

Análisis de tendencia de series de tiempo oceanográficas y meteorológicas para determinar evidencias de Cambio Climático en la costa del Ecuador.

Por:

Juan José Nieto, Rodney Martínez,
Juan Regalado, Freddy Hernández

ABSTRACT

27-years time series of oceanographic and meteorological data from stations located along the Ecuadorian coast were statistically analyzed in order to determine evidence of climatic change in Ecuador. Linear tendency analysis was applied to air surface temperature, sea surface temperature, and mean sea level. All the tendency lines of thermal parameters show a positive slope, suggesting the increase of the average patterns, however the mean sea level although has a negative slope during the period studied, in a long term series since 1950 seems to have a decadal behavior that modulate the signal. The results of increasing temperatures are consistent with global estimations of environmental warming turning into clear evidence of climate change in the ecuadorian coast.

RESUMEN

Series de tiempo de 27 años de datos oceanográficos y meteorológicos de estaciones localizadas a lo largo de la costa Ecuatoriana, fueron analizadas estadísticamente para determinar una evidencia de cambio climático en Ecuador. Análisis de tendencia lineal fue aplicado a la temperatura superficial del aire, temperatura superficial del mar y nivel medio del mar. Todas las líneas de tendencia de los parámetros térmicos mostraron una pendiente positiva, sugiriendo un incremento en los patrones promedio, sin embargo, el nivel medio del mar aunque tiene una pendiente negativa durante el período estudiado, en una serie de largo plazo desde 1950 parece tener un comportamiento decadal que modula la señal. Los resultados de incrementos de temperatura son consistentes con estimaciones globales de calentamiento ambiental, convirtiéndose en una clara evidencia de cambio climático en la costa ecuatoriana.

INTRODUCCIÓN

A escala mundial se observan evidencias de un calentamiento global que ha elevado la temperatura del planeta en aproximadamente 0.5°C en los últimos 100 años, lo que representa un incremento anual de 0.005°C .

Según estudios del Panel Internacional para el cambio Climático (*IPCC Technical Paper, 2001*), se estima que de continuar la emisión de gases hacia la atmósfera en la tasa que se realiza actualmente, el planeta alcanzaría un incremento de la temperatura media ambiental de 1.0°C - 3.5°C para el año 2100 con un incremento asociado del nivel medio del mar de 15 – 95 cm.

En el Ecuador existen muchas poblaciones

asentadas en el margen costero que sufren el embate de olas cuando se producen incrementos del nivel medio del mar por acción de eventos anómalos del **ENSO** (*El Niño Southern Oscillation*) que desde 1975 se han producido en los años 75-76, 82-83, 91-92, 97-98 (*Zambrano, 1998*) y cuya fase cálida ha sido más frecuente, persistente e intensa desde mediados de los 70's comparado con los últimos 100 años (*Gitay, Suarez, & Watson, 2002*). Varios autores sostienen que el incremento en la frecuencia e intensidad de los eventos durante la ocurrencia de un **ENSO**, está relacionado con factores antropogénicos derivados de la combustión de elementos fósiles. Otros plantean la teoría de que el **ENSO** es producto de ciclos interdecadales o de mayor escala producto del balance térmico entre el océano y la atmósfera.

El propósito de la investigación es evidenciar la influencia física del cambio climático global en la costa del Ecuador, procurando inferir escenarios más precisos a escala local, en cuanto a temperatura del mar, temperatura del aire y nivel medio del mar.

SERIES DE TIEMPO

Para este efecto se analizaron mediante herramientas matemáticas, series de temperatura superficial del aire (TSA) y temperatura superficial del mar (TSM) de 4 estaciones oceanográficas y meteorológicas costeras ubicadas a lo largo del Ecuador (Fig. 1), para el Nivel Medio del Mar (NMM) se utilizó la estación de La Libertad por tener registros desde el año 1950 y la mayor continuidad de datos. Las series fueron analizadas utilizando curva de ajuste de tendencia lineal.

Las series de datos diarios se promediaron anualmente para filtrar los ciclos estacionales e interanuales, posteriormente se calculó un promedio simple no ponderado sin interpolación matemática debido a que la falta de datos no permitió la aplicación de métodos de interpolación que no distorsionen las series, en años donde no se contó con datos suficientes para obtener un promedio no sesgado hacia algún ciclo estacional, el promedio no fue calculado, para evitar distorsión en los resultados.

Las series de tiempo con promedios anuales desde 1975 hasta 2002, fueron ajustadas aplicando una curva de ajuste lineal mediante el método de mínimos cuadrados para obtener una relación del tipo:

Donde, el factor m representa la pendiente de la curva, valores positivos por lo tanto, denotan una tasa de incremento anual y valores negativos representan una tasa de decremento anual.

La serie de datos de TSA (Fig. 2a) muestra una tasa de incremento promedio de alrededor de 0.01°C/año , excepto al sur en Puerto Bolívar, donde este parámetro se muestra estable a largo del ciclo analizado.

La serie de TSM (Fig. 2b) muestra similar tendencia hacia el incremento, sin embargo en las estaciones norte (Esmeraldas y Manta) el gradiente de 0.02°C/año es menor que el encontrado al sur (La Libertad y Pto. Bolívar) donde llega a $0.035^{\circ}\text{C/año}$ en promedio.

El NMM en La Libertad se analizó en los períodos de los años 1975-2001, 1950-1975 y 1950-2001, el primer caso, que corresponde al período analizado para los parámetros térmicos, muestra una tendencia negativa con una pendiente de $-4\text{E-}05$ cm/año, el segundo caso mostró pendiente positiva de $8\text{E-}05$ cm/año y el tercer caso, para la serie completa, muestra una ligera tendencia negativa de $-9\text{E-}06$ cm/año, como resultado se observa que las pendientes positivas y negativas parecen anularse al encontrarse dentro de ciclos de períodos largos de alrededor de 30 años (Fig. 3).

Las series de tiempo analizadas muestran que hacia el sur de la costa del Ecuador la tendencia lineal de incremento de la TSA y TSM es menos marcada que hacia el norte. En las series de TSA y TSM se observa que el efecto de los eventos ENSO, es menos evidente en Esmeraldas.

Se calculó una tasa de tendencia promedio para TSA y TSM utilizando las pendientes encontradas en los puertos estudiados, las que respectivamente son: $0.0075^{\circ}\text{C/año}$ y $0.0273^{\circ}\text{C/año}$, denotando en promedio general, una tendencia positiva de ambos parámetros.

Estudios de series de tiempo en el mar ecuatorial determinan una alta correlación entre el nivel medio del mar y la estructura térmica del agua (Zambrano 1998), con esta aproximación, se aplicó a las curvas de tendencia del NMM y TSM un análisis de regresión lineal simple con un nivel de confianza del 99%, donde se encontró la siguiente relación:

$$\text{NMM} = C - 0.021978 \cdot \text{TSM}$$

Donde la constante de ajuste $C = -1.81\text{E-}05$ tiende a cero por lo que se puede descartar para encontrar una relación directa entre ambos parámetros, como resultado se tiene

que la tendencia del NNM y la TSM para el período analizado tienen una correlación negativa o pendientes de signo diferente, donde la razón de cambio NNM/TSM es -0.021978.

Con las pendientes calculadas se han proyectado las variaciones que de mantenerse las tendencias se esperarían a 100 años:

NNM(100 años) = - 0.004 cm

TSA(100 años) = + 0.75°C

TSM(100 años) = + 2.7°C

DISCUSIÓN

Todas las series de TSA y TSM 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, se ha estimado en este estudio que durante los últimos 30 años la temperatura promedio del aire se ha elevado alrededor de 0.23°C y la temperatura superficial del mar promedio se ha elevado alrededor de 0.82°C.

Las estimaciones de incremento de temperatura medioambiental para los próximos 100 años de 1.0°C para TSA y 3.0°C para TSM asociadas a un calentamiento global son similares a las estimaciones realizadas a nivel global, donde se calculan incrementos de temperatura de alrededor de 1.0°C– 3.5°C como resultado del calentamiento global.

Si bien existe una tendencia decreciente de variación del NNM durante el ciclo estudiado, esta parece anularse cuando se estudian períodos más largos, lo que supone la existencia de ciclos decadales que para el caso se aproximan a 30 años. Se debe considerar que el ciclo estudiado se encuentra dentro de la fase positiva del Pacific interDecadal Oscillation PDO que tiene un ciclo estimado entre 35-50 años (Zhang, Wallace & Batisti, 1997), investigaciones estiman que desde 1997 se ha iniciado la fase negativa de la Oscilación Interdecadal del Pacífico (Chávez, Rian, Lluch-Cota & Ñiquen 2003) sin embargo, no se han realizado

estudios de los efectos del ciclo PDO en el océano Pacífico Sudoriental.

CONCLUSIONES

La tendencia de los parámetros térmicos TSA y TSM en la costa ecuatoriana son consistentes con estimaciones a 100 años realizadas a escala global, lo que representa una evidencia de efectos de calentamiento global en la costa ecuatoriana.

El NNM en la costa de Ecuador, no responde a las estimaciones realizadas de incremento y parece comportarse de forma cíclica con períodos decadales.

REFERENCIAS

CARREÑO, J. 1998, *Calentamiento Global: Evidencias e Incertidumbres, Reporte – 1998*

CHAVEZ, RIAN, LLUCH-COTA, ÑIQUEN. 2003. *From Anchovies to Sardines and Back: Multidecadal Change in the Pacific Ocean. Science. Vol. 299. January 2003. pp: 217-218*

GITAY, SUAREZ, & WATSON. 2002 *IPCC Technical Paper on Climate Change and Biodiversity.*

IPCC TECHNICAL REPORT, 2002, *Third Assessment Report TAR WGI SPM & TAR WGI Chapter 2.2.2.4, 2 and 12*

PEREZ, POVEDA, MESA, CARVAJAL & OCHOA, 1998. *Evidencias del Cambio Climático en Colombia: Tendencias y Cambio de Fase y Amplitud de los ciclos anual y semianual. Bulletin de l'Institut Français d'Etudes Andines. Tomo 27 No.3, pp: 537-546*

ZAMBRANO, E. 1997. *El Niño, Acta Oceanográfica del Pacífico. Vol. 8 No. 1, 1997, pp: 107-114*

ZAMBRANO, E. 1998. *Un análisis de la estructura termal de la estación costera "La Libertad" y su relación con los eventos ENSO Bulletin de l'Institut Français d'Etudes Andines. Tomo 27 No.3, pp: 529-536*

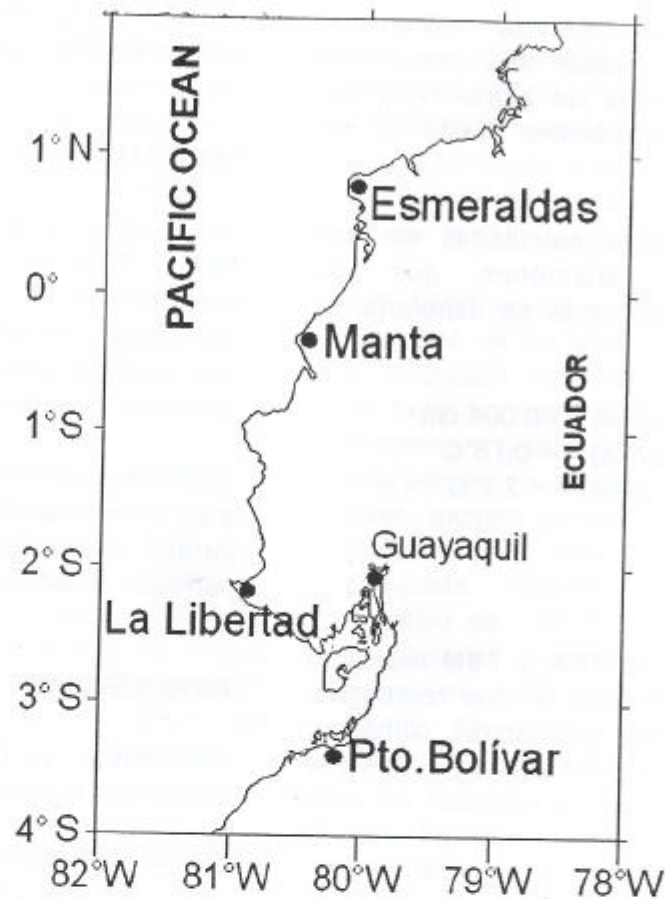


Fig. 1. Ubicación de las estaciones costeras oceanográficas y meteorológicas

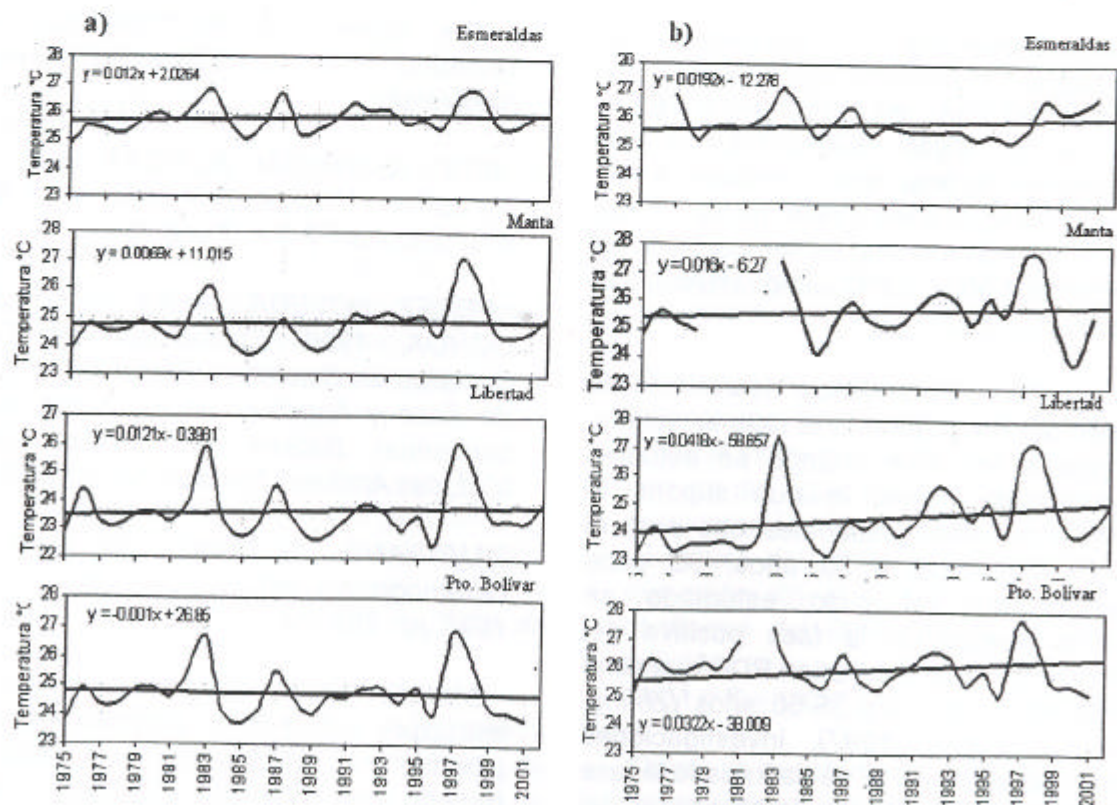


Fig. 2. De arriba hacia abajo Esmeraldas, Manta, La Libertad, Pto. Bolívar (a) Serie con promedios anuales de temperatura superficial del aire (b) Serie con promedios anuales de temperatura superficial del mar. La línea recta representa el ajuste lineal de la serie de datos desde 1975 hasta 2002. Se presenta en cada figura la ecuación de la curva de ajuste.

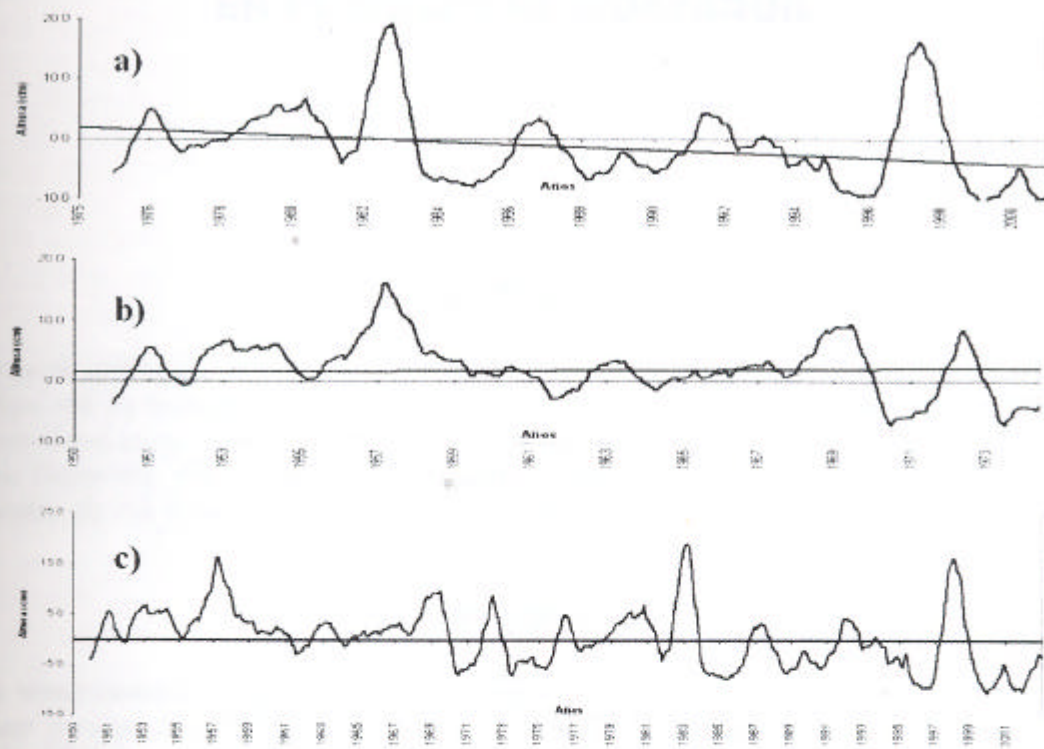


Fig. 3. Media corrida de período 1 año de la serie del NMM en La Libertad a) 1975-2001 b) 1950-1975 c) 1950-2001, la línea recta muestra la tendencia durante el periodo.