

## Variabilidad y cambio climático en algunos parámetros sobre Costa Rica y su relación con fenómenos de escala sinóptica y planetaria

Eric Alfaro y Jorge A. Amador<sup>1</sup>

*Centro de Investigaciones Geofísicas y Escuela de Física  
Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica*

(Recibido 2 enero 1977, aceptado 4 abril 1977)

### ABSTRACT

This study complements previous work by the authors about several aspects on climate change and variability in Costa Rica. Time series of monthly mean values of maximum temperature and sunshine during the last decades are analyzed for several stations in Costa Rica, to identify signals with periods in the order of two years or greater, that can be associated, to manifestations of synoptic and planetary scale of both oceanic and atmospheric phenomena. In this work some stations not analyzed before are used, their period of analysis is extended in relation to those of previous works and the behaviour of an additional important parameter such as the global radiation is studied. The series are firstly deseasonalized and then smoothed to reduce the contribution of less than 12 month components, approximately. For the study, moving average and Fourier analysis techniques are used. Maximum temperature series present climatic fluctuations in the order of 0.5 to 1°C that could be associated to the warm episodes of El Niño-Southern Oscillation (ENSO). Although global radiation and sunshine show some degree of consistency with those of the maximum temperature during some ENSO events, its behaviour is not clear. A further detailed analysis of these two parameters is required since they in general, do not show as expected, temporal coherence. In all analyzed stations, maximum temperature exhibits a positive trend in the order of 0.5° C during the last three or four decades that is consistent with previous results for others stations in the country and with the idea of a regional warming.

### 1. Introducción

Trabajos anteriores sobre aspectos varios de variabilidad y cambio climático en Costa Rica, como los de Alfaro y Amador (1996) y Amador y Alfaro (1996), plantean la necesidad de verificar y extender algunos de los resultados obtenidos a series de tiempo más largas y con la incorporación de otros parámetros climatológicos sobre la región.

El propósito de este trabajo es entonces, extender esos estudios a otras estaciones y períodos e identificar y analizar la relación entre la variabilidad y el cambio a largo plazo en algunos parámetros climatológicos en el país y fenómenos meteorológicos de escala sinóptica y planetaria, mediante el análisis de las propiedades de algunas series de tiempo de estas variables. La razón para estudiar esta relación es la de proveer información básica para el estudio del impacto de estos fenómenos en las distintas actividades del hombre.

<sup>1</sup>Corresponding author address: Dr. Jorge A. Amador, Centro de Investigaciones Geofísicas, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. E-mail: jamador@cariari.ucr.ac.cr

Al igual que en los trabajos citados, se pretende en este estudio como aspecto específico, analizar la relación entre la distribución temporal y espacial de la temperatura máxima, brillo solar y la radiación global (no analizada anteriormente) en Costa Rica y las características de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y discutir la tendencia lineal de estos parámetros en el contexto del concepto del cambio climático regional.

## 2. El Niño-Oscilación del Sur (ENOS)

El Niño es una corriente cálida que modifica la temperatura superficial del mar usualmente durante los primeros días del año. El calentamiento no trasciende la zona septentrional del Perú y suele terminar en marzo o abril. Esta corriente, no permite que el agua fría, que es rica en fosfatos y nitratos, aflore de las profundidades y alimente el fitoplancton que mantiene la población de cupleidos sobre las costas peruanas (Ramage, 1986). Algunas veces cuando esta corriente es más intensa que lo normal, penetra más al sur y se asocia con fuertes lluvias en esta región. Estos años eran conocidos en Sur América como años de la abundancia. No fue sino hasta la pasada década de los sesenta que los oceanógrafos notaron que la extensión superficial de agua caliente cercana a la costa de Perú durante los años de la abundancia, comprendía miles de kilómetros mar adentro y era sólo un aspecto de las múltiples condiciones inusuales del océano Pacífico (Philander, 1990).

Separadamente, Walker y Hildebrandsson (Philander, 1990) estudiaron durante las últimas décadas del siglo XIX, los cambios en el patrón de vientos en superficie y los llamaron el fracaso del monzón. Se cree que desconocían lo relativo a los años de la abundancia del Perú. Ambos científicos notaron una fluctuación interanual en el campo de la presión y hallaron un desfase en dicho campo sobre distintos puntos de la Tierra. En sus propias palabras, citadas por Philander (1990): "Cuando la presión es alta en el océano Pacífico, ésta tiende a ser baja en el océano Indico de Africa a Australia". También notaron que la presión sobre Sydney, Australia, estaba fuera de fase con la de Buenos Aires, Argentina, con un período de

aproximadamente 3.8 años. En el estudio, se encontró que estadísticamente esta fluctuación estaba correlacionada con cambios en distintas variables de estaciones alrededor del mundo. A esta oscilación se le llama la Oscilación del Sur (OS).

Posteriormente, Walker definió el Índice de Oscilación del Sur (IOS) restando la presión en el Pacífico Occidental de la presión en el Pacífico Oriental. El IOS es positivo cuando la diferencia de presión entre este y oeste es más alta de lo normal y negativo cuando es inferior de lo habitual. El índice IOS es un indicador que toma como referencia, la diferencia media mensual de presión en superficie entre Tahití y Darwin y la anomalía se normaliza utilizando la desviación estándar de la muestra (Ropelewski y Jones, 1987).

El Niño es la fase de la OS, donde los vientos alisios son débiles y la presión es baja sobre el Pacífico Tropical Este y alta sobre el Oeste. El término "La Niña" representa la fase opuesta a la anterior de la OS, en donde las temperaturas de la superficie marina son relativamente bajas sobre el Pacífico Tropical Central y Este y los vientos alisios son relativamente intensos. La escala temporal de la OS es del orden de los tres años aunque muy irregular, tanto que si se toman distintos intervalos de tiempo, el período del pico espectral puede variar entre dos y diez años indicando, que los episodios de "El Niño" son más frecuentes en unas décadas que en otras. Al acople entre los factores climáticos y oceánicos se le denomina "El Niño-Oscilación del Sur" (ENOS). El incremento en la duración de la estación seca en Costa Rica descrito por Fernández y Ramírez (1991), es un ejemplo de esta interacción océano-atmósfera.

