	91.6	74.7	32.0	0.0	0.8	1.8	0.4	0.2
	3	0.4	3.0	94.6	4.5	34.8	2.0	0.3	0.1	0.5	0.0
<b>Prec</b>	1	74503.0	71.6	71.6	42.4	63.8	77.0	64.6	91.5	85.3	84.2
	2	19219.0	18.5	90.1	56.7	3.9	6.0	12.9	3.1	4.6	6.1
	3	3433.8	3.3	93.4	0.7	14.2	1.8	14.3	0.4	2.1	0.9

**Tabla IV Modos empíricos estacionales, en las cuatro últimas columnas se indica la ponderancia de cada estación al modo respectivo**

**Fuente: Freddy Hernandez 2006**

VARIABLE	MODO	VALOR CARCTERISTICO	% VARRIANZA EXPLICADA	VARIANZA ACUMULADA	SAN LORENZO	ESMERALDAS	MANTA	LA LIBERTAD	GUAYAQUIL	PUNA	PTO. BOLIVAR
<b>Ta</b>	1	4.2	85.3	85.3	70.4	63.2	89.0	89.8	80.1	82.8	91.9
	2	0.3	5.5	90.8	4.3	8.1	0.9	5.3	11.2	11.9	2.0
	3	0.2	3.5	94.3	9.4	19.3	1.9	4.4	0.2	0.1	0.6
<b>Tmax</b>	1	4.4	67.0	67.0	60.5	40.0	68.4	79.1	57.4	61.0	73.0
	2	0.8	11.9	78.9	15.6	30.9	15.9	0.5	0.4	8.5	18.9
	3	0.5	8.2	87.2	0.3	1.7	2.4	15.5	21.8	16.6	0.3
<b>Tmin</b>	1	4.5	67.1	67.1	43.5	32.9	74.2	84.9	79.1	79.2	79.1
	2	1.1	16.2	83.4	50.0	25.3	1.5	5.1	8.5	5.8	3.5
	3	0.4	6.2	89.5	5.4	38.3	3.5	1.2	0.3	0.7	0.0
<b>Prec</b>	1	48630.0	66.7	66.7	24.8	44.6	77.0	70.5	89.7	84.1	85.0
	2	14870.0	20.4	87.1	74.0	9.1	3.6	8.7	2.3	1.9	3.5
	3	2808.6	3.9	90.9	1.1	27.7	1.4	7.9	0.0	3.0	0.2

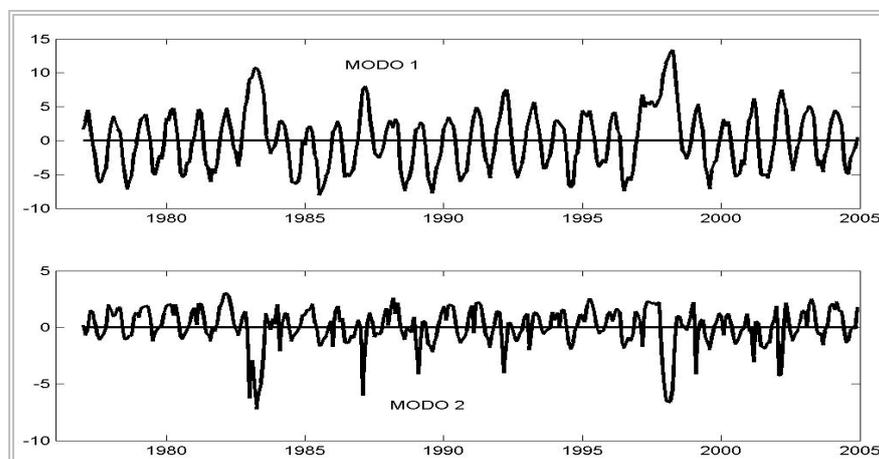
**Tabla V Modos empíricos de la variabilidad interanual, en las cuatro últimas columnas se indica la ponderancia de cada estación al modo respectivo**

**Fuente: Freddy Hernandez 2006**

## 2.5 AÑOS “ANÓMALOS” COMO AFECTA A LA CLIMATOLOGÍA

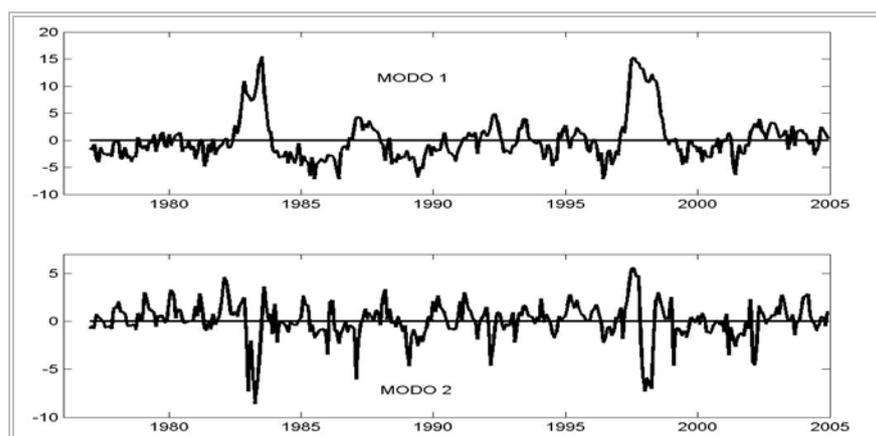
La migración de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), los cambios estacionales de los patrones de corrientes oceánicas como la del Niño o Humboldt, el aumento o disminución en los patrones de viento alisios sean del norte o del sur, provocan variaciones típicas en los parámetros climáticos que no son otra cosa que las variaciones estacionales, de 3-6 meses, pero ¿qué pasa cuando estos cambios no se dan en la escala estacional esperada? Se producen cambios o anomalías en los patrones de precipitaciones, temperaturas, nivel medio del mar, oleaje, etc. Definiendo estos cambios como anomalías atribuibles a variaciones interanuales, Eventos El Niño-La Niña, al momento se conoce que la frecuencia de ocurrencia de estos Eventos es de 3-6 años, pero los impactos que pueden dejar son difíciles de ser pronosticados, ya que no depende de la intensidad de los cambios en los patrones si no de la preparación o educación de cada localidad o País ante este tipo de Eventos. A fin de mostrar la alteración a los ciclos anuales de todas las variables “28 en total” a la vez, se realizó una nueva corrida de PCA, en el periodo 1977-2004 con datos mensuales normalizados y se obtuvo los modos empíricos estacionales, el modo 1 explica el 66 % de la varianza, con el aporte del modo 2 se obtiene el 77.4 % de la varianza acumulada, observando la modulación en el tiempo de los dos modos Figura 7, nos damos cuenta que el ciclo anual es alterado en años denominados Niño, esta alteración no es igual ni en tiempo ni en magnitud, se debe a los diferentes tipo de Eventos El Niño como por

ejemplo las mayores anomalías al ciclo anual se tiene con los dos extremos fuertes que han sido al 1982 y 1997.



**Figura 7 Modos empíricos estacionales, modo 1 explica 66.9% de la varianza y el modo 2 el 10.4 % del total de la varianza.  
Fuente: Freddy Hernandez 2006**

Los modos empíricos interanuales fueron calculados removiendo la variación anual lo que en otras palabras sería que se trabajó con las anomalías mensuales de todas las variables, en la Figura 8 se muestra los dos modos que explican una varianza de 70.51%.



**Figura 8 Modos empíricos interanuales, modo 1 explica 57.0 de la varianza y el modo 2 13.9 % de la varianza.  
Fuente: Freddy Hernandez 2006**

Por lo visto de los PCA aplicado a todas las variables nos damos cuenta que todas las variables presentan variaciones estacionales e interanuales, la alteración de la climatología pareciera que no se debe tomar como alteración si no mas bien como una variabilidad "periódica" presente en todas las variables, claro los rangos en cada variable cambian y sus intensidades también, pero no dejan de explicarse como variaciones climatológicas presentes en la costa ecuatoriana.

## Capítulo III

### 3.1 HOMOGENIZACIÓN DE SERIES DE TIEMPO

La homogeneidad de las series climáticas es factor determinante al momento de interpretar cambios climáticos, el tiempo donde ocurre alguna inhomogeneidad se los denomina "puntos de cambio", éstos pueden ser documentados (debido a cambios en la forma de recolectar los datos, cambios de sensores en estaciones meteorológicas, reubicación, etc.) y los puntos de cambio sin documentar (PCSD), que en algunos casos pueden ser atribuibles a cambios climáticos. Una técnica y aplicada por (21) (22) (23) es revisada a fin de encontrar inhomogeneidades en las series y consiste en la aplicación del modelo de regresión de dos fases el cual puede ser escrito por:

$$X_t = \begin{cases} \mu_1 + \alpha_1 t + \epsilon_t, & 1 \leq t \leq c \\ \mu_2 + \alpha_2 t + \epsilon_t, & c < t \leq n, \end{cases} \quad (1)$$

Donde  $\epsilon_t$  es el error aleatorio independiente con media cero y varianza constante, esto permite para ambos pasos ( $\mu_1 \neq \mu_2$ ) y la tendencia ( $\alpha_1 \neq \alpha_2$ ) ser puntos de cambios, el tiempo **C** es llamado punto de cambio en **(1)** si  $\mu_1 \neq \mu_2$  y/o ( $\alpha_1 \neq \alpha_2$ ). El estadístico **F** para un punto de cambio en el tiempo  $C \in \{2, \dots, n-1\}$  es

$$F_c = \frac{(SSE_{\text{Red}} - SSE_{\text{Full}})/2}{SSE_{\text{Full}}/(n - 4)}, \quad (2)$$

Donde  $SSE_{\text{FULL}}$  es el "modelo completo" suma de los errores cuadráticos

$$\begin{aligned} \text{SSE}_{\text{Full}} = & \sum_{t=1}^c (X_t - \hat{\mu}_1 - \hat{\alpha}_1 t)^2 \\ & + \sum_{t=c+1}^n (X_t - \hat{\mu}_2 - \hat{\alpha}_2 t)^2 \end{aligned} \quad (3)$$

Y  $\text{SSE}_{\text{Red}}$  es el "modelo reducido" suma de los errores cuadráticos

$$\text{SSE}_{\text{Red}} = \sum_{t=1}^n (X_t - \hat{\mu}_{\text{Red}} - \hat{\alpha}_{\text{Red}} t)^2, \quad (4)$$

Donde  $\hat{\mu}_{\text{red}}$  y  $\hat{\alpha}_{\text{Red}}$  son estimados bajo la asunción  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_{\text{red}}$  y  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_{\text{red}}$ . Con la hipótesis nula de no existencia de puntos de cambios la hipótesis alternativa de existencia de puntos de cambios. Bajo la hipótesis nula los parámetros de regresión en el modelo de dos fases deben ser  $\mu_1 = \mu_2$ ,  $\alpha_1 = \alpha_2$  la diferencia de los parámetros será cercana a cero para cada  $c \in \{1, \dots, n\}$ .

