

Algunos aspectos relacionados con la Variabilidad Climática en la Isla del Coco, Costa Rica

Evelyn Quirós-Badilla¹ y Eric J. Alfaro²

¹ *Departamento de Meteorología Sinóptica y Aeronáutica, Instituto Meteorológico Nacional, Ministerio de Ambiente, Energía y Telecomunicaciones y Maestría en Hidrología, Programa de Posgrado en Ciencias de la Atmósfera, Universidad de Costa Rica. Tel. 2222-5616. (equiros@imn.ac.cr)*

² *Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), Escuela de Física y Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI), Universidad de Costa Rica. Tel. 2511-5096. (erick.alfaro@ucr.ac.cr)*

(Recibido: 05-Jun-2009. Publicado: 26-Oct-2009)

Resumen

Se recolectaron y analizaron los registros meteorológicos de las estaciones que han funcionado recientemente en la Isla del Coco (1979-2005), Costa Rica, localizada en el Pacífico Tropical Oriental. Dichos registros se compararon con series de tiempo de los puntos de rejilla más cercanos a la isla de diferentes bases de datos de precipitación y de temperatura elaborados con datos compilados de estaciones medidoras en superficie, estimados de percepción remota y de modelos numéricos. Se encontró que durante enero, febrero y marzo, se dan las más bajas precipitaciones y que una intensa estación lluviosa tiene lugar de abril a diciembre, dentro de la cual se logra apreciar un mínimo relativo en julio y agosto. También se observó que de enero a marzo las temperaturas son mayores, y relativamente menores de junio a diciembre. Los resultados encontrados muestran que eventos cálidos (fríos) del ENOS se relacionan con temporadas de lluvias o temperaturas superficiales por arriba (bajo) de lo normal en la Isla del Coco. Estas relaciones pueden ser útiles en predicción climática ya que el evento asociado al ENOS antecede a la precipitación o la temperatura.

Palabras clave: Isla del Coco, Pacífico Tropical Oriental, ENOS, Variabilidad Climática, América Central.

Abstract

Meteorological records from gauge stations that worked at the Isla del Coco (Coco's Island), Costa Rica, Eastern Tropical Pacific, were collected from 1979 to 2005. Those records were compared with time series of the grid points closest to the island obtained from different data bases. These data bases compile surface gauge stations, remote sensing and numerical modeling outputs. Records show that January, February and March reported the lowest precipitation accumulates, followed by an intense rainy season between April and December and a relative minimum in July-August. The warmest temperatures were observed from January to March, showing a small decrease from June to December. Results show that warm (cold) ENSO events tend to be associated with above (below) normal precipitation and temperature at Coco's Island. These relationships could be used in climate prediction, mainly because the ENSO event leads the rainfall/temperature ones.

Key words: *Coco's Island, Eastern Tropical Pacific, ENSO, Climate Variability, Central America.*

1. Introducción

La Isla del Coco, Costa Rica, se localiza en el Pacífico Tropical Oriental, a una distancia de aproximadamente 532 km al Suroeste del litoral Pacífico de Costa Rica, frente al Golfo de Panamá, entre los paralelos latitud Norte 5°30' y 5°34' y los meridianos 87°01' y 87°06' longitud Oeste (figura 1). El área terrestre de la isla es de 23,85 km², y 972,35 km² el área de ecosistemas marinos protegidos. Mide de largo 7,6 km, con un ancho de 4,4 km aproximadamente (Montoya, 2007).



Fig. 1: Ubicación geográfica de la Isla del Coco. Se incluye también la ubicación de los sitios en donde han funcionado estaciones meteorológicas en las Bahías Wafer y Chatham.

Debido a su tamaño, aislamiento, y estado de conservación, la Isla del Coco constituye uno de los sitios naturales privilegiados a nivel mundial. Con un endemismo importante y una diversidad biológica singular, la isla puede ser catalogada como un laboratorio natural ideal para realizar investigaciones sobre la evolución de las especies y el monitoreo del ambiente a largo plazo (Montoya, 2007). Los resultados de las investigaciones mismas podrían proporcionar importante información sobre la dinámica de los ecosistemas marinos del planeta y su relación con los cambios globales, ya que diferentes investigaciones han encontrado fuertes correlaciones en el comportamiento de especies marinas con las temperaturas del mar en el Pacífico, tal es el caso de la influencia que tiene el fenómeno del ENOS, en su fase cálida (El Niño), con abruptos aumentos o disminuciones de varias especies de tiburones. También las rayas se ven afectadas con una disminución en la densidad de la población alrededor de la isla durante un episodio de ENOS cálido, lo que podría ser consecuencia de verse afectado el arrecife y sus especies asociadas, según estudios de Sibaja-Cordero (2008). También el plancton se ve afectado por las anomalías cálidas importantes en las aguas marinas (Morales-Ramírez, 2008), lo cual altera las localizaciones de alimento para organismos como es el caso conocido de rayas, tiburones, tortugas y ballenas, entre muchos otros, que suelen desplazarse a otras áreas del planeta, tanto por sus ciclos migratorios naturales como por cambios en las condiciones oceánicas en la temperatura del mar y en su salinidad (esta última asociada a los patrones de lluvias más o menos intensos), ya que estos cambios atmosféricos y oceánicos repercuten en la distribución de alimentos de estas especies.

La mayor elevación de la Isla del Coco es el Cerro Iglesias, con una altura de 575,5 m.s.n.m. (Montoya, 2007; Malavassi, 1982), que es un volcán, pero sin actividad en su cono. La topografía de la isla es muy quebrada, la parte sur occidental de la isla abarca áreas de mucha pendiente, lo que da lugar a la formación de muchas cascadas. La costa es muy sinuosa, y tiene acantilados de hasta 183 m de altura. La parte septentrional de la isla es una llanura poco ondulada que casi alcanza el nivel del mar.

Abundan los ríos, quebradas y cascadas, los valles, los acantilados y los islotes. La isla cuenta con un sistema hidrográfico compuesto por tres cuencas, que tienen recorridos muy cortos y áreas de captación

muy reducidas, de aproximadamente 5 km. Debido a los altos volúmenes de precipitación pluvial que estas captan, se presentan frecuentes caídas de agua (Montoya 1990). Herrera (1985) concluye que el clima en la Isla del Coco depende muy fuertemente de los movimientos norte-sur de la Zona de Convergencia Inter-Tropical (ZCIT). Las lluvias intensas asociadas a la posición de la ZCIT que se manifiestan en la Isla del Coco, mantienen el balance hídrico de la isla, por lo que aún fenómenos como El Niño, no logran producir balances hídricos negativos, lo que permite que los suelos mantengan durante todo el año suficiente disponibilidad de agua (Montoya 1990).

Si bien es cierto que se cuenta con algunos estudios preliminares del clima de la Isla del Coco como los elaborados por Herrera (1985) y Fernández (1984), Montoya (2007) señala que por lo general la información meteorológica y climatológica de la Isla del Coco es parcial, fraccionada, con series de poca duración y de poca seguridad. Lo anteriormente señalado justifica y hace necesario retomar los datos y sus correspondientes análisis, para estudiar la variabilidad climática interanual en la Isla del Coco. Además los avances en tecnologías, como el uso de imágenes satelitales y nuevas y mejores salidas de modelos, hacen oportuna una nueva investigación de la variabilidad troposférica de la Isla del Coco por medio del uso de series de tiempo pertenecientes a distintas bases de datos geofísicas públicas. Se plantea entonces como el objetivo de este trabajo, el estudiar la relación estacional de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), con las variaciones de la precipitación y la temperatura superficial del mar, principalmente, en la región en donde se ubica la Isla del Coco (Costa Rica), en el Pacífico Tropical del Este.

Lo anterior es importante debido a que hay evidencia de que eventos fuertes del ENOS han afectado en forma importante uno de los ecosistemas más importantes de la Isla del Coco como son los arrecifes de coral (Guzmán y Cortés, 1992 y 2007). Por otro lado, Magrin *et al.* (2007) y Mimura *et al.* (2007) hacen notar que el Calentamiento Global podría estar influyendo en la temperatura de Isla del Coco, lo que implicaría posiblemente un incremento del riesgo para algunas especies de esta isla y el océano a su alrededor.

Es por ello que el plan estratégico Isla del Coco 2005-2010 (MINAE, 2005) señala que debe considerarse la ubicación de la isla como estratégica, ya que le confiere un altísimo potencial para la investigación oceanográfica y climática, con especial interés en el fenómeno El Niño. Lo anterior podría estar sustentado en que la Isla del Coco es uno de los pocos lugares costarricenses del Pacífico Ecuatorial del Este que ofrece las ventajas de poder establecer un observatorio de mediciones geofísicas para estudiar la variabilidad del ENOS. Agrega dicho plan que la investigación climática y oceanográfica aunada a la biológica permite el desarrollar también el entendimiento sobre las especies marinas que habitan o transitan en esta zona, sus poblaciones, ciclos reproductivos, ciclos de crecimiento, rutas y tiempo de migraciones, conocimientos imprescindibles para hacer una explotación racional de los recursos marinos, aumentando el potencial económico y garantizando la conservación de las especies y una mínima población que no la ponga en peligