

INDICE MULTIVARIADO DE EL NIÑO EN EL ECUADOR

Por:

Rodney, Martínez(1)

Eduardo, Zambrano(1)

Leonor, Vera(1)

Katiusca, Briones(1)

Leila, Zambrano(1)

ABSTRACT

Using five coastal stations of the continental area of the Ecuador and one located in the Galapagos Island, five oceanic and atmospheric parameters are analyzed in the period from 1975 to 2002. Using statistical techniques an index multivariate was determined, to describe the climatic variability in the area of the Ecuadorian Pacific during the ENOS events (warm and cold phase). The index output has 0.65 correlation with observed behavior of events, taking as main indicator niño 1+2 region.

RESUMEN

Utilizando cinco estaciones costeras del área continental del Ecuador y una ubicada en las Islas Galápagos, se analizan cinco parámetros oceánicos y atmosféricos en el periodo comprendido de 1975 a 2002. Empleando técnicas estadísticas se determinó un índice multivariado, el mismo que describe la variabilidad climática en el área del Pacífico ecuatoriano durante los eventos ENOS (fase cálida y fría). El índice calculado tiene una correlación de 0.65 con el comportamiento observado de los eventos, considerando como principal indicador la región niño 1+2.

INTRODUCCIÓN

En ocasiones los investigadores dedicados al estudio del evento ENOS (El Niño - Oscilación Sur) discrepan en sus criterios, en cuanto a la magnitud, inicio y finalización de tal evento ENOS (El Niño, La Niña). Complicándose cuando las señales propias del evento son de características débiles y más aún cuando la manifestación de tal evento frente a las costas del Ecuador se presenta durante la época húmeda, por lo que ambas señales (El Niño y el ciclo estacional) pueden llegar a confundirse.

K. Wolter y M.S. Timlin, (1993), de la NOAA han preparado un Índice Multivariado del ENOS (MEI, por sus siglas en inglés), el cual básicamente utiliza la información de seis variables oceánicas-atmosféricas proveniente del Pacífico Tropical, describiendo el comportamiento de los eventos fríos y cálidos que han ocurrido en esa parte del océano. Sin embargo de la experiencia recogida por investigadores nacionales se ha podido

observar que el comportamiento de los mismos eventos frente a la costa del Ecuador puede sufrir modificaciones en cuanto a intensidad y duración.

El Niño de acuerdo a McCreary (1976) es una condición anómala que históricamente ha sido estudiada en la región del Pacífico Oriental; caracterizado por un rápido incremento del nivel medio del mar y la temperatura superficial del mar, así como un transporte hacia el sur de aguas ecuatoriales cálidas y menos salinas. Además El Niño está asociado a un debilitamiento de gran escala del sistema de vientos ecuatoriales sobre una gran extensión del océano. Por su parte Namias (1976) señala que durante los periodos de El Niño la tendencia de los vientos del oeste, en latitudes medias, es hacia el fortalecimiento. Hurlburt, et al (1976) definen a El Niño como un evento oceánico y meteorológico anómalo caracterizado por la repentina aparición de aguas cálidas de superficie en una escala de miles de kilómetros frente a las costas de Ecuador y

Perú, con grandes consecuencias económicas y sociales. Hurlburt, et al (1976) al desarrollar un modelo de simulación de El Niño observaron que una substancial reducción de los vientos alisios sobre el Océano Pacífico central inicia un frente de ondas internas Kelvin, lo que sugiere que la naturaleza de El Niño está relacionada con la ocurrencia de substanciales cambios en el régimen de los vientos ecuatoriales y de la dinámica de las ondas internas ecuatoriales.