### 3.1.1 Aplicación de rutina RHTest

La función RHTest es una aplicación en el Programa R (24). R es un programa hecho para cálculos estadísticos. <http://www.R-project.org>, la función es un paquete computacional diseñado para detectar puntos de cambios en series de tiempo, está basada en el modelo de regresión de dos fases (22), RHTest puede encontrar puntos de cambio referidos a una serie normal o no, en este caso debido a que en todas las series se encontraron variaciones

interanuales se aplicó la función RHtest sin hacer referencia a una serie normal, los datos de entrada deben de estar arreglados en 14 columnas, en la primera los años de observación en las columnas 2-13 datos mensuales y en la última el dato anual y para ser usados deben estar guardados como \*.txt o csv. Se aplica esta función a Tmax, Tmin y Prec de cada estación en total 21 veces se corrió la función, detalles de la aplicación de RHTEST en (25)

```

R Console

R : Copyright 2004, The R Foundation for Statistical Computing
Version 1.9.0 (2004-04-12), ISBN 3-900051-00-3

R is free software and comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY.
You are welcome to redistribute it under certain conditions.
Type 'license()' or 'licence()' for distribution details.

R is a collaborative project with many contributors.
Type 'contributors()' for more information and
'citation()' on how to cite R in publications.

Type 'demo()' for some demos, 'help()' for on-line help, or
'help.start()' for a HTML browser interface to help.
Type 'q()' to quit R.

> source("C:/Archivos de programa/R/rw1090/RHTEST.R") 1.-
> FindSteps(baseseries="Prec01", output="Outpreci01", minseg=5) 2.-

```

**Figura 9 Consola de R 1.-Carga RhTest.r 2.- Aplicación de función FindSteps a los datos de Prec San Lorenzo Fuente: Freddy Hernandez 2006**

Como lo muestra la Figura 9 primero se carga la función RHtest, luego se procede al uso de FindSteps, ésta encuentra el tiempo en el que ocurre un punto de cambio o inhomogeniedad a las series de datos mensuales y anuales, nótese en la aplicación mostrada en la figura se define un parámetro minseg =5 minseg es la mínima longitud en la cual se busca un punto de cambio, se tomó 5 (años) por que es el periodo promedio de las variaciones interanuales, por cada corrida que se ejecuta como resultado salen tres archivos, uno

en pdf, otro ips y el tercero STAT, el pdf son los gráficos de los datos mensuales y anuales así como las inhomogeneidades o puntos de cambio encontradas, un segundo archivo tipo ips, se tabulan los meses-años donde existe el punto de cambio y en el archivo STAT está el reporte de la aplicación del modelo de regresión de dos fases, a fin de decidir si los puntos de cambios encontrados son estadísticamente significativos o no, en los casos que se encontró puntos de cambio se procede a ponderar si el punto de cambio es significativo o no, no son estadísticamente significativos si no existe una causa documentada por que  $F_{max} \text{ value} < F_{n90}$ , sin embargo el mismo punto se considera estadísticamente significativo si existiera una causa documentada que explique el punto de cambio, en este caso la única fuente de verificación de los puntos de cambios es la metadata entregada por el INOCAR y presentada en la Tabla I, los resultados de los puntos de cambio se presentan en el numeral 3.3: "Cambios climáticos que ha experimentado el Litoral ecuatoriano", puesto que los puntos de cambio sin causa documentada pueden relacionarse con cambios climáticos, aplicar la función  $RH_{test}$  no es asunto complejo lo complejo es explicar los puntos de cambio de las series.

### **3.2 Índices de clima**

Uno de los principales objetivos de construir índices de extremos climáticos es para usarlos como medida de monitoreo y detección de cambios climáticos, 21 índices de temperatura y precipitación extremas fueron

seleccionados para trabajar en esta tesis de la lista de índices del Equipo de Expertos de CCI/CLIVAR para "Climate Change Detection Monitoring and Índices" (ETCCDMI) Grupo de Trabajo de detección de cambios climáticos de la Comisión para Climatología de la Organización Meteorológica Mundial y del Programa de Variabilidad y Predictibilidad Climática (21), esta lista la efectuaron con el fin de que en todos los estudios de variabilidad climática usen un lenguaje en común y poder hacer fácil la comparación de resultados, de los índices seleccionados 11 son de temperatura y 10 de precipitación y son mensuales o anuales.

### **3.2.1 Definición de índices de clima**

Los índices seleccionados y su definición se muestran en la Tabla VI, se conserva la nomenclatura de sus nombres en inglés para emitir los resultados, los índices no son otra cosa que cuantificar si los parámetros como temperatura o precipitación pasan o no ciertos límites, o percentiles, los índices de temperatura describen extremos de condiciones calidas o frías, otros como los índices de precipitación basados en percentiles R95p y R99p describen la fracción de la lluvia anual debido a los días con mas precipitación. Se evalúa las tendencias de cada uno de los índices, primero se aplica el modelos de regresión lineal simple ajustado por el método de los mínimos cuadrados, (22) y mediante una prueba de hipótesis tomando como  $H_0$ : "La pendiente del modelo de regresión =0"  $H_A$ : "la pendiente del

modelo de regresión es diferente de 0", las pendientes serán consideradas significativas al 95% o 90% de confianza.

---



---

### INDICES EXTREMOS

---

#### Índices de temperatura

<b>tx10p</b>	Días fríos, porcentaje de días cuando TX < percentil 10 (días)
<b>tx90p</b>	(Días calientes) Porcentaje de días cuando TX > percentil 90 (días)
<b>tn10p</b>	Noches frías, Porcentaje de días cuando TN < percentil 10 (días)
<b>tn90p</b>	Noches calientes, Porcentaje de días cuando TN > percentil 90 (días)
<b>wsgi</b>	Indicador de la duración de periodos calientes, Contaje anual de días con por lo menos 6 días consecutivos en que TX > 90th percentil (días)
<b>csdi</b>	Indicador de la duración de periodos fríos, Contaje anual de días con por lo menos 6 días consecutivos en que TN < 10th percentil (días)
<b>TXx</b>	Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria (°c)
<b>TNx</b>	Valor mensual máximo de temperatura mínima diaria (°c)
<b>TXn</b>	Valor mensual mínimo de temperatura máxima diaria (°c)
<b>TNn</b>	Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria (°c)
<b>DTR</b>	Diferencia media mensual entre TX y TN (°c)

#### Índices de precipitación

<b>RX1day</b>	Máximo mensual de precipitación en 1 día (mm)
<b>Rx5day</b>	Máximo mensual de precipitación en 5 días consecutivos (mm)
<b>SDII</b>	Precipitación anual total dividida para el número de días húmedos (mm /día) (definidos por PRCP >= 1.0mm) en un año (mm /día)
<b>R10</b>	Número de días en un año en que PRCP >= 10mm (días)
<b>R20</b>	Número de días en un año en que PRCP >= 20mm (días)
<b>CDD</b>	Número máximo de días consecutivos con RR < 1mm (días)
<b>CWD</b>	Número máximo de días consecutivos con RR >= 1mm (días)
<b>R95p</b>	Precipitación anual total en que RR > 95 percentil (días)
<b>R99p</b>	Precipitación anual total en que RR > 99 percentil (días)
<b>PRCPTOT</b>	Precipitación anual total en los días húmedos (RR >= 1mm) (mm)

---



---

**Tabla VI Definición de índices extremos de temperaturas y precipitación, se mantiene la nomenclatura internacional**  
Fuente Manual de Usuario Rclimex

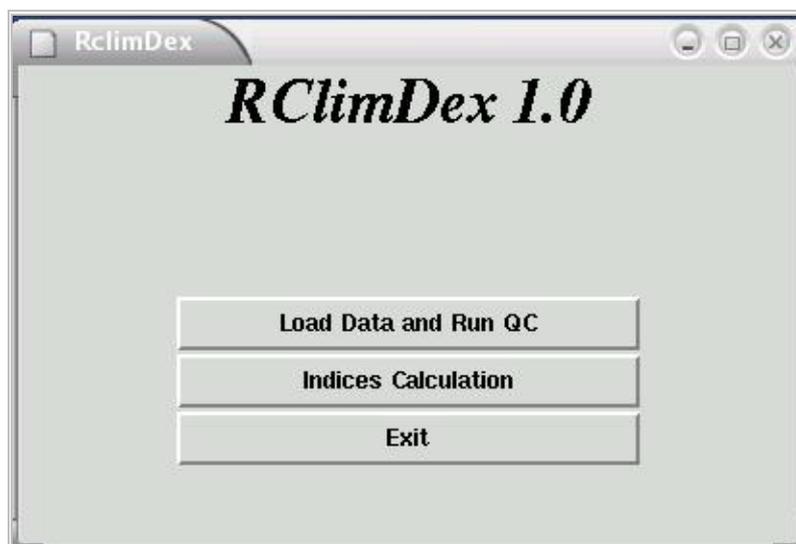
### 3.2.2 Descripción de la rutina RClmDex (1.0)

Este numeral presenta un resumen del RClmDex Manual de usuario (26) versión en español traducida por el Dr. José Luis Santos. Rclimdex es un programa desarrollado y mantenido por Xuebin Zhang y Feng Yang del Departamento de Investigación Climática del Servicio Meteorológico de Canadá. RClmDex (1.0) está diseñado para proporcionar una interfase amigable para calcular índices de extremos climáticos. Calcula todos los 27 índices básicos recomendados por el Equipo de Expertos de CCI/CLIVAR para "Climate Change Detection Monitoring and Índices" (ETCCDMI). (21) Rclimdex 1.0 para Windows se lo obtiene del sitio web <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/> (Junio 2005) y se debe bajar la función rclimdex.r, y guardarla en el directorio del programa R preferentemente, o solo se puede setear el path correctamente en donde se encuentre la función rclimdex.r.

El formato de los datos de entrada es:

- 1.- Archivos de texto ASCCI, delimitados por espacios
- 2.- Columnas en las siguientes secuencias: año, mes, día, Prec, Tmax, Tmin, las unidades de Prec en mm, Tmax, y Tmin en grados Celsius.
- 3.- Los registros de datos deben estar en orden cronológico, se permiten fechas faltantes, y datos faltantes codificados como -99.9.