Las amplitudes de los diferentes episodios ENOS pueden variar significativamente, pero las fases de esos episodios pueden ser marcadamente similares (Rasmusson y Carpenter, 1982). La idea de estudiar el ENOS como un oscilador natural, esto es, como un sistema de variaciones e interacciones entre el océano y la atmósfera fue planteado primero por Wright (1985), ampliado por Enfield (1989) y adoptado y resumido por Mann y Lazier (1991). El planteamiento básico es que un oscilador requiere de un mecanismo que haga crecer las inestabilidades pequeñas (retroalimentación positiva) y de mecanismos que eventualmente amortiguen la

inestabilidad (retroalimentación negativa).

Pensando en ENOS como un oscilador, se resume su evolución en 7 pasos principales:

- 1) El decrecimiento de los vientos alisios en el Pacífico Central causa un relajamiento en la inclinación este-oeste de la termoclina, levantándola en el oeste y hundiéndola en el este;
- 2) el incremento de profundidad de la termoclina en el este lleva a un incremento en la temperatura superficial del mar (tsm) y a un incremento en el tamaño e intensidad de la zona de convección atmosférica, la cual se mueve hacia el este;
- 3) el decrecimiento en los vientos alisios (en algunos casos con inversión) en el Pacífico Oeste, produce circulación ciclónica (contra las manecillas del reloj en el hemisferio norte) en la atmósfera sobre ambos lados del ecuador y ésta conduce a un levantamiento en la termoclina debido a un incremento de la succión de tipo Ekman;
- 4) estas regiones de termoclina somera generan ondas de Rossby baroclínicas las cuales, se propagan hacia el oeste a aproximadamente  $0.5 \text{ ms}^{-1}$  en el ecuador, pero a aproximadamente  $0.1 \text{ ms}^{-1}$  a  $12^\circ$  de latitud;
- 5) cuando las ondas Rossby alcanzan el borde oeste transfieren su energía a las ondas Kelvin, las cuales transportan la termoclina somera hacia el ecuador y luego hacia el este a lo largo del ecuador;
- 6) la termoclina somera a lo largo del ecuador permite a la surgencia ecuatorial alcanzar las aguas más frías debajo de la termoclina y esto hace decrecer la tsm en el este a lo largo del ecuador y
- 7) la superficie fría tiende a inhibir la convección atmosférica, la cual retrocede hacia el oeste y lleva a un incremento de los vientos alisios, regresando a su condición inicial.

CUADRO 1. Localización de las estaciones, parámetros analizados y períodos de estudio considerados en este trabajo para el cálculo de los valores medios; la (N) : latitud Norte ; lo (W) : longitud Oeste ; el m : elevación (metros sobre el nivel del mar) ;  $T_{\text{max}}$  : temperatura máxima ; I : brillo solar ;  $R_g$  : radiación global..

Estación	la (N)	lo (W)	el m	$T_{\text{max}}$	I	$R_g$
Limón	10°00'	83°03'	5	61-90	69-89	70-89
Liberia	10°36'	85°32'	85	49-90	68-90	70-76
Palmar Sur	08°57'	83°28'	16	61-90	74-89	74-89
Fabio Baudrit	10°01'	84°16'	840	62-90	62-89	64-88

CUADRO 2. Períodos utilizados en el estudio (nótese que en algunos casos este período es diferente que el utilizado para calcular los valores medios del Cuadro 1.).  $T_{\text{max}}$  : temperatura máxima ; I : brillo solar ;  $R_g$  : radiación global.

Estación	$T_{\text{max}}$	I	$R_g$
Limón	02/61-03/91	02/69-06/90	09/69-12/89
Liberia	05/49-12/90	10/67-12/90	09/69-12/89
Palmar Sur	01/61-10/90	07/73-05/90	09/73-12/89
Fabio Baudrit	01/62-12/90	07/61-03/90	04/63-07/89

Por lo general, los vientos alisios sobre el Pacífico Tropical Este son fuertes. Esto lo relaciona Philander (1990), con bajas temperaturas de la superficie del mar en el Océano Tropical Atlántico que también presenta una variación interanual. Esta variación incrementa la subsidencia y reduce la lluvia sobre una vasta región del Amazonas, como una fuerte influencia del fenómeno de "El Niño", pues de 17 episodios entre 1906 y 1985, 16 coincidieron con años relativamente secos en esa región (Ropelewski y Halpert, 1987).

Mucha de la variación interanual sobre el océano Atlántico parece ser independiente de la OS puesto que la correlación entre la precipitación de esta región y el IOS es baja. Variaciones de la presión en el Atlántico Tropical tienen el mismo signo en ambos lados del océano y son relativamente uniformes en la dirección este-oeste. Esta variación está relacionada con un desplazamiento meridional de la ZCIT (Zona de Convergencia Intertropical), pero carece de un desplazamiento este-oeste de la ZCIT, lo que la hace básicamente antisimétrica sobre el ecuador. Las amplitudes de estas fluctuaciones son generalmente modestas comparadas con el ciclo estacional. En un ciclo estacional regular, la ZCIT comienza su traslación hacia el norte en abril o mayo cuando la temperatura de la superficie del mar comienza a descender y los vientos alisios se intensifican sobre el Atlántico. Cuando se presenta un episodio frío y seco en el Atlántico, la ZCIT inicia su movimiento hacia el norte en febrero. En un episodio caliente y húmedo, la ZCIT no inicia su viaje hacia el norte sino hasta en mayo-junio, lo que podría retardar la entrada de la estación lluviosa en Costa Rica.

Según Gray (1988), la presencia o ausencia de un evento ENOS en el Pacífico Tropical Este, afecta la frecuencia de huracanes en el Atlántico. Los años

en los que ocurre un evento ENOS fuerte o moderado presentan en promedio un 40% menos de ciclones tropicales, comparado con aquellos años en los que no se manifiesta un ENOS. Lo anterior, está relacionado con fuertes vientos del oeste en la troposfera alta (200 hPa), los cuales ocurren sobre el Caribe y el Atlántico del oeste durante un evento ENOS. Gray (1988), menciona que es importante un acople con las anomalías experimentadas en el océano Atlántico para que la ZCIT se mantenga más al sur de su posición habitual y resulte en una anomalía positiva de la presión del nivel del mar sobre el océano Atlántico.

### 3. Datos y Método

Los datos utilizados fueron obtenidos del Instituto Meteorológico Nacional (IMN). La información acerca de las estaciones y los períodos utilizados en el estudio se muestra en los Cuadros 1 y 2. Las áreas analizadas comprenden las regiones del Pacífico Norte y Sur, Valle Central y Atlántico. Las regiones para las que se realizó el análisis son las mismas que para Alfaro y Amador (1996), pero usando series de temperatura máxima para períodos de 3 décadas o mayores e incluyendo datos de estaciones no usadas anteriormente tanto para la temperatura máxima y el brillo solar, como datos no analizados en otros trabajos como los de radiación global.