Wyrtki (1977) Al analizar el nivel del mar de varias estaciones en el Pacífico ecuatorial, encontró un incremento del nivel del mar en el Pacífico occidental durante la fase previa a El Niño debido a la fuerte actividad de los vientos y luego durante la fase madura del evento se daba una reducción en el nivel del mar en el Pacífico occidental, mientras en el lado oriental se incrementa el nivel del mar como repuesta al arribo de ondas ecuatoriales en esta margen del Pacífico, como una repuesta dinámica al acción de los vientos en el Pacífico ecuatorial. Zambrano (1998) determinó la relación existente entre el nivel medio del mar y la profundización de las isotermas frente a las costas del Ecuador y su relación durante la ocurrencia de eventos cálidos.

Spillane et al (1987) en su análisis del contenido de señales de baja frecuencia en registros mareográficos correspondientes en varias estaciones ubicadas a lo largo del Pacífico oriental, encontró la presencia de ciclos estacionales y variabilidad interanual asociada con la ocurrencia de eventos El Niño. Las oscilaciones existentes en el océano y la atmósfera fueron determinadas por Martínez (1998), obteniendo dos modos predominantes en la atmósfera tropical: la oscilación de 37 días con alta coherencia a la oscilación de Madden y Julian y una segunda oscilación de 17 días de características similares a la onda Kelvin ecuatorial.

Clark (1992) al hablar sobre reflexión de ondas de baja frecuencia en el borde oriental del Pacífico y el empleo del nivel del mar como monitor de ondas Kelvin en el Pacífico ecuatorial oriental, siendo posible estimar la señal interanual de la onda Kelvin en el límite ecuatorial oriental del Pacífico, pudiendo

además, esta señal interanual, ser utilizada como un índice de El Niño, que para el caso de La Libertad se multiplicaría esta señal por 0.57

Las variaciones de la temperatura superficial del mar y del viento de superficie asociado con los eventos ENOS, fueron descritas por Rasmusson et al (1982), mostrando la alta correlación existente entre estos y la ocurrencia de episodios cálidos en el Pacífico oriental así como el rol que desempeña la Zona de Convergencia Intertropical durante su desplazamiento anómalo hacia el sur; por otra parte Moreano (1983) describe el rol que juega el océano en la climatología costera del Ecuador, al intentar buscar un mecanismo que permita pronosticar la rigurosidad de la estación lluviosa del Ecuador. El Niño 2002-2003, evidenció los errores de los modelos globales, concretamente en épocas donde la barrera de predictibilidad crece, tal es el caso de lo ocurrido entre Enero y Marzo 2003, con las proyecciones de evolución del evento, en donde los errores fueron sustanciales. Si sumamos a esta incertidumbre, la inexistencia de un modelo regional en el Pacífico Sudeste y concretamente en el Ecuador. La necesidad de ajustar la predicción a escala local es imperativa, dando peso, a la estacionalidad y su modificación durante la ocurrencia de un ENSO.

2. OBJETIVO

El presente trabajo tiene como objetivo el desarrollo de un Índice Multivariado del Ecuador (IME), que permita seguir el comportamiento de las condiciones océano-atmosféricas frente a las costas del Ecuador y su relación con los eventos ENOS; además de constituirse en una herramienta que permita determinar la ocurrencia y magnitud de eventos cálidos y fríos frente a la costa del Ecuador, en especial en aquellos momentos cuando la señal ENOS es débil y se sobrepone a la señal estacional de la estación húmeda del litoral ecuatoriano.

Además se considera que el IME vigila de mejor manera el desarrollo de los eventos ENOS frente a la costa del Ecuador, ya que integra mas información del sistema acoplado

océano-atmósfera efectuando un mejor trabajo que aquellos índices monovariados, como el Modelo de correlación espectral (MCE) preparado por Martínez, et al (1998).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

En el presente trabajo se analiza el comportamiento de 5 parámetros en 6 localidades costeras del Ecuador, las cuales de norte a sur son: Esmeraldas, Manta, La Libertad, Guayaquil, Puerto Bolívar y Galápagos (San Cristóbal), (Fig. 1). Los parámetros que se analizan son: temperatura del aire, temperatura del mar, precipitación, presión atmosférica y nivel medio del mar; con respecto a la información mareográfica de Galápagos se utilizó la información de la I. Baltra.