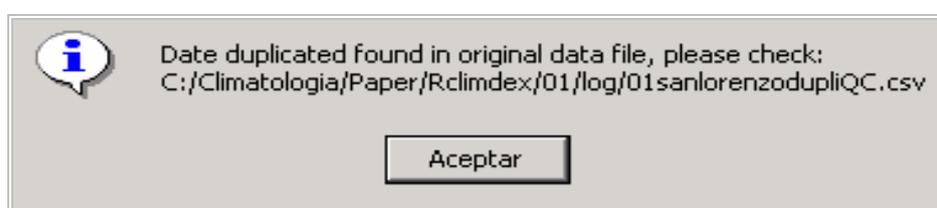
Una vez con los archivos listos procedemos estación por estación, al cálculo de los índices, cargada la función rclimdex en programa R para Windows, como ventana número uno se tiene la Figura 10



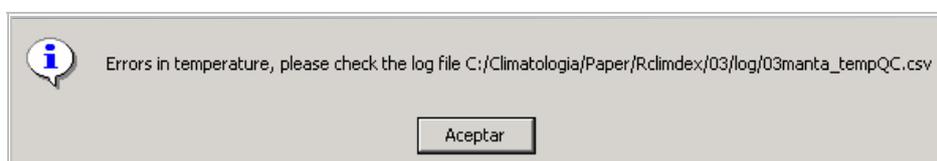
**Figura 10 Menú Principal del Rclimdex**  
Fuente Manual de Usuario Rclimdex

Luego se selecciona cargar datos y corra el control de calidad (Load Data and Run QC), en el control de calidad entre otras cosas se puede ver errores como  $Prec < 0$ ,  $Tmin > Tmax$ , cambia el formato de los datos faltantes a un formato interno que reconoce R, ejemplo de los errores encontrados en las series al correr el control de calidad se observan en ventanas de error mostradas en las Figuras 11 y 12, en San Lorenzo se encontraron datos duplicados y datos  $Tmax < Tmin$  se encontraron en Manta, se efectuaron correcciones a los archivos o eliminaron si no se encontró la fuente de error, se vuelven a cargar y correr el control de calidad, una vez concluido el control de calidad se crean 4 archivos en formato Excel con los nombres esmeraldas\_nastatistic (muestra mensualmente cuantos datos faltan en cada serie) esmeraldas\_prcpQC

(muestra las fechas en las cuales hay datos erróneos de precipitación), esmeraldas\_tempQC (muestra las fechas en las que hay datos erróneos de temperaturas,) y esmeraldas\_tepstdQC (muestra los datos que están fuera del límite introducido por el usuario: n desviación estándar), además en formatos PDF se muestran los gráficos de series de tiempo y un archivo final esmeraldasindcal que es el archivo mediante el cual se calcularán los índices de clima.



**Figura 11 Ventana de error al aplicar control de calidad con Rclimdex, en los datos de San Lorenzo**  
**Fuente: Freddy Hernandez 2006**

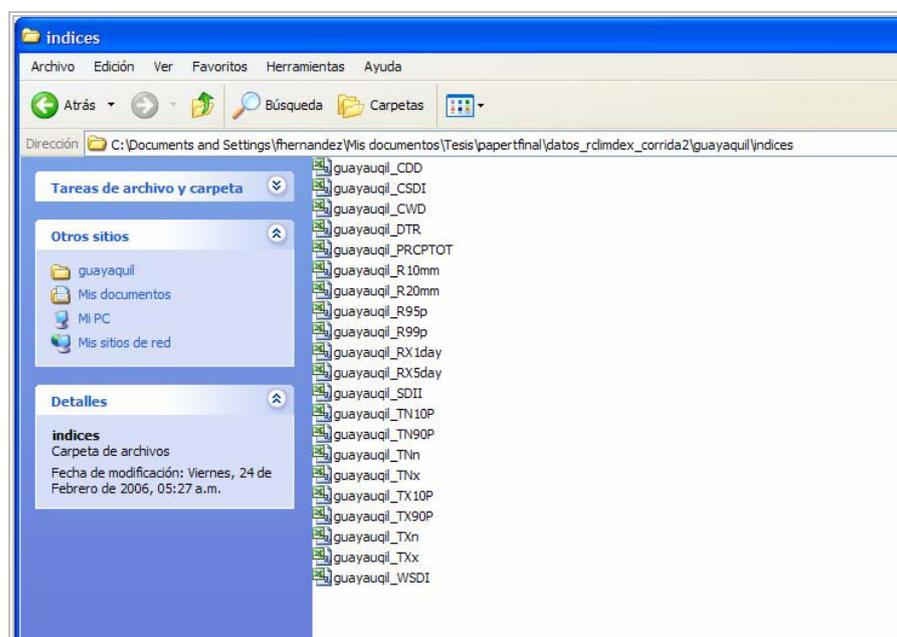


**Figura 12 Ventana de error al aplicar control de calidad con Rclimdex, para datos de Manta**  
**Fuente: Freddy Hernandez 2006**

Continuamos luego con la opción “Índices Calculation” del menú principal, donde se ingresan parámetros para el cálculo de los índices en la ventana “Set Parameter Values” permite introducir el primer y último año del periodo base para el cálculo de los umbrales, la latitud de la estación (Hemisferio Sur es negativa) para determinar en que hemisferio está localizada la estación, además 4 umbrales definidos por

el usuario para el cálculo de índices (SUMm, FDmm, TRmm, IDmm Rnn) no fueron tomados en cuenta en esa tesis por las diferencias de rangos de precipitación y temperaturas entre las estaciones al norte de la costa ecuatoriana y no se podrán efectuar comparaciones entre los mismos.

Los índices son calculados, los resultados se muestran en archivos individuales Excel, como los muestra la ventana de ejemplo en la Figura 13, así como otro archivo que muestra las tendencias de cada índice así como su ponderación mediante su "valor-p",  $\text{valor-p} < 0.05$  tendencia significativa al 95% de confianza y  $\text{valor-p} < 0.1$  tendencia significativa al 90% de confianza, los resultados de los índices de cada estación se muestran en el Capítulo IV, Resultados.



**Figura 13 Archivos individuales de los índices climáticos para la estación Guayaquil**  
**Fuente: Freddy Hernandez 2006**

### 3.3 Cambios Climáticos que ha experimentado el litoral ecuatoriano

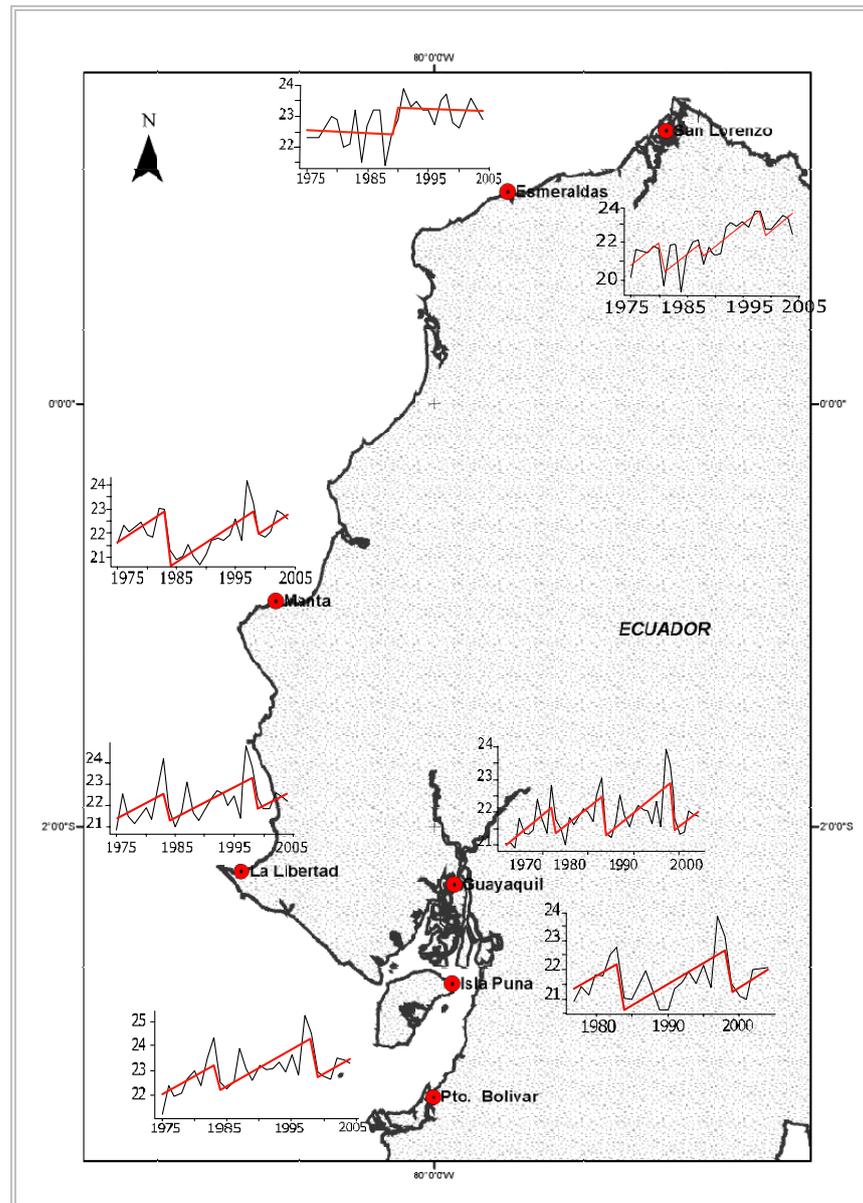
Usando el periodo continuo mas largo en cada estación se aplicó la función RHTEST, a las series de datos mensuales y anuales, los puntos de cambio significativos de las series mensuales no coincidieron con las fechas de reubicación de las estaciones Tabla I, no teniendo mas información en la metadata entregada por el INOCAR, cambios de equipos, cambio de metodología de observación, etc., con la que se pueda explicar documentar los puntos de cambio, quedan estos puntos de cambio como significativos pero sin causa documentada. Entre todas las estaciones para Tmax se encontraron 40 puntos de cambios significativos, para Tmin 23 puntos de cambios significativos y para Prec 8 puntos de cambio significativos, con una mayor cantidad de números de puntos de cambio no significativos y debido a la gran cantidad de puntos de cambios significativos o no en las series no se muestran los resultados de la aplicación del RHtest a las series mensuales.

Los resultados de los puntos de cambio de las series anuales se muestran en la Tabla VII. Los marcados en rojo son estadísticamente significativos al 90% (valor  $F_{max} < F_{n90}$ ), conclusión dada por los archivos de salida del RHTEST 90%, las causas de las inhomogeneidades pueden ser atribuibles a variaciones interanuales El Niño-a. En la Figura 14 se observa puntos de cambios en las series de temperatura mínima, éstos puntos de cambios son tanto en la tendencia como en su media. Los puntos de cambio observados significativos o no hacen alterar el resultado real de la tendencia en las

variables, y nos da una visión "falsa" a la hora de usar la tendencia como estimador de clima.

	<b>San Lorenzo</b>	<b>Esmeraldas</b>	<b>Manta</b>	<b>La Libertad</b>	<b>Guayaquil</b>	<b>Puna</b>	<b>Pto. Bolivar</b>
Tmax	1983 1998	1980	1983 1998	1996	1970 1983 1998	1984 1998	1983 1998
Tmin	1980 1987 1988	1989	1983 1998	1983 1998	1972 1983 1998	1983 1998	1983 1998
Prec	1984 1999	1981 1996	1982 1996	1982 1996	1967 1976 1982 1991	1982 1996	1982 1991 1997

**Tabla VII Puntos de cambio de las series anuales de Tmax, Tmin y Prec, números en rojo puntos de cambios estadísticamente significativas, ND no detectado**  
**Fuente: Freddy Hernandez 2006**



**Figura 14** Puntos de cambio en series anuales de  
**Temperatura mínima del aire**  
**Fuente: Freddy Hernandez 2006**

## **Capítulo IV**

### **RESULTADOS**

Para describir condiciones mensuales normales se usó el periodo 1975-2004 para San Lorenzo, Esmeraldas, Manta, La Libertad y Pto. Bolívar, 1962-2004 para Guayaquil y 1977-2004 para Puná, promedios mensuales para las temperaturas y acumulados mensuales para precipitación.