Se usaron valores mensuales medios para los parámetros en superficie de temperatura máxima, brillo solar y radiación global. En general la información suministrada por el IMN no mostró irregularidades importantes respecto a los datos de temperatura máxima y brillo solar. Los datos de radiación fueron analizados de acuerdo a la información suministrada por el IMN y un estudio realizado por Castro (1986). En este último trabajo se recomiendan múltiples correcciones a los registros originales de radiación global, debido a la descalibración de los actinógrafos. Estas correcciones fueron tomadas en cuenta en el presente estudio.

El procedimiento y los métodos empleados han sido descritos en detalle por Alfaro (1993) y Alfaro y Amador (1996).

### 4. Discusión de resultados

Para analizar el comportamiento medio de las series durante un fenómeno ENOS se utiliza la notación -1, 0 y +1 para describir respectivamente los años anterior, durante y posterior al evento ENOS, tal y como se define en Alfaro (1993). De acuerdo a Quinn et al. (1987), los años en que el fenómeno cálido ENOS ha sido considerado como muy intenso y que son de importancia para el presente estudio fueron: 1957-58, 1972-73 y 1982-83 y los años que presentaron un evento moderado fueron: 1951, 1953, 1965, 1976 y 1987. De acuerdo a Quinn et al. (1978), durante los años 1963, 1969 y 1975 se presentaron eventos cálidos ENOS débiles en el Pacífico.

#### 4.1 Temperatura Máxima

La estación estudiada para la región Atlántica corresponde a Limón y se presenta en la Figura 1. La estación de Limón (la cual es la de registro más largo en la zona Atlántica), presenta una serie temporal muy irregular, con dos subperíodos de tendencia positiva bien definidos. El análisis del espectro de frecuencia (Figura 2) muestra una señal fuerte en frecuencias bajas (aproximadamente 0.00533 ciclos/mes) asociadas a la tendencia de la serie. Cerca de los 0.0111 ciclos/mes, hay un pico que apenas se distingue del ruido, pero que podrían estar asociado a la ocurrencia media de eventos al menos moderados del ENOS. Una posible explicación a este comportamiento podría ser que la estación está cercana a la costa y está influenciada fuertemente por las variaciones interanuales en el Atlántico. El período cercano a los años 1982-83 es irregular para un evento ENOS pues se mantiene con valores positivos inclusive hasta finales de 1984, lo que concuerda con Philander (1990), sobre la ocurrencia de un evento interanual fuerte en el Atlántico.

La temperatura máxima del aire a nivel de superficie sobre la región del Pacífico y Valle Central mostró variaciones importantes y una influencia muy marcada de los eventos ENOS. En general las tendencias muestran un comportamiento positivo durante el año -1, máximos relativos

durante el año 0 y valores negativos durante el año +1. Las estaciones escogidas en esta región fueron Liberia (la de mayor registro en el presente estudio), Palmar Sur y Fabio Baudrit y se presentan en las Figuras 3, 4 y 5 respectivamente. Nótese que las escalas temporales de todas las estaciones han sido ajustadas, para propósitos de comparación, al de la estación con el máximo período disponible (Liberia).

La estación de Liberia (Figura 3) muestra marcadas tendencias hacia anomalías positivas durante la ocurrencia de fenómenos cálidos ENOS. El único año que se aleja un poco de este comportamiento es el año de 1953 para el cual la serie muestra anomalías negativas al principio del evento pero luego muestra un aumento significativo. Con el inicio del evento fuerte de 1957-58, se nota un fuerte calentamiento que parece extenderse hasta 1961.

La serie de Palmar Sur presenta una fuerte influencia de los fenómenos ENOS fuertes y moderados (Figura 4) con tendencia a valores anómalos positivos durante los años -1 y 0, conforme se desarrolla un evento caliente en el Pacífico y marcadas pendientes negativas durante el desarrollo del año +1. Además, se nota un fuerte calentamiento durante los años sesenta y durante los eventos cálidos ENOS. En su espectro (Figura 6) aparece un pico importante en 0.017 ciclos/mes lo cual, concuerda exactamente con la ocurrencia promedio del evento ENOS. El pico más importante en el espectro está relacionado con la tendencia decadal de la serie.

El patrón observado en la estación Fabio Baudrit (Figura 5), muestra las mismas características de anomalías positivas del régimen del Pacífico durante la ocurrencia de un evento ENOS. La primera señal del espectro de frecuencia (Figura 7) muestra un pico importante asociable a un calentamiento en la estación Fabio Baudrit. La ocurrencia del fenómeno ENOS, concuerda con los picos de frecuencia observados en la serie en 0.017 ciclos/mes, aunque de menor intensidad que en la estación de Palmar Sur, lo que podría sugerir menor influencia de los fenómenos del océano Pacífico en esta estación.

Si se comparan las amplitudes relativas de las anomalías asociadas a eventos cálidos ENOS en las

estaciones analizadas (Figuras 1, 3, 4 y 5) se observa una mayor influencia de El Niño en las localizadas en las regiones del Pacífico comparada con las localizadas en el Valle Central y el Atlántico.

## 4.2 Brillo Solar

La estación de Limón (Figura 8), presenta durante los eventos ENOS de los años 72-73 y 82-83, anomalías positivas antes del inicio o durante el desarrollo del fenómeno, aunque el evento del 82-83, presenta un comportamiento anómalo. Los eventos del 75, 76 y 87 se asocian a un período de anomalías negativas. Otros mínimos relativos importantes son observados durante los años 70 y 80 y máximos relativos durante los años 78-79 y 84-85, los cuales, no son años de eventos cálidos de ENOS.

La estación de Liberia (Figura 9) presenta una marcada tendencia positiva durante todo el registro. Las mayores anomalías positivas se registran previamente o durante los eventos ENOS del 72-73, 76, 82-83 y 87. Cabe destacar que la década 1980-1990 se mantiene en general con anomalías positivas. Un fuerte pico se localiza al final de la serie durante los años 89 y 90 con una amplitud comparable a las de otras anomalías de brillo solar durante períodos ENOS. Se hace notar que condiciones de un prolongado episodio cálido ENOS dominaron el Pacífico tropical precisamente a partir de 1990.