Las estaciones costeras utilizadas en el presente trabajo, corresponden a la red de estaciones meteorológicas y mareográficas que maneja el Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador (INOCAR) las cuales están equipadas con sensores meteorológicos estándar y mareógrafos Stevens. Las series analizadas corresponden al periodo de 1 de enero de 1975, a diciembre 31 de 2002. En este período se incluyen la presencia de eventos El Niño y La Niña. Las observaciones de los parámetros meteorológicos y oceanográficos se efectuaron tres veces al día, a las 12h00, 18h00 y 23h00, hora GMT, las del nivel del mar cada 15 minutos.

Previo al procesamiento de los datos en primer término se efectuó un control de calidad para eliminar datos dudosos, se obtuvieron los promedios diarios y posteriormente los valores mensuales de todos los parámetros con el fin de homogenizar toda la información disponible.

Posteriormente para cada uno de los parámetros, utilizados en el presente trabajo, se determinó el valor normal y la desviación estándar mensual. Luego se normalizaron los datos y se prepararon gráficos de control de cada uno de los parámetros.

La ecuación empleada para la determinación

de la desviación estándar se detalla en (1):

$$(1) \sigma = \sqrt{\frac{n \sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}}$$

Dónde: n es el número de datos y X es el parámetro al que se obtiene la desviación estándar.

La normalización de las series se la efectuó utilizando (2), (3), (4), (5) y (6).

$$(2) Z = \frac{X - U}{\sigma}$$

X = valor observado

U = valor medio

σ = Desviación estándar

Para el efecto de determinar las correlaciones entre los parámetros utilizados en este trabajo se empleó las siguientes ecuaciones:

$$(3) \rho_{x,y} = \frac{Cov(x,y)}{\sigma_x \times \sigma_y}$$

$$(4) Cov(x,y) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_x)(y_i - \mu_y)$$

$$(5) \sigma_x^2 = \frac{1}{n} \sum (x_i - \mu_x)^2$$

$$(6) \sigma_y^2 = \frac{1}{n} \sum (y_i - \mu_y)^2$$

En donde X y Y, son las variables a correlacionar.

La relación existente entre los diversos parámetros oceanográficos y meteorológicos fue descrita por Zambrano et al (2000) al documentar sobre El Niño 1997 – 98.

Los parámetros utilizados en el presente trabajo muestran una alta correlación con la ocurrencia de los eventos ENOS en el Ecuador; La temperatura del mar (TSM), la temperatura del aire (TA), el Nivel Medio del Mar (NMM), Presión Atmosférica (PA) y la Precipitación (PTN) presentan una relación directa entre ellos, siendo positivos en los episodios cálidos y negativos en los fríos; con respecto a la presión atmosférica esta presenta una relación inversa con respecto a

los parámetros anteriormente nombrados, es decir negativa durante la fase cálida y positiva en la fría; la Figura 2a y 2b muestra el comportamiento de estos parámetros durante el periodo de análisis.

Al correlacionar los parámetros entre sí, se encontró una alta correlación entre TSM, TA y NMM. Teniendo los siguientes coeficientes de correlación:

$$\text{TSM/TA} \quad r = 0.88$$

$$\text{TSA/NMM} \quad r = 0.69$$

$$\text{TSM/NMM} \quad r = 0.60$$

Con respecto a la PTN con la PA se obtuvo una baja correlación:

$$\text{PTN/PA} \quad r = -0.23.$$

Debido a factores, no considerados en el presente trabajo, como la presencia de vientos locales, la topografía del terreno, la presencia de la cordillera de los Andes y de la cordillera costanera de Chongón la cordillera costanera de Chongón y Colonche ubicada al oeste de la ciudad de Guayaquil, constituye el principal sistema montañoso del lugar que divide a la región en dos subregiones denominadas Costa Externa y Costa Interna, que puede de alguna manera alterar el régimen hídrico de la costa ecuatoriana, además de las perturbaciones provenientes de la región amazónica (INAMHI sitio WEB "Climas del Ecuador").