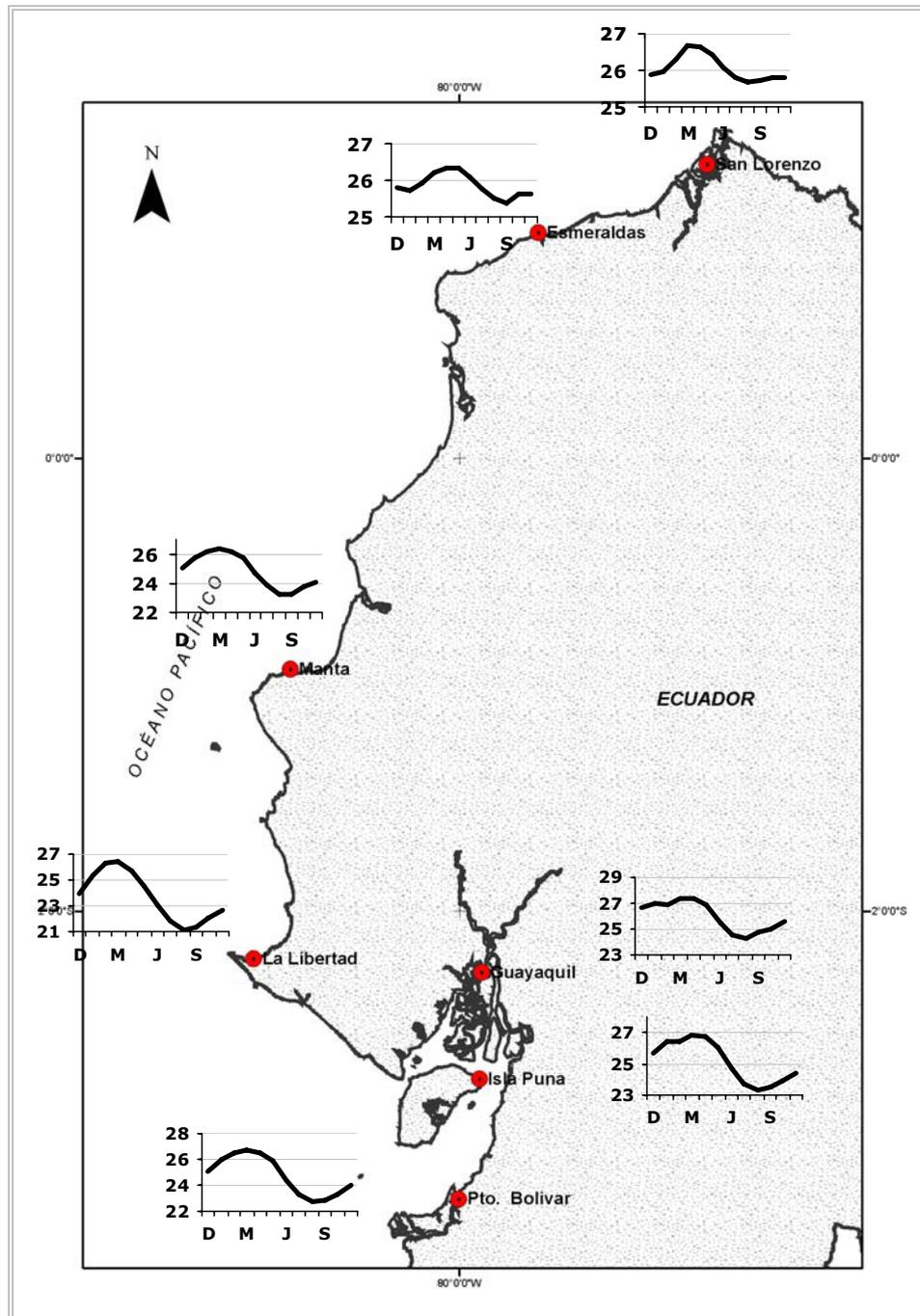
#### **4.1 Distribución de temperaturas del aire**

En todas las estaciones se evidencia la presencia del ciclo anual para  $T_a$ , definidos por las estaciones climáticas, mayores valores de temperatura en estación húmeda y menores valores en estación seca, existiendo diferencia en los rangos, para las estaciones al norte (San Lorenzo y Esmeraldas) del Ecuador el rango anual bordea  $1^{\circ}\text{C}$  y en las demás estaciones el rango se amplía y va desde  $3.1^{\circ}\text{C}$  a  $5.2^{\circ}\text{C}$  en Manta y La Libertad respectivamente, Figura 15.

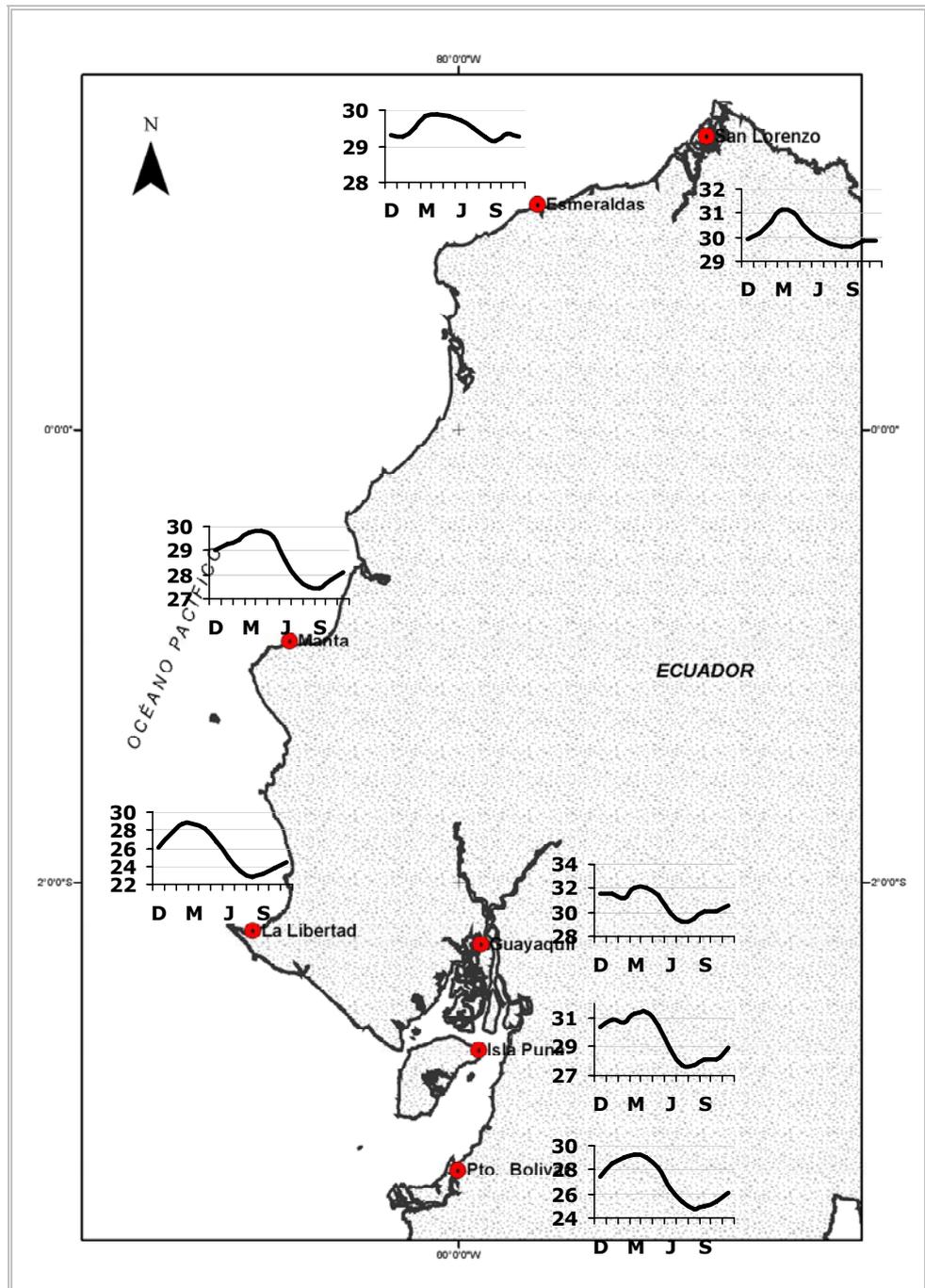
$T_{\text{max}}$ , Figura 16, el ciclo anual es más evidente en las estaciones de la costa central y al sur del Ecuador que las del norte San Lorenzo y Esmeraldas, rangos menores de mantienen en la parte norte, así el rango anual en San Lorenzo y Esmeraldas es de  $1.6^{\circ}\text{C}$  y  $0.7^{\circ}\text{C}$

respectivamente, Manta presenta un rango anual de 2.4° C Guayaquil 2.9° C Puna 3.7° C, Pto. Bolívar 4.5° C y el máximo en La Libertad 6.0 °C.

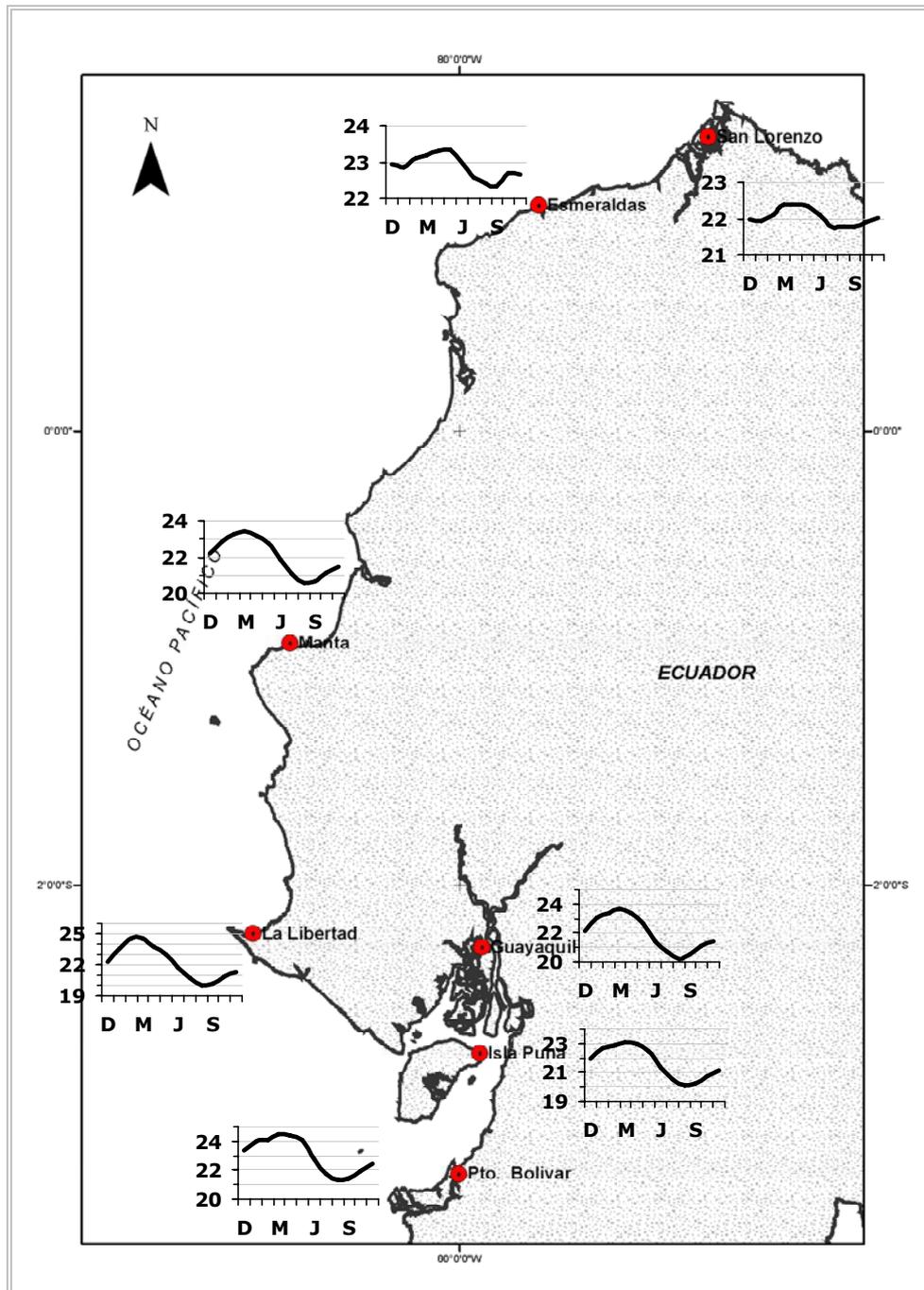
Tmin Figura 17, esta variable sigue presentando ciclos anuales con mejores definición en las estaciones de la costa central y sur de la costa ecuatoriana, manteniéndose las variaciones de rangos encontradas en Ta y Tmax, se observan mayores rangos en las estaciones Manta, La Libertad, Guayaquil, Puna y Pto. Bolívar, que están entre 2.8° C y 4.6° C, no así para las estaciones al norte San Lorenzo y Esmeraldas que presentan rangos entre 0.6° C y 1° C.



**Figura 15 Condiciones mensuales normales de Ta (°C)**  
**Fuente: Freddy Hernandez 2006**

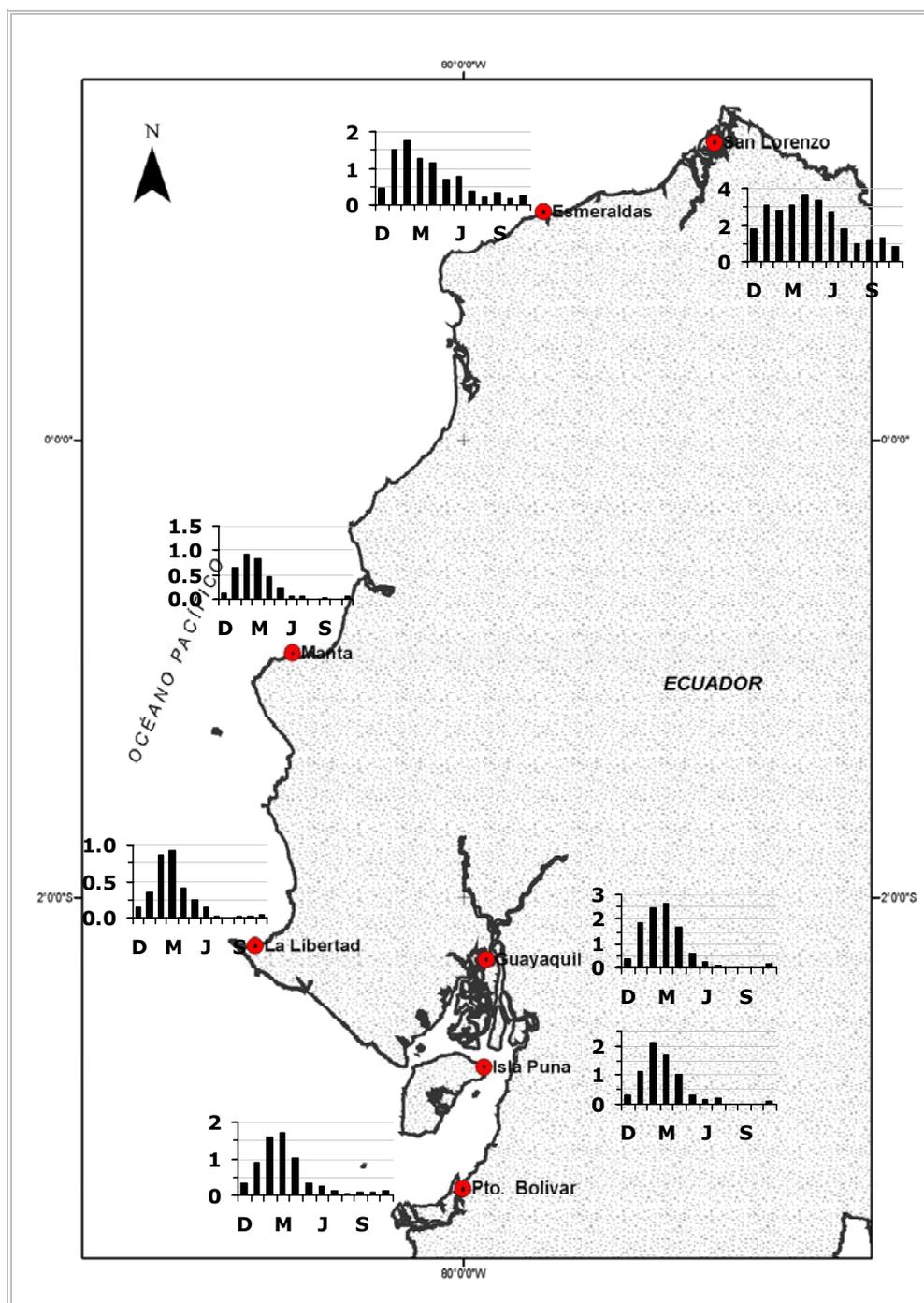


**Figura 16 Condiciones mensuales normales de Tmax (°C)**  
**Fuente: Freddy Hernandez 2006**



**Figura 17 Condiciones mensuales normales de Tmin (°C)**  
**Fuente: Freddy Hernandez 2006**

## 4.2 Distribución de las precipitaciones



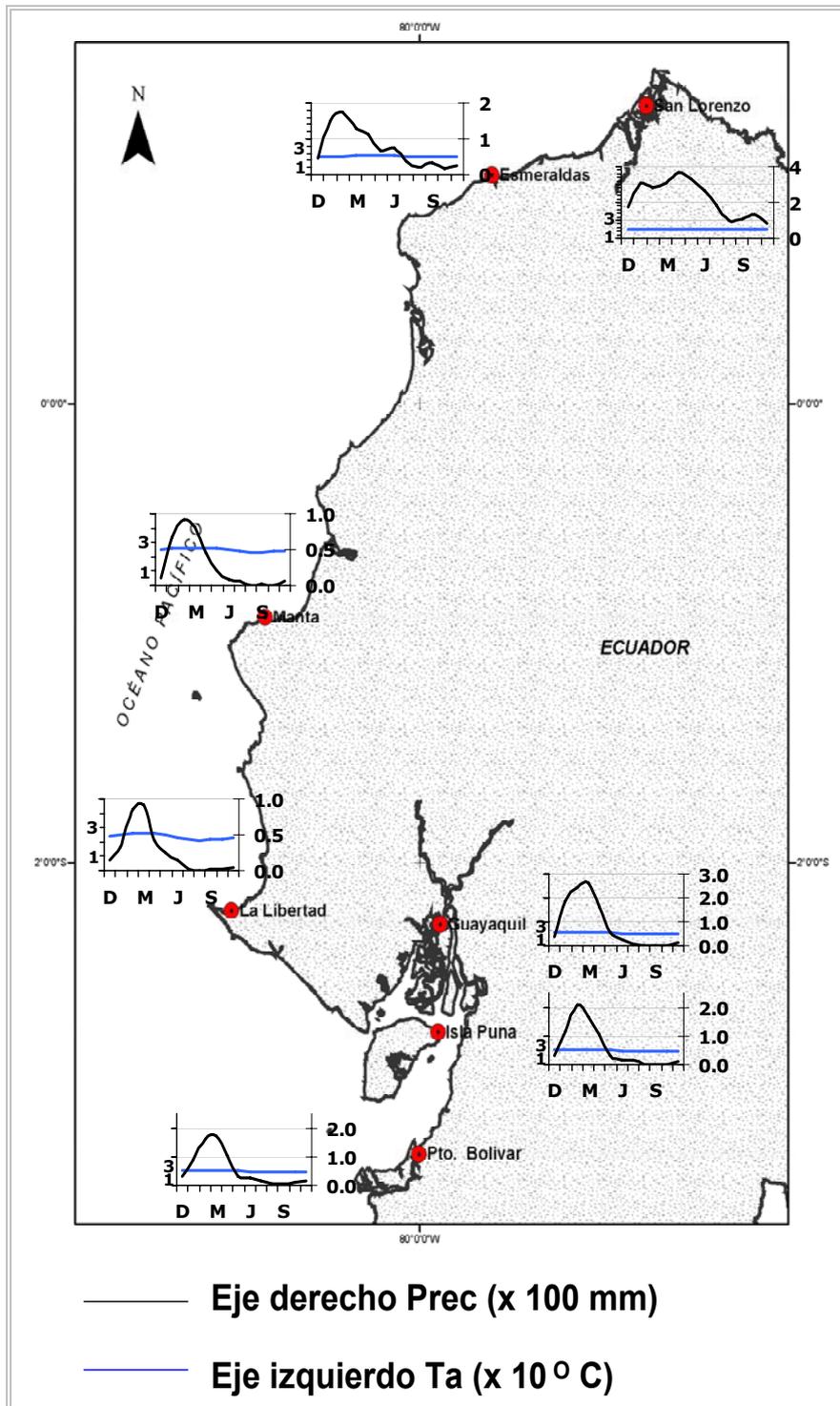
**Figura 18 Condiciones mensuales normales de Prec (x 100 mm)**  
Fuente: Freddy Hernandez 2006

Prec, Figura 18, este parámetro es el indicador de estaciones climáticas en nuestro país, en los meses junio-noviembre las precipitaciones son cercanas o cero para estaciones como Manta, La Libertad, Guayaquil, Puna y Pto. Bolívar, no así en San Lorenzo y Esmeraldas se reportan precipitaciones todo el año, el promedio de los acumulados de Prec es mayor en las estaciones al norte, los meses con mayor precipitaciones con febrero-marzo.

### **4.3 Diagramas ombrotérmicos**

La clasificación climática de los diagramas ombrotérmicos permite establecer la presencia de meses ecológicamente secos, según gráficos de Ta y Prec, graficados a doble escala, una unidad de Ta es igual a dos unidades de Prec, si  $Ta < Prec$  es un mes ecológicamente seco, Figura 19 muestra los diagramas para las 7 estaciones de estudio, note que por la doble escala utilizada no se "aprecia" el ciclo anual de Ta y mas bien se lo ve como una línea "recta". En San Lorenzo no existen meses ecológicamente secos, mayo a noviembre son definidos como ecológicamente secos para Guayaquil, Puna y Pto. Bolívar teniendo en común el inicio fin de la estación lluviosa no así su intensidad, los meses secos para Manta y La Libertad son se mayo a noviembre y llueve en promedio acumulado 340.3 y 315.6 mm respectivamente. Esmeraldas presenta meses secos de julio a noviembre. En (8) se realizó este tipo de diagramas para 126 localidades del Ecuador, las comparables son San Lorenzo, Esmeraldas, Manta y Guayaquil, San Lorenzo para el periodo

analizado por (8) 1964-1970, no presenta meses ecológicamente secos, un segundo pico de lluvias esperado encontrado por (8) es para septiembre, no así para la serie completa 1975-2004 cuyo pico de lluvia es esperado para octubre. Analizado por (8) Esmeraldas inicia sus meses secos a fines de mayo y terminan en diciembre, se encuentran diferencias entre los diagrama de Esmeraldas una de las razones es la longitud de las series. Manta es analizada por (8) en el periodo 1969-1971 en el cual encuentra un pico de lluvias para marzo y sus meses secos a partir de abril hasta enero del siguiente año, difiriendo por el diagrama que le corresponde a Manta en Figura 19, y por ultimo Guayaquil es analizada en el periodo 1961-1971, su meses secos son iguales a los encontrados en este trabajo, mayo-diciembre.



**Figura 19 Diagramas ombrotérmicos**  
**Fuente: Freddy Hernandez 2006**

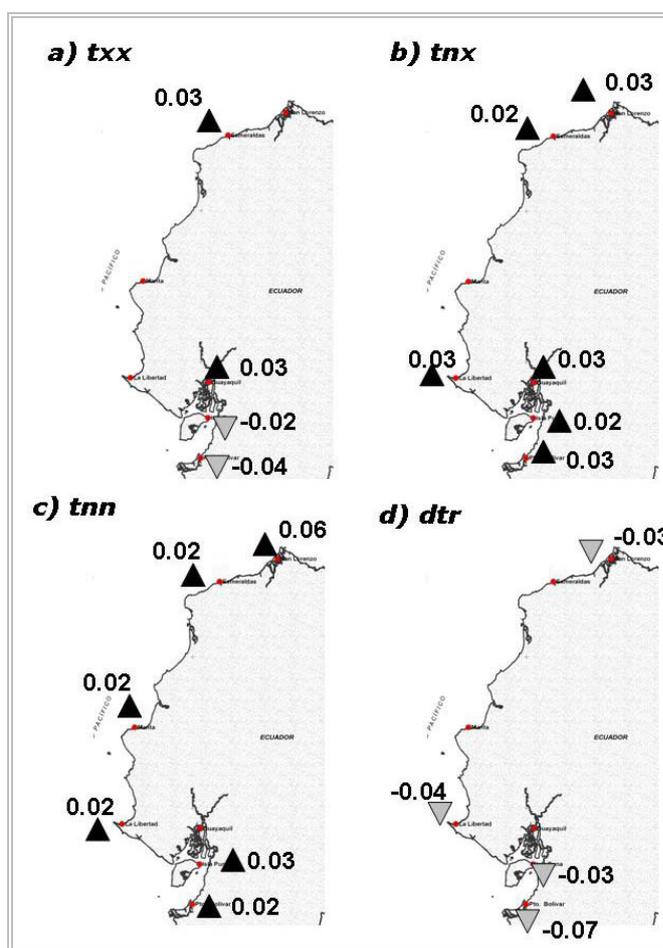
#### 4.4 Distribución de índices climáticos

15 Índices climáticos fueron calculados para las 7 estaciones de estudio usando todo el periodo de estudio, y 21 índices cuando se uso el periodo mas largo y continuo de cada estación, el software Rclimindex no toma en cuenta los datos faltantes, tanto para los índices como para ponderación de la recta de regresión a fin de determinar la significancia o no de la tendencia en la recta de regresión. En la tabla VII se muestra los índices (15 en total) con su tendencia para cada estación tomando el periodo 1949-2004, y en la tabla VIII se muestran los índices (21 en total) con su tendencia usando el periodo más largo y continuo de cada estación, p-value mostrados en rojo muestra que la tendencia es significativa al 95% de confianza y p-value mostrado en azul muestra que la tendencia es significativa al 90%.

##### 4.4.1 Usando todo el periodo de cada serie

La Figura 20 muestra 4 índices de temperatura con su respectiva tendencia significativa al 90% en cada estación, Figura 13 a) *txx* muestra tendencia positiva en Esmeraldas y Guayaquil, y tendencias negativas en Puna y Pto. Bolivar b) *tnx* existen tendencias positivas en todas las estaciones las tendencias están entre 0.02 y 0.03° C/año. c) *tnn* todas las tendencias son positivas 0.06 C/año en San Lorenzo y en el resto de las estaciones su valores entre 0.02 y 0.03° C/año exceptuándose Guayaquil donde no se reportaron tendencias significativas. d) *dtr* muestra tendencias negativas en San Lorenzo,

La Libertad, Puna y Pto. Bolivar. Además de los índices de temperatura mostrados en la Figura 13 otras tendencias significativas también se reportan al 95% o 90% en la Tabla VIII por ejemplo Manta muestra una tendencia significativa positiva de cdd de 1.80 días/año, en Guayaquil la tendencia es 1.43 días/año y Pto. Bolivar su tendencia es 0.81 días/año.



**Figura 20** Índices con tendencias significativas al 90% de confianza, tendencia en °C/año, usando todo el periodo de estudio  
Fuente: Freddy Hernandez 2006

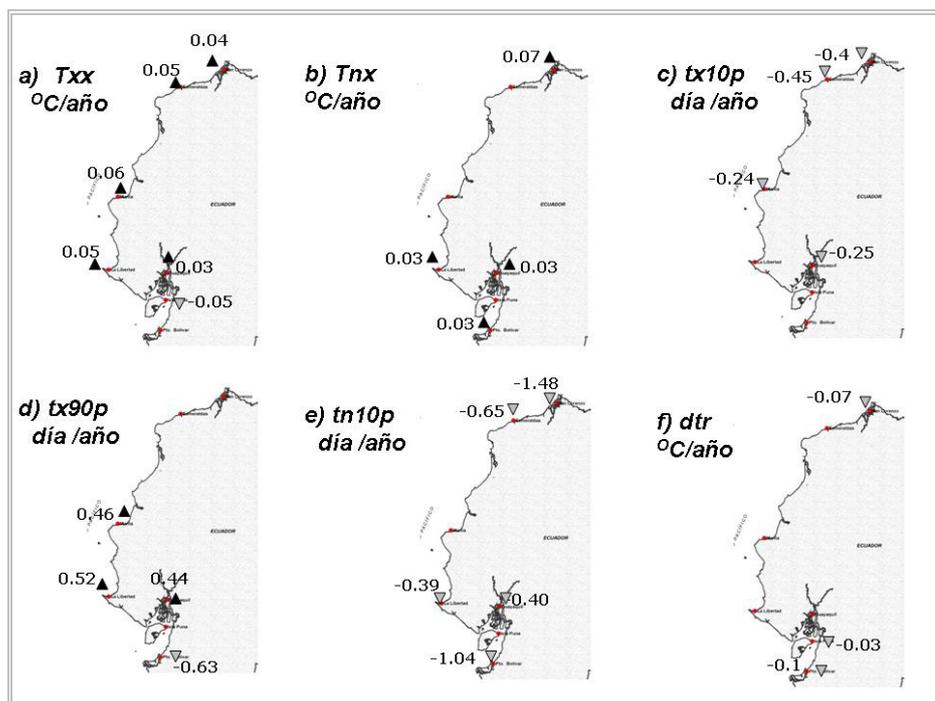
Indices	San Lorenzo 1953-2004		Esmeraldas 1949-2004		Manta 1949-2004		La Libertad 1951-2004		Guayaquil 1962-2004		Puna 1949-2004		Pto. Bolivar 1952-2004	
	Tendencia	P-value	Tendencia	P-value	Tendencia	P-value	Tendencia	P-value	Tendencia	P-value	Tendencia	P-value	Tendencia	P-value
<b>txx</b>	0.02	0.13	0.03	0.00	0.01	0.11	0.01	0.63	0.03	0.00	-0.02	0.00	-0.04	0.00
<b>txn</b>	-0.01	0.42	0.01	0.07	0.00	0.66	-0.01	0.51	0.01	0.55	-0.01	0.49	-0.02	0.10
<b>tnx</b>	0.03	0.01	0.02	0.00	0.01	0.27	0.03	0.00	0.03	0.00	0.02	0.05	0.03	0.00
<b>tnn</b>	0.06	0.00	0.01	0.05	0.02	0.09	0.02	0.06	0.01	0.23	0.02	0.03	0.02	0.06
<b>dtr</b>	-0.03	0.01	0.00	0.87	-0.01	0.31	-0.04	0.00	0.01	0.13	-0.03	0.00	-0.07	0.00
<b>rx1day</b>	-0.36	0.51	-0.33	0.46	0.26	0.40	0.54	0.41	0.68	0.17	-0.87	0.22	0.33	0.52
<b>rx5day</b>	1.17	0.20	-0.04	0.96	0.66	0.25	1.06	0.31	0.51	0.58	-1.23	0.36	-0.22	0.80
<b>sdii</b>	0.02	0.63	0.00	0.99	0.00	1.00	0.01	0.96	0.07	0.18	-0.15	0.13	0.06	0.29
<b>r10mm</b>	0.09	0.72	-0.02	0.82	0.06	0.51	0.14	0.39	0.16	0.44	0.01	0.96	0.10	0.59
<b>r20mm</b>	0.11	0.58	0.02	0.75	0.06	0.35	0.11	0.32	0.11	0.49	-0.03	0.85	0.08	0.53
<b>cdd</b>	-0.09	0.29	0.00	0.97	1.80	0.03	0.93	0.40	1.43	0.08	-0.18	0.86	0.81	0.01
<b>cwd</b>	0.06	0.33	0.01	0.62	-0.02	0.32	0.03	0.35	0.04	0.41	0.06	0.31	0.00	0.97
<b>r95p</b>	7.46	0.21	1.30	0.66	0.85	0.67	1.48	0.54	4.87	0.20	-1.01	0.80	1.42	0.75
<b>r99p</b>	2.33	0.39	-0.44	0.76	-0.15	0.84	1.28	0.31	2.88	0.07	-1.80	0.37	1.43	0.46
<b>prcptot</b>	8.48	0.40	1.38	0.75	2.09	0.59	5.50	0.39	7.61	0.40	0.96	0.91	4.20	0.60

**Tabla VIII Tendencia de índices extremos, valores marcados en rojo tendencias significativas al 95% y en azul al 90%, usando todo el periodo**  
**Fuente: Freddy Hernandez 2006**

#### 4.4.2 Usando el periodo continuo más largo de cada estación

Se muestran los resultados de una segunda corrida de Rclimdex pero ahora en cada estación el periodo continuo mas largo, en promedio es 1975-2004, para la estación Guayaquil es de 1962-2004 y Puna 1977-2004. La Figura 21 muestra los índices climáticos con tendencia significativa, las unidades de las tendencias están junto al nombre del índice. a) Solo en la estación Pto. Bolivar no se encontró tendencia significativa en el resto de las estaciones la tendencia está entre 0.03 y 0.06 °c/año, en b) Tnx en las estaciones al sur del Ecuador La Libertad, Guayaquil y Pto. Bolivar la tendencia es de 0.03 °c/año no así en San Lorenzo que registra un poco mas del doble 0.07 °c/año.

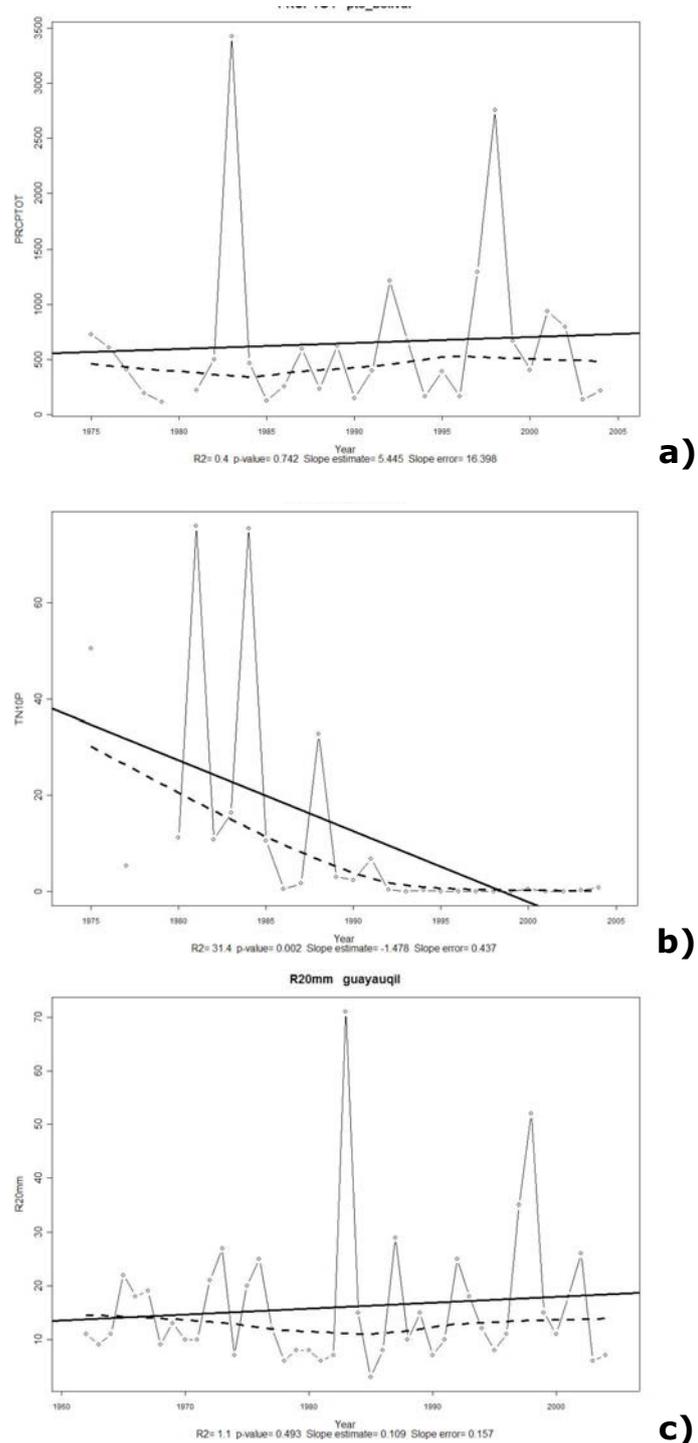
En la Figura 21 c) el tx90p solo presenta tendencia positiva en Manta, La Libertad y Guayaquil, y tendencia negativa de -0.63 día/año, en d) tn10p muestra tendencias negativas a lo largo de toda la costa tanto las estaciones al norte como las de al sur del Ecuador y en d) c) tx10p registra tendencias significativas en 4 de las 7 estaciones -0.4 día/año para San Lorenzo y -0.25 día/año para Guayaquil.



**Figura 21** Índices con tendencias significativas al 90% de confianza, usando el periodo continuo mas largo  
Fuente: Freddy Hernandez 2006

Las tendencias de todos los índices así como su ponderación para definir o no significancia de las tendencias, p-value, se muestran en la Tabla IX.

El Rclimdex grafica las series anuales de los índices junto con tendencias calculadas por regresión lineal de mínimos cuadrados (línea sólida) y regresión lineal con ponderamientos locales (línea punteada), estadísticas del ajuste de curvas lineal también se muestran en cada gráfico, ejemplo de tres índices se muestra en la Figura 22, los índices son influenciados por la variación interanual El Niño-a.



**Figura 22** Diversos índices, gráficos realizados por el Rclimdex.

a) PRCPTOT Pto. Bolivar

b) TN10P San Lorenzo

c) R20mm Guayaquil

Fuente: Freddy Hernandez 2006

Indice	San Lorenzo 1975-2004		Esmeraldas 1975-2004		Manta 1975-2004		La Libertad 1975-2004		Guayaquil 1962-2004		Puna 1977-2004		Pto. Bolivar 1977-2004	
	Tendencia	P_Value	Tendencia	P_Value	Tendencia	P_Value	Tendencia	P_Value	Tendencia	P_Value	Tendencia	P_Value	Tendencia	P_Value
txx	0.04	0.03	0.05	0.01	0.06	0.00	0.05	0.02	0.03	0.00	-0.05	0.00	-0.03	0.21
txn	-0.02	0.34	0.00	0.84	0.01	0.73	0.00	0.86	0.01	0.55	0.00	0.90	-0.02	0.33
tnx	0.07	0.00	0.02	0.20	0.01	0.42	0.03	0.05	0.03	0.00	-0.01	0.70	0.03	0.03
tnn	0.12	0.00	0.04	0.02	0.03	0.06	0.02	0.49	0.01	0.23	0.03	0.24	0.04	0.03
tx10p	-0.40	0.02	-0.45	0.03	-0.24	0.05	0.22	0.30	-0.25	0.01	0.07	0.52	0.25	0.28
tx90p	0.40	0.21	0.36	0.18	0.46	0.06	0.52	0.10	0.44	0.00	-0.10	0.58	-0.63	0.08
tn10p	-1.48	0.00	-0.65	0.00	-0.29	0.26	-0.39	0.06	-0.40	0.00	-0.26	0.29	-1.04	0.00
tn90p	1.09	0.00	0.38	0.17	0.47	0.19	0.32	0.43	0.46	0.11	0.18	0.70	0.44	0.26
wstdi	0.21	0.65	-0.06	0.89	0.38	0.39	0.12	0.89	0.10	0.30	0.04	0.86	0.01	0.99
csdi	-2.82	0.02	-0.99	0.16	-0.12	0.62	-0.36	0.29	-0.14	0.04	0.09	0.58	-0.97	0.04
dtr	-0.07	0.00	0.00	0.96	0.01	0.68	-0.02	0.23	0.01	0.13	-0.03	0.03	-0.10	0.00
rx1day	-0.04	0.96	-0.77	0.39	0.41	0.54	1.43	0.24	0.68	0.17	-2.02	0.10	0.92	0.37
rx5day	2.13	0.05	-1.76	0.18	0.08	0.95	1.89	0.34	0.51	0.58	-2.93	0.20	0.95	0.58
sdii	0.00	0.99	-0.02	0.76	-0.04	0.61	-0.10	0.57	0.07	0.18	-0.54	0.00	0.12	0.31
r10mm	-0.03	0.95	-0.02	0.93	0.03	0.90	0.15	0.65	0.16	0.44	0.03	0.95	0.18	0.65
r20mm	-0.06	0.84	0.05	0.77	0.05	0.77	0.09	0.68	0.11	0.49	-0.08	0.80	0.11	0.68
cdd	0.00	1.00	0.25	0.40	0.22	0.90	-1.72	0.42	1.43	0.08	-1.67	0.43	0.56	0.38
cwd	0.03	0.72	-0.02	0.79	-0.01	0.83	0.07	0.31	0.04	0.41	0.28	0.01	-0.03	0.62
r95p	8.57	0.39	-1.36	0.84	-0.11	0.98	2.91	0.55	4.87	0.20	-5.26	0.50	3.44	0.71
r99p	0.48	0.91	-2.99	0.35	0.22	0.88	1.48	0.46	2.88	0.07	-4.83	0.23	0.47	0.89
prcptot	5.53	0.74	0.32	0.98	1.53	0.87	6.28	0.63	7.61	0.40	0.49	0.98	5.45	0.74

**Tabla IX Tendencia de índices extremos con su respectivo p-value, valores marcados en rojo significativos al 95% y en azul al 90%, usando el periodo continuo más largo**  
**Fuente: Freddy Hernandez 2006**

## **Capítulo V**

### **5.1 CONCLUSIONES**

En las cuatro variables analizadas existe la presencia de un ciclo anual en todas las estaciones, aunque en las estaciones San Lorenzo y Esmeraldas no está tan bien definido como en las estaciones al centro y sur de la costa ecuatoriana, esto se debe a que la variación estacional de la corriente de Panamá o el Niño llega inclusive a las estaciones al sur de la costa ecuatoriana haciendo que los rangos se amplíen y se reflejen en los ciclos anuales de temperaturas, por otro lado la variación estacional de la corriente de Humboldt no influye en la costa norte del Ecuador y haciendo que haya menores rangos de temperatura a lo largo de todo el año.

Los modos empíricos de variabilidad estacional que se encontraron para cada variable nos confirma la presencia del ciclo anual, existiendo diferencias en las ponderaciones a los modos por parte de las estaciones situadas al norte del Ecuador.

La presencia de la variabilidad interanual, El Niño-a, representado por los "Modos empíricos de variabilidad interanual" en todas las estaciones permite decir que ésta es parte de la variabilidad climática, no así lo efectos que pueda causar los diversos sectores del país.

Analizando los diagramas ombrotérmicos permite concluir tres zonas diferentes, 1.-Estación San Lorenzo sin meses ecológicamente secos durante todo el año, 2.- Estación Esmeraldas los meses ecológicamente secos desde julio a noviembre y 3.- las estaciones Manta, La Libertad, Guayaquil, Puna y Pto. Bolivar no tiene meses ecológicamente secos desde diciembre a abril.

Los puntos de cambio encontrados en la aplicación del RHtest no correspondieron a causas documentadas, unos puntos de cambios significativos o no son atribuibles a las variaciones interanuales que reportaron las series de datos.

En la primera corrida de Rclimindex para todo el periodo de estudio, en las estaciones al sur del Puna y Pto Bolivar el valor máximo mensual de la temperaturas máximas diaria presenta una disminución de  $1.12^{\circ}\text{C}$  entre  $1.58^{\circ}\text{C}$  respectivamente, no así en Esmeraldas y Guayaquil éste mismo índice txx presentó un aumento de  $1.68^{\circ}\text{C}$ , pero analizando ya solo el periodo continuo mas largo aparecen tendencias significativas en el resto de las estaciones, como La Libertad, Manta, y San Lorenzo pero se mantiene una tendencia negativa al sur Puna, lo que significa que las temperaturas máximas mensuales aumentan al centro y norte del ecuador pero disminuyen en las estaciones ubicadas a la entrada del Golfo de Guayaquil.

Las temperaturas mínimas, los máximos valores como los mínimos tienen predominancia al aumento (tnx y tnn). En general se observa un comportamiento a tendencias positivas significativas en las temperaturas máximas y mínimas, como conclusión aparte los días y noches frías están disminuyendo tx10p y tn10p respectivamente.

Las noches calientes tienen tendencia positiva en Guayaquil, La Libertad y Manta en Pto. Bolívar presenta tendencia negativa, producto del aumento en las temperaturas mínimas, las mínimas temperaturas ocurren en la noche.

Existe concordancia de los resultados encontrados, con los del trabajo de (11) que reporta aumento en las noches calientes, y cambios no consistentes en las temperaturas extremas. Aunque (11) usa para Ecuador una estación de la costa interior del Ecuador, los reportes de los índices clima mantienen un cierto grado de "similitud" lo que podría indicar que los índices climáticos tienen la misma respuesta espacialmente hablando.

No se presentan resultados conclusiones referentes a los índices basados en precipitación ya que los mismos no presentaron en su mayoría tendencias positivas o negativas significantes, por lo revisado en los

gráficos que salen del Rclimdex los índices de precipitación está influenciados por variaciones interanuales, gráficos no mostrados en este estudio.

## **5.2 Recomendaciones**

Por la gran cantidad de puntos de cambios encontrados al analizar las series mensuales se recomienda al Instituto Oceanográfico de la Armada:

- Realice verificaciones en los datos meteorológicos ya ingresados en su sistema
- Controles in situ más estrictos y frecuentes en la obtención de sus datos
- Actualizar y mantener la metadata en lo referente a datos meteorológicos

Enviar resultados de este estudio así como carta de agradecimiento por colaboración prestada en la aplicación del Rclimdex y Rhtest a Equipo de Expertos de CCI/CLIVAR para "Climate Change Detection Monitoring and Índices" (ETCCDMI) (21).

Ampliar este estudio con las estaciones pertenecientes al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) a fin de encontrar zonas homogéneas de distribución de variabilidad climática.

# **ANEXO I**

## Listado de Función EOF

```
function [V,EOFs,EC,error]=EOF(D,p)
% function [V,EOFs,EC,error]=EOF(D,p)
%
% This function decomposes a data set D into its EOFs
% and eigenvalues V. The most efficient algorithm proposed by
% von Storch and Hannstock (1984) is used.
%
% D = each row is assumed to be a sample. Each column a variable.
% Thus a column represents a time series of one variable
% p = is an optional parameter indicating the number of
% EOFs the user wants to take into account (smaller than
% the number of time steps and the number of samples).
%
% EOFs= matrix with EOFs in the columns
% V = vector with eigenvalues associated with the EOFs
% EC = EOF Coefficients
% error = the reconstruction error (L2-norm)
%
% This function uses svds from Matlab version 5
%
% Written by Martijn Hooimeijer (1998)

% first compute zero-averaged data sets
DS=zeroavg(D);

% Determine size of the data matrix (m=number of samples, n= number of variables)
```

```

[m,n]=size(DS);
q=min(m,n);

% Determine singular value decomposition of the problem
if nargin < 2
    [U,S,F]=svds(DS,min(m,n));
else
    [U,S,F]=svds(DS,min(q,p));
end

% rewrite the large eigenvalue matrix to a vector and
% apply the appropriate normalisation
V=diag(S).^2/(m-1);

% Define the EOFs (with EOFs in the columns)
EOFs=F;

% Determine the EOF coefficients (form the zero-averaged data)
EC=U*S;

% Determine the difference between the original data and the
% reconstructed data
diff=(DS-EC*EOFs');
% determine the L2 error norm for each variable
error=sqrt(sum(abs(diff.^2)));

```

## **BIBLIOGRAFIA**

- (1) ZAMBRANO, E.** El Niño, Acta Oceanográfica del Pacífico INOCAR, Guayaquil, 1996, Vol. 8 No 1, 109-114 p.
- (2) ESPINOZA, J.** El Niño y sus implicaciones sobre el medio ambiente, Acta Oceanográfica del Pacífico INOCAR, Guayaquil, 1996, Vol. 8 No 1, 115-134 p.
- (3) RACINE, J.** Citado en Manual de Climatología Aplicada, Clima, Medio Ambiente y Planificación, Editorial Síntesis, Vallehermoso, 14 p.
- (4) SILVA GUERRERO, G.** Análisis de la variabilidad climática de la zona costera ecuatoriana utilizando componentes principales, Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar, Guayaquil, 1992.
- (5) CORNEJO, P.** Climatología de la Zona Costera Ecuatoriana, Web site: [www.fimcm.espol.edu.ec/webpages/profesores/MPC-web/Html/CZCEhead.htm](http://www.fimcm.espol.edu.ec/webpages/profesores/MPC-web/Html/CZCEhead.htm), Agosto 2005
- (6) NIETO, J. Y COAUTORES.** Análisis de tendencia de series de tiempo oceanográficas y meteorológicas para determinar evidencias de Cambio Climático en la costa del Ecuador. Acta Oceanográfica del Pacífico INOCAR, Guayaquil, 2002. Vol. 11 No. 1., 17-21 p.
- (7) CÁCERES, L. Y COAUTORES.** Evidencias del cambio climático en el Ecuador. Web site: [www.unesco.org.uy/phi/libros/enso/caceres.html](http://www.unesco.org.uy/phi/libros/enso/caceres.html), Agosto, 2005
- (8) CAÑADAS, L.** Mapa Bioclimático y Ecológico del Ecuador, MAG-PRONAREG, Quito, 1983, 15 p.
- (9) NICHOLLS, N., AND W. MURRAY.** 1999: Workshop on indices and indicators for climate extremes, Asheville, NC, USA, 3-6 June 1997: Breakout group B: Precipitation. *Climatic Change*, **42**, 23-29 p.
- (10) JONES, P. D., E. B. HORTON, C. K. FOLLAND, M. HULME, D. E. PARKER, AND T. A. BASNETT.** 1999a: The use of indices to identify changes in climatic extremes. *Climatic Change*, **42**, 131-149 p.
- (11) VINCENT, L. ET AL.** Observed Trends in Indices of Daily Temperature Extremes in South America 1960-2000, *Journal of climate* Vol. 18, 2005, 5011-5022 p.

**(12) QUINTANA-GOMEZ, R. A.,** 1999: Trends in maximum and minimum temperatures in northern South America. *J. Climate*, **12**, 2104–2112 p.

**(13) RUSTICUCCI, AND M. BARRUCAND,** 2004: Observed trends and changes in temperature extremes over Argentina. *J. Climate*, **17**, 4099–4107 p.

**(14) LUND, R., AND J. REEVES.** Detection of undocumented changepoints: A revision of the two-phase regression model. *J. Climate*, **15**, 2002, 2547–2554 p.

**(15) VELARDE F.** Variaciones estacionales de parámetros oceanográficos en las Islas Galápagos, Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar, Guayaquil, 1993.

**(16) BAYOT, B. & M.P. CORNEJO - RODRIGUEZ.** Evidencia de ondas ecuatoriales en Salinas y Galápagos, Acta Oceanográfica del Pacífico INOCAR, Guayaquil, 1996, Vol. 8 No 1, 1-14 p.

**(17) BAYOT, B.** Variabilidad de Baja Frecuencia de parámetros Océano Atmosférico en Salinas y Galápagos durante el periodo 1985-1988, Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar, Guayaquil, 1993.

**(18) NOLIVOS, I.** Estudio del Impacto de los Eventos El Niño 1991-1992 y 1997-1998 sobre los rendimientos de cultivos de arroz y maíz en el Litoral Ecuatoriano, Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar, Guayaquil, 2002.

**(19) RODRIGUEZ, E.** Variabilidad de la circulación de mesoescala en la Cuenca oceánica del Pacífico Colombiano, Tesis Doctoral, Universidad de Concepción, Chile, 2003.

**(20) DALLAS, E.** Métodos multivariados aplicados al análisis de datos, Internacional Thomson Editores, México, 2000, 109 – 111 p.

**(21) PETERSON, T. C., C. FOLLAND, G. GRUZA, W. HOGG, A. MOKSSIT, AND N. PLUMMER,** 2001: Report on the activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Reporters 1998–2001. World Meteorological Organization Rep. WCDMP-47, WMO-TD 1071, Geneva, Switzerland, 143 p.

**(22) LUND, R., AND J. REEVES.** Detection of Undocumented Changepoints: A Revision of the Two-Phase Regression Model, Notes and Correspondence, 2002, 2547 – 2554 p.

**(23) VINCENT, LA.** A technique for the identification of inhomogeneities in Canadian temperature series, *Journal of Climate* **11**, 1998, 1094 – 1104 p.

**(24) R:** A language and environment for statistical computing, R Development Core Team, Vienna, Austria, 2003, web site: [www.R-project.org](http://www.R-project.org), Junio 2005

**(25) XIAOLAN, L. WANG AND YANG FENG.** RHTest (0.9) User Manual, Climate Research Branch Meteorological Service of Canada, Downsview, Ontario, Canada, 2004, web site: <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/> Junio 2005

**(26) SANTOS, J.** RClimDex Manual de usuario versión en español, 2004, web site: <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/> Junio 2005