La serie de la estación de Palmar Sur tiende hacia anomalías importantes positivas de poco menos de una hora de amplitud media durante los eventos ENOS del 76 y 82-83 (Figura 10), que coinciden con la ocurrencia de un fenómeno cálido ENOS. También se registra una anomalía importante durante el año 1989, lo que parece ser consistente con lo encontrado en Liberia (Figura 9).

La estación Fabio Baudrit (Figura 11) muestra una marcada tendencia positiva, además de una razonable concordancia de anomalías positivas con los eventos ENOS en los años 65, 72-73, 76, 82-83 y 87. También se muestran valores positivos de similar amplitud para los años 62, 68, 84 y 89 los cuales no se asocian a años de evento cálido ENOS.

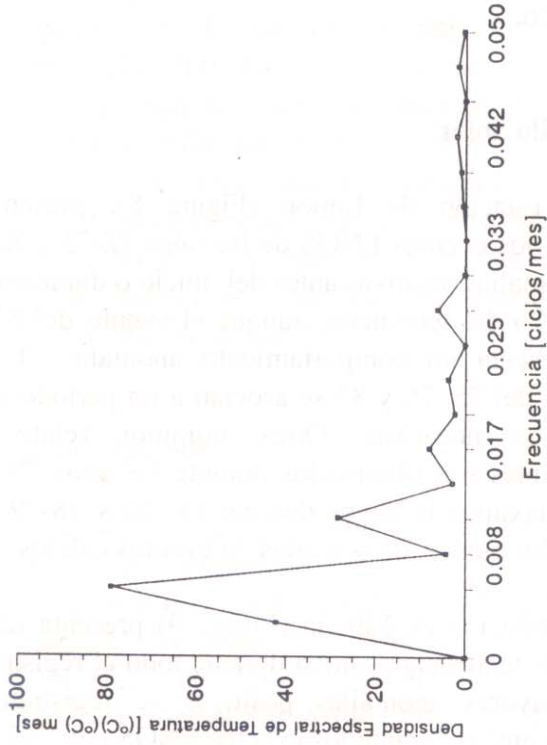


Fig. 2. Densidad espectral de temperatura para Limón, 1961-91.

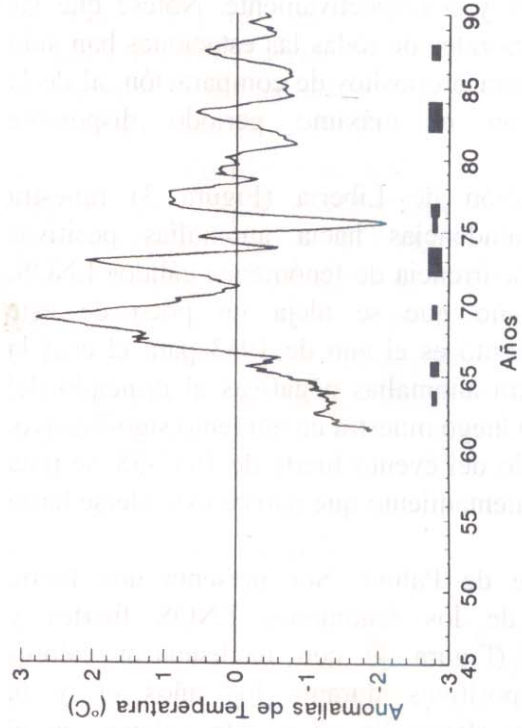


Fig. 4. Anomalías de Temperatura Máxima para Palmar Sur, 1961-90. Los años de evento cálido de ENOS débiles, moderados y fuertes-muy fuertes de acuerdo a Quinn et al. (1987), se han marcado respectivamente con una línea fina, mediana y gruesa horizontal.

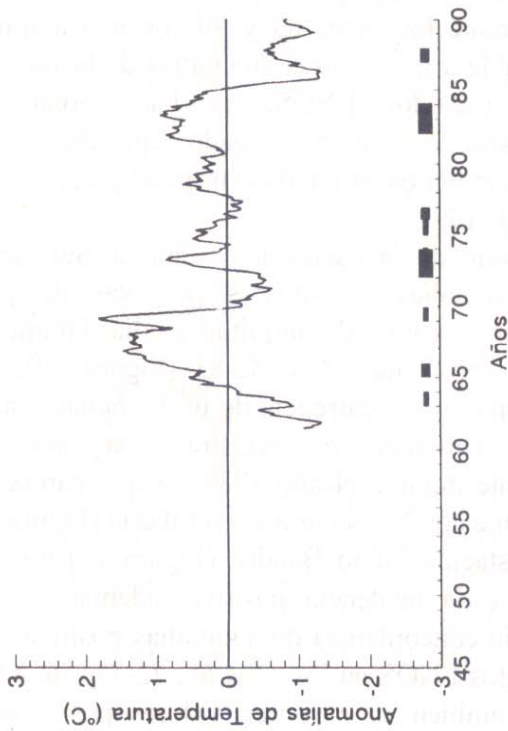


Fig. 1. Anomalías de Temperatura Máxima para Limón, 1961-90. Los años de evento cálido de ENOS débiles, moderados y fuertes-muy fuertes de acuerdo a Quinn et al. (1987), se han marcado respectivamente con una línea fina, mediana y gruesa horizontal.

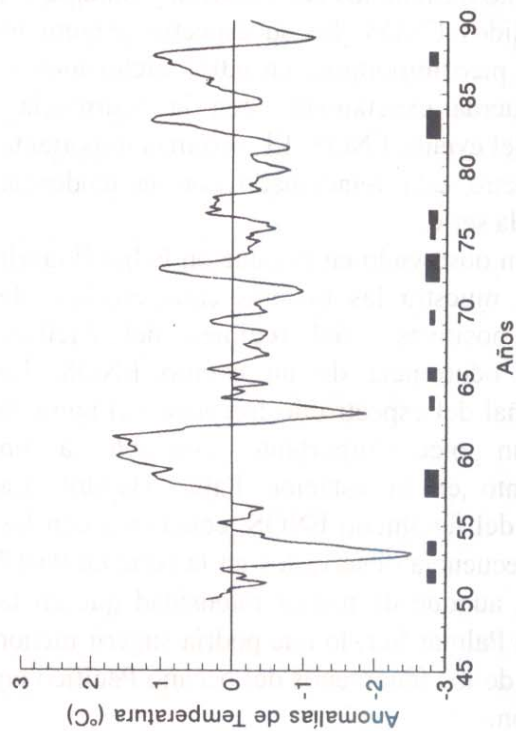


Fig. 3. Anomalías de Temperatura Máxima para Liberia, 1949-90. Los años de evento cálido de ENOS débiles, moderados y fuertes-muy fuertes de acuerdo a Quinn et al. (1987), se han marcado respectivamente con una línea fina, mediana y gruesa horizontal.