El IME presenta la ocurrencia de eventos ENOS en la costa del Ecuador, siendo sus valores positivos para la fase cálida (El Niño) y negativos para la fase fría (La Niña). El Índice Multivariado en el Ecuador (Figura 3), presenta valores significativamente altos durante los eventos El Niño muy fuertes o extraordinarios que se han dado frente a las costas del Ecuador.

Al graficar el IME para los eventos El Niño de los últimos años y compararlo con la actual evolución de las condiciones oceánicas y atmosféricas. (Figura 4a) se tiene que el presente evento inició su fase positiva, frente al Ecuador, a partir de febrero de 2002 manteniéndose con valores ligeramente positivos (0.5) hasta enero de 2003 (último

dato utilizado en el presente trabajo).

De igual manera se graficaron los últimos años de eventos fríos (La Niña) frente al Ecuador, (Figura 4b).

4. DISCUSIÓN

El IME desarrollado en este trabajo, describe bastante bien la ocurrencia de eventos cálidos y fríos frente a la costa del Ecuador.

Por su parte los índices térmicos de las regiones NIÑO, muestran claramente la ocurrencia de episodios cálidos y fríos en la región del Pacífico ecuatorial.

La correlación del IME con los diferentes índices de las regiones Niño nos da los siguiente valores:

$$\text{Niño 1+2} \quad r = 0.65$$

$$\text{Niño 3} \quad r = 0.48$$

$$\text{Niño 3.4} \quad r = 0.35$$

$$\text{Niño 4} \quad r = 0.18$$

Analizando el comportamiento del IME durante los años Niños y Niñas frente a la costa del Ecuador se tiene que la correlación es la siguiente:

$$\text{El Niño} \quad r = 0.65$$

$$\text{La Niña} \quad r = 0.39$$

La baja correlación observada durante los años de La Niña se podría explicar por la contaminación de la señal con los valores propios de la corriente fría de Humboldt, la cual normalmente ejerce una gran influencia en la costa del Ecuador.

5. CONCLUSIONES

El comportamiento del Índice Multivariado para el Ecuador describe las condiciones oceanográficas en aguas nacionales del Ecuador, señalando claramente los años de El Niño y La Niña (valores positivos y negativos respectivamente).

La manifestación de los El Niño frente al Ecuador, el IME lo describe en un 65%.

Sin embargo este valor decrece para el caso de las Niñas llegando solo a un 39%.

6. RECOMENDACIONES

Incluir en una siguiente fase del IME, otros parámetros como: Vientos, OLR, que nos ayuden a aumentar la correlación.

7. AGRADECIMIENTO

Al Centro de Datos Oceanográficos del INOCAR (Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador), por la provisión de los datos.

8. BIBLIOGRAFÍA

Clark, A. J., 1992: Low Frequency Reflection from a Nonmeridional Eastern Ocean Boundary and the Use of Coastal sea Level to Monitor Eastern Pacific Equatorial Kelvin Waves. *J. Phys Oceanogr.*, 22, 163-183.

Climate Diagnostic Center, NOAA: Multivariate ENSO Index, Internet, http://www.cdc.noaa.gov/ENSO/enso.mei_index.html

Hulburt, H. E., J. C. Kindle, y J. J. O'Brien, 1976: A Numerical Simulation of the Onset of El Niño. *J. Phys Oceanogr.*, 6, 621-631.

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI): Climas del Ecuador, Internet. <http://www.inamhi.gov.ec/Climatologia/index.html>

Martínez, R., 1998: Ondas Lineales barotrópicas en la atmósfera tropical y el litoral ecuatoriano-colombiano. *Bull. Inst. fr. Études andines*, 27(3), 517-527.

Martínez, R., y E. Zambrano, 1998: Modelo de Correlación Espectral. Manuscrito no publicado.

Mason, R. D., y D. A. Lind, 1998: Estadística. Alfaomega grupo editor S.A.

McCreary, J., 1976: Eastern Tropical Ocean Response to Changing Wind systems: with

Application to El Niño. *J. Phys Oceanogr.*, 6, 632-645.

Moreano, H. R., 1983: Interacción Océano - Atmósfera sobre la zona costera del Ecuador. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 2 (1), 1-11.

Namias, J., 1976: Some Statistical and Synoptic Characteristics Associated with El Niño. *J. Phys Oceanogr.*, 6, 130-138.

Rasmusson E. M., y T. H. Carpenter, 1982: Variations in Tropical Sea Surface Temperature and Surface Wind Fields Associated with the Southern Oscillation/El Niño. *Mon. Wea. Rev.*, 110, 354-384.

Spillane, M.C., D.B. Enfield, y J. S. Allen, 1987: Intraseasonal Oscillations in Sea Level along the West Coast of the Americas. *J. Phys Oceanogr.*, 17, 313-325.

Wolter, K., and M.S. Timlin, 1993: Monitoring ENSO in CO-ADS with a seasonally adjusted principal component index. *Proc. of the 17th Climate Diagnostics Workshop, Oklahoma Clim. Survey, CIMMS and the School of Meteor., Univ. of Oklahoma.*

Wyrtki, K., 1977: Sea Level During the 1972 El Niño. *J. Phys Oceanogr.*, 7, 779-787.

Zambrano, E., 1996: El Niño. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 10 (1), 9-20.

Zambrano, E., 1998: Un análisis de la estructura termal de la estación costera "La Libertad" y su relación con los eventos ENSO. *Bull. Inst. fr. Études andines*, 27(3), 529-536.

Zambrano, E., 2000: Variabilidad Oceanográfica en Ecuador asociada con el evento ENSO 1997-98. *Acta Oceanográfica del Pacífico*, 10 (1), 9-20.

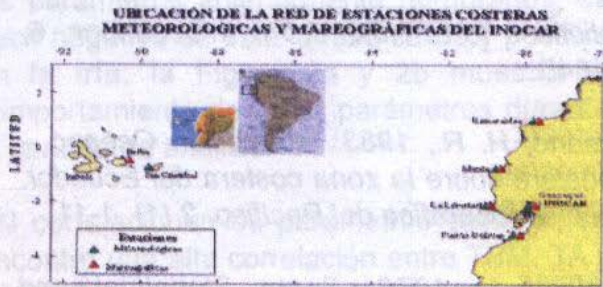


Figura 1 Ubicación de las estaciones costeras del INOCAR.

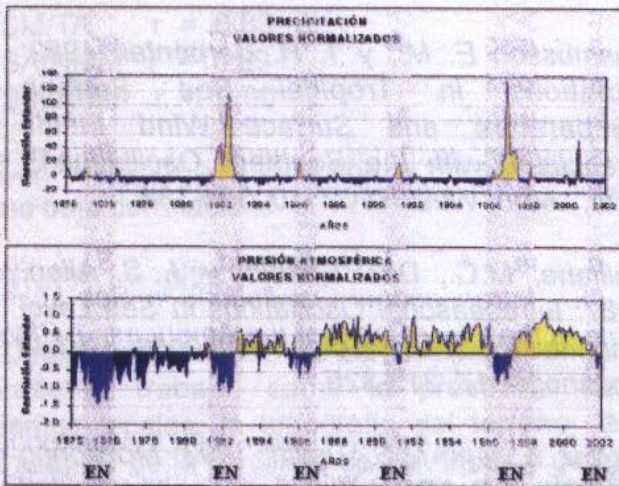


Figura 2b. Valores normalizados de Precipitación y Presión Atmosférica.

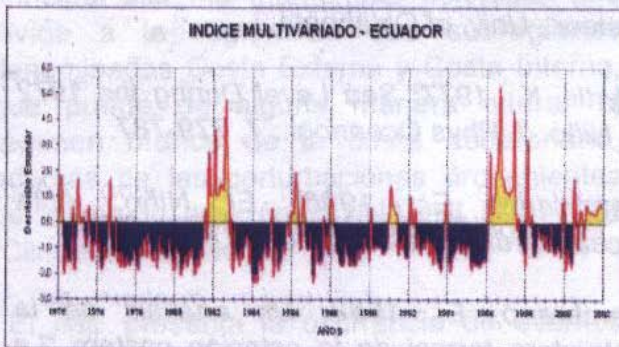


Figura 3. Índice Multivariado - Ecuador

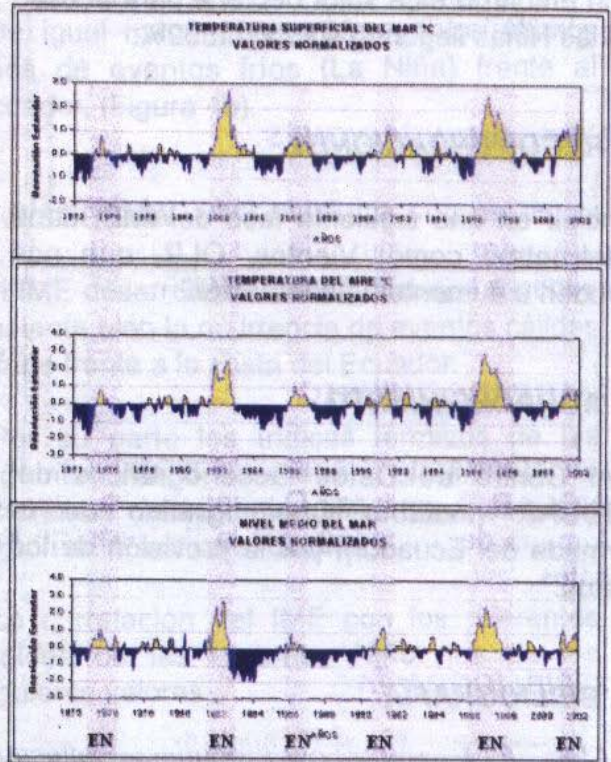


Figura 2a. Valores normalizados de Temperatura del Mar, Temperatura del Aire y Nivel Medio del Mar

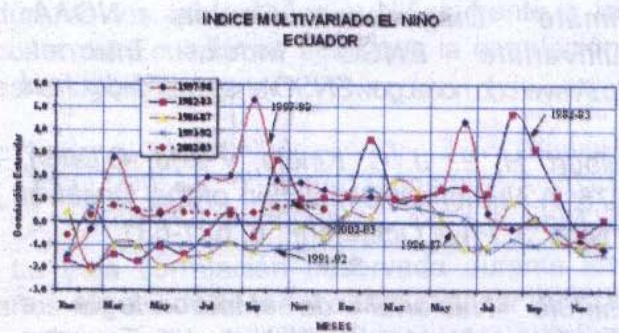


Figura 4a. Índice Multivariado - Años Niño

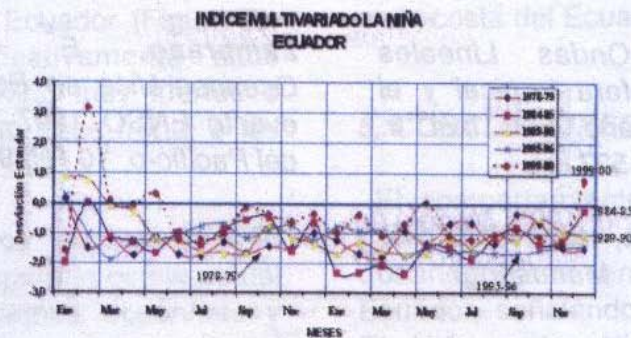


Figura 4b. Índice Multivariado - Años Niña