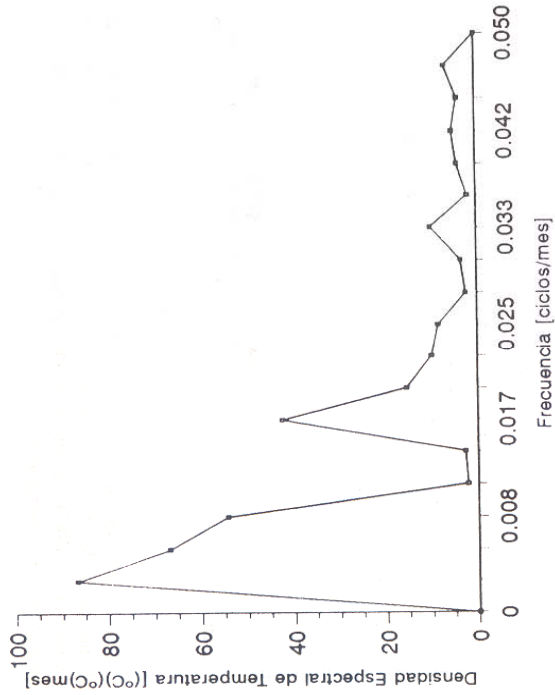


Fig. 6. Densidad espectral de temperatura para Palmar Sur, 1961-90.

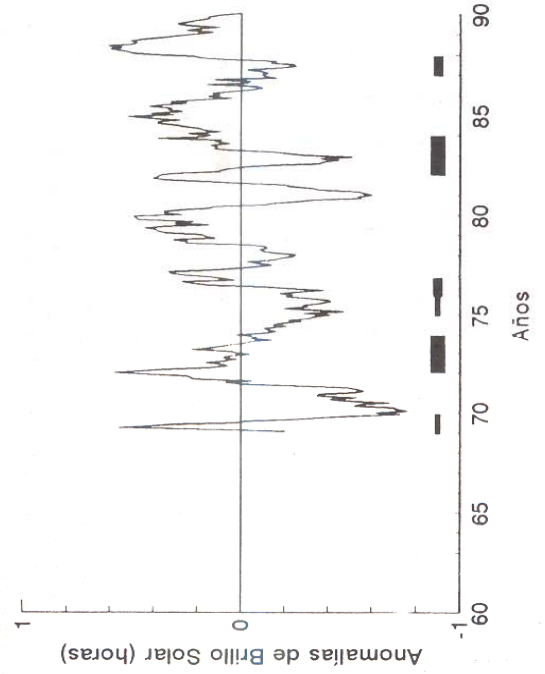


Fig. 8. Anomalías de Brillo Solar para Limón, 1969-90. Los años de evento cálido de ENOS débiles, moderados y fuertes-muy fuertes de acuerdo a Quinn

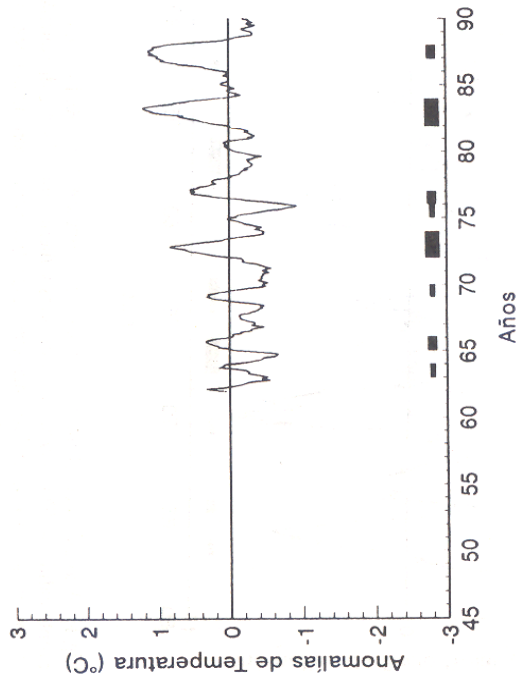


Fig. 5. Anomalías de Temperatura Máxima para Fabio Baudrit, 1962-90. Los años de evento cálido de ENOS débiles, moderados y fuertes-muy fuertes de acuerdo a Quinn et al. (1987), se han marcado respectivamente con una línea fina, mediana y gruesa horizontal.

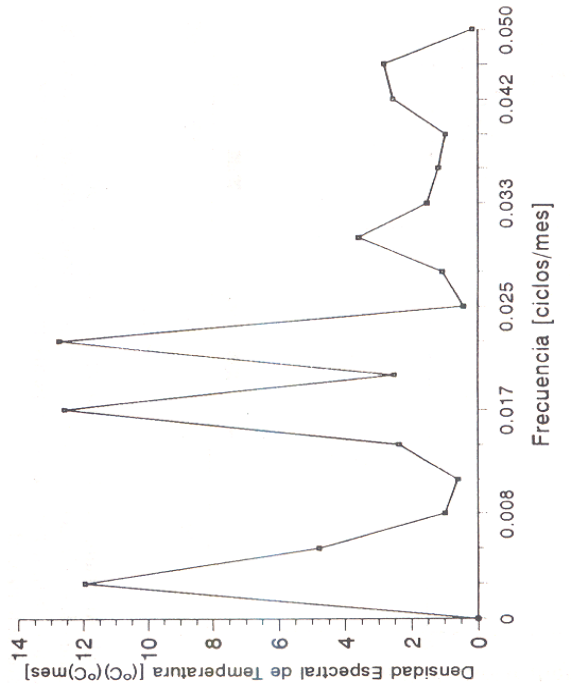


Fig. 7. Densidad espectral de temperatura para Fabio Baudrit, 1962-90.

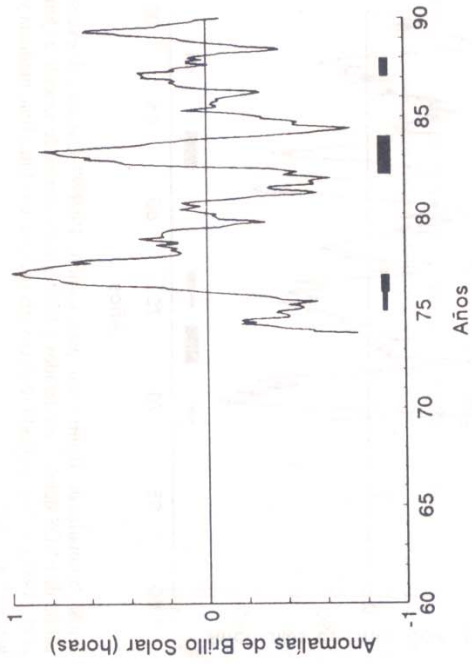


Fig.10. Anomalías de Brillo Solar para Palmar Sur, 1973-90. Los años de evento cálido de ENOS débiles, moderados y fuertes-muy fuertes de acuerdo a Quinn et al. (1987), se han marcado respectivamente con una línea fina, mediana y gruesa horizontal.

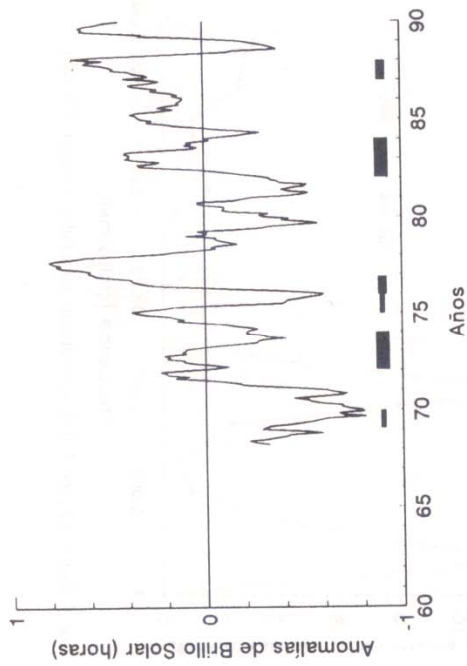


Fig.9. Anomalías de Brillo Solar para Liberia, 1967-90. Los años de evento cálido de ENOS débiles, moderados y fuertes-muy fuertes de acuerdo a Quinn et al. (1987), se han marcado respectivamente con una línea fina, mediana y gruesa horizontal.

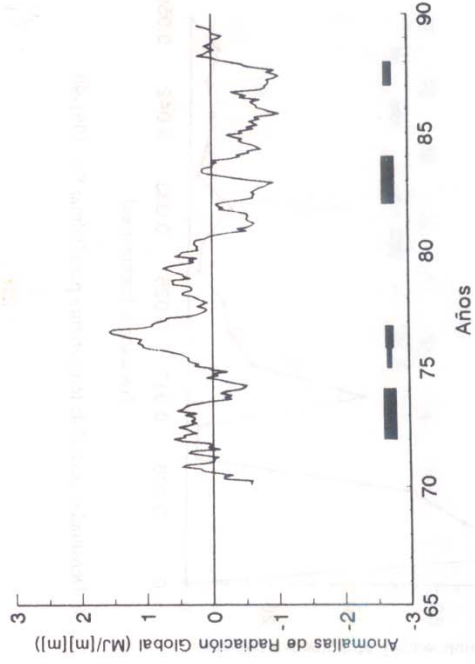


Fig.12. Anomalías de Radiación Global Limón, 1969-90. Los años de evento cálido de ENOS débiles, moderados y fuertes-muy fuertes de acuerdo a Quinn et al. (1987), se han marcado respectivamente con una línea fina, mediana y gruesa horizontal.

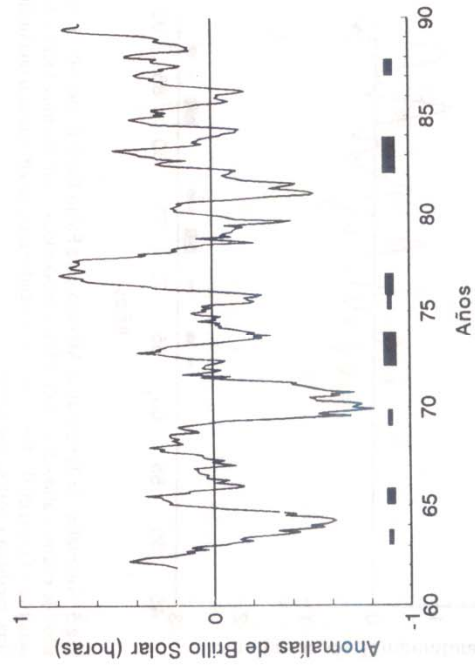


Fig.11. Anomalías de Brillo Solar para Fabio Baudrit, 1961-90. Los años de evento cálido de ENOS débiles, moderados y fuertes-muy fuertes de acuerdo a Quinn et al. (1987), se han marcado respectivamente con una línea fina, mediana y gruesa horizontal.



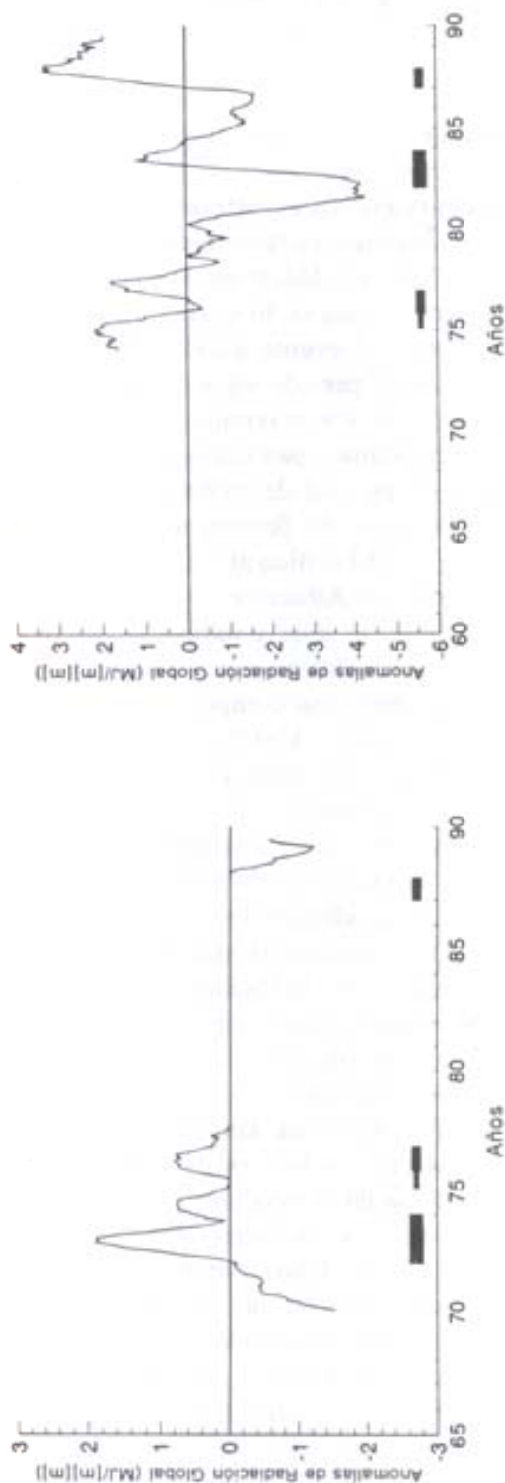


Fig.13 Anomalías de Radiación Global Liberia, 1969-90. Los años de evento cálido de ENOS débiles, moderados y fuertes-muy fuertes de acuerdo a Quinn et al. (1987), se han marcado respectivamente con una línea fina, mediana y gruesa horizontal

Fig.14 Anomalías de Radiación Global Palmar Sur, 1973-90. Los años de evento cálido de ENOS débiles, moderados y fuertes-muy fuertes de acuerdo a Quinn et al. (1987), se han marcado respectivamente con una línea fina, mediana y gruesa horizontal

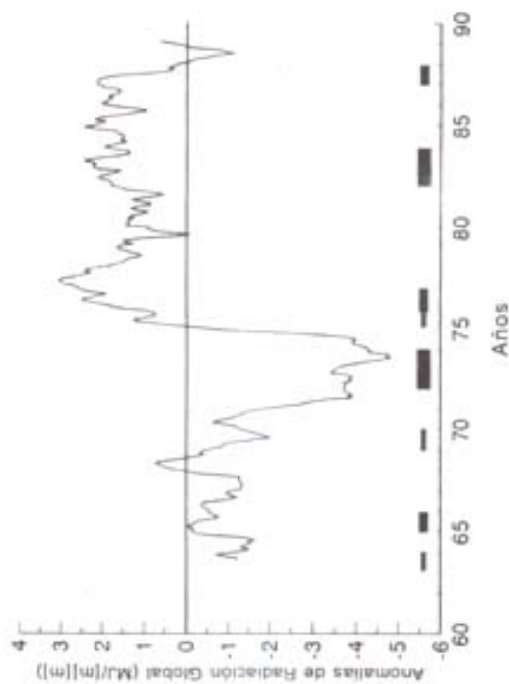


Fig.15 Anomalías de Radiación Global Fabio Baudrit, 1963-90. Los años de evento cálido de ENOS débiles, moderados y fuertes-muy fuertes de acuerdo a Quinn et al. (1987), se han marcado respectivamente con una línea fina, mediana y gruesa horizontal

Nuevamente, como en el caso de la temperatura, las mayores anomalías positivas de brillo solar asociadas a eventos cálidos ENOS se encuentran en las estaciones localizadas en el Pacífico. Aparentemente, la amplitud de las anomalías decrece desde el Pacífico al Atlántico sugiriendo, una influencia mayor del ENOS en regiones del Pacífico comparadas con las del Valle Central y el Atlántico.

### 4.3 Radiación Global

El comportamiento de los datos es muy poco coherente en Limón entre eventos ENOS (Figura 12). Los eventos de los años 72-73 y 76 muestran anomalías positivas importantes y temporalmente significativas, pero los años del 82-83 y 87 presentan anomalías temporalmente importantes pero negativas. La razón de este comportamiento no es clara y merece un estudio posterior. Si se compara la Figura 12 con la Figura 8 de anomalías de brillo solar para la misma estación de Limón, no existe coherencia entre el comportamiento de estos dos parámetros a los cuales se asocia frecuentemente una buena correlación. De acuerdo a lo analizado por Castro (1986), se presentaron importantes errores de calibración en el instrumental para medición de la radiación global y se podría presumir que en este caso los valores de brillo solar reflejan mejor la situación media asociada a la radiación solar incidente sobre la región.

La estación de Liberia (Figura 13) tiene una importante interrupción de su registro del año 77 hasta el año 88. Aún con esa limitación en la serie, se notan varios eventos positivos de bastante amplitud durante los años de 72-73 y 76. Durante los años 70 y 89 se presentaron anomalías negativas importantes.

La estación de Palmar Sur (Figura 14) muestra una inclinación muy marcada hacia valores positivos durante la ocurrencia de los eventos ENOS del 76, 82-83 y 87.

Por último, durante los eventos ENOS del 65, 72-73, 76, 82-83 y 87 la serie de la estación Fabio Baudrit (Figura 15) presenta marcadas irregularidades, en especial durante el intenso evento del 82-83 con mínimos absolutos de

anomalías de radiación global. Se puede destacar que en la serie se observan máximos relativos de la misma amplitud que para algunos casos anteriores sin que se tenga registro de un evento ENOS en el Pacífico.

### 5. Conclusiones

En general los análisis espectrales de la anomalía de temperatura máxima mostraron una señal, que en promedio se sitúa alrededor de la frecuencia de 0.017 ciclos/mes (~5 años), lo cual coincidió con la ocurrencia media del evento cálido ENOS en el Pacífico, durante el período de estudio. El ENOS fué coincidente con los máximos relativos en las series. Las fluctuaciones asociadas a la fase cálida de ENOS son en general del orden de 0.5 a 1 °C durante la ocurrencia del fenómeno y disminuyen conforme se pasa del Pacífico al Valle Intermontano y de éste a la vertiente Atlántica.

Las series de brillo solar y radiación global son, en general, consistentes con las series de temperatura en cuanto a su comportamiento durante algunos de los eventos ENOS, pero en algunos casos su evolución es marcadamente diferente. Estos dos parámetros no muestran un comportamiento temporal coherente y se presume que los valores de radiación global podrían contener errores importantes, además de los analizados por Castro (1986). Para analizar la influencia del ENOS y otros fenómenos, como la Oscilación del Atlántico Norte (OAN), sobre dichas series de tiempo, se requiere un análisis futuro y la incorporación de otras estaciones de la región.

La señal que relaciona las anomalías de los parámetros analizados y los eventos cálidos ENOS se notó más intensa en la estación de Palmar Sur en el Pacífico, disminuye de intensidad en la Fabio Baudrit en el Valle Intermontano Central y se volvió casi inexistente en la estación de Limón (estación costera en el mar Caribe), lo que sugiere, alguna influencia del Océano Atlántico sobre las series de anomalías climáticas en la región. Al respecto y como fuera discutido por Amador y Alfaro (1996), las relaciones de fase entre el ENOS, la OAN y la distribución espacio-temporal de otros parámetros regionales como la temperatura

superficial del mar en el Atlántico podrían jugar un importante papel en la modulación del clima regional en las escalas estacionales e interanuales cortas.

Las series más largas de temperatura mostraron una tendencia lineal positiva. Esto sugiere, que las series de Limón, Fabio Baudrit, Palmar Sur y Liberia se comportaron de acuerdo a lo que se ha estudiado global y regionalmente y concuerdan con el comportamiento de otras series para Costa Rica (Alfaro y Amador, 1996). La tendencia encontrada corresponde aproximadamente a  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante las últimas tres o cuatro décadas. Este comportamiento ha sido asociado al posible efecto regional de un calentamiento global. Según Wigley y Santer (1993), para la región del Caribe los Modelos de Circulación General proyectan un calentamiento general de  $1$  a  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  para el período entre los años 2040 y 2060.

El análisis realizado en este trabajo sugiere finalmente, que de la radiación, el brillo solar y la temperatura máxima, esta última es el parámetro más sensible a la variabilidad climática asociada al ENOS y que su comportamiento decadal es consistente con la idea de un calentamiento regional.

### Agradecimientos

El agradecimiento de los autores al Centro de Investigaciones Geofísicas, a la Escuela de Física y a la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica por su apoyo mediante el proyecto VI-805-94-204. Al Instituto Meteorológico Nacional por la información meteorológica facilitada para este estudio. A F. J. Soley por sus comentarios y sugerencias. A Ruth Corrales por la digitación de los datos y a Zaida Umaña por su ayuda en la elaboración del manuscrito. A Mónica Chang, Randall Madrigal e Ileana Mora por su asistencia en la digitación y elaboración de figuras y material para este trabajo.

### RESUMEN

Este estudio complementa trabajos anteriores de los autores acerca de aspectos varios sobre variabilidad y cambio climático en Costa Rica. Series temporales de las últimas décadas de valores medios mensuales de temperatura máxima y brillo solar son analizadas para varias

estaciones en Costa Rica para identificar señales con períodos del orden de los dos años o mayores y relacionarlas con manifestaciones de fenómenos atmosféricos y oceánicos de escala sinóptica y planetaria. En este trabajo se utilizan estaciones no analizadas antes, se extienden las longitudes de las series usadas en relación con las de trabajos anteriores y se estudia el comportamiento de un parámetro adicional importante como es la radiación global. Las series son primero desestacionalizadas y luego suavizadas para disminuir la contribución de componentes menores a los 12 meses aproximadamente. Para el estudio se usan las técnicas de promedios móviles y el análisis de Fourier. Las series de temperatura presentan fluctuaciones climáticas del orden de  $0.5^{\circ}$  a  $1^{\circ}\text{C}$  que podrían estar asociadas a las fases cálidas del fenómeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). Aunque la radiación global y el brillo solar muestran cierto grado de consistencia con los resultados de la temperatura máxima durante algunos eventos ENOS, su comportamiento no es claro. Al respecto, se requiere un análisis posterior más detallado ya que estos dos parámetros, no muestran en general, un comportamiento temporal coherente entre ellos como se esperaba. En todas las estaciones analizadas, la temperatura exhibe una tendencia positiva del orden de  $0.5^{\circ}\text{C}$  en las últimas tres o cuatro décadas consistente con los resultados de trabajos anteriores para otras estaciones en el país y con la idea de un calentamiento regional.

### Referencias

- Alfaro, E., 1993. Algunos aspectos del clima en Costa Rica en las últimas décadas y su relación con fenómenos de escala sinóptica y planetaria. Tesis de Grado. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Alfaro, E. y J. A. Amador, 1996. El Niño-Oscilación del Sur y algunas series de temperatura máxima y brillo solar en Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 3(1): 19-26.
- Amador, J. A. y E. Alfaro, 1996. La Oscilación Cuasi-bienal, ENOS y acoplamiento de algunos parámetros superficiales y estratosféricos sobre Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 3(1): 45-53.
- Castro, V., 1986. Radiación solar global en Costa Rica. Nota de investigación No.6: Instituto Meteorológico Nacional, Ministerio de Agricultura y Ganadería. 30pp.
- Enfield, D., 1989. El Niño, past and present. *Reviews of Geophysics*, 27(1): 159-187.
- Fernández, W. y P. Ramírez, 1991. El Niño, La Oscilación del Sur y sus efectos en Costa Rica: una revisión. *Tecnología En Marcha*, 11 (1): 3-10.
- Gray, W., 1988. Tenth annual national hurricane conference. Background for assessment of expected seasonal atlantic hurricane activity for 1988. Atlanta, U.S.A.
- Mann, K. y J. Lazier, 1991. *Dynamic of marine ecosystems*. Boston: Blackwell Scientific. 311pp.
- Philander, G., 1990. *El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation*. California: Academic Press. 293p.
- Quinn, W., D. Zopf, K. Short y R. Kuo Tang, 1978. Historical trends and statistics of the Southern Oscillation, El Niño, and the Indonesian

droughts. Fish. Bull., 76(3): 663-678.

Quinn, W., V. Neal y S. Antúnez, 1987. El Niño occurrences over the past four and a half centuries. J. Geophys. Res., 92(C13).

Ramage, 1986. El Niño. Scientific American. 254(6): 76-83.

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.

Ropelewski C. F. y M. S. Halpert, 1987. Global and regional scale precipitation associated with El Niño-Southern Oscillation. Mon. Wea.

Rev. 115: 1606-1626.

Ropelewski, C. y P. Jones, 1987. An extension of the Tahiti-Darwin Southern Oscillation Index. Mon. Wea. Rev., 115: 2161-2165.

Wigley, T. y B. Santer, 1993. Future climate of the Gulf/Caribbean basin from atmospheric general circulation models. En: Climatic change in the intra-americas sea. Maul, G., ed. Ed. Edward Arnold, N. Y. 389 p.

Wright, P., 1985. The Southern Oscillation: An ocean-atmosphere feedback system?. Bull. Amer. Met. Soc., 66: 398-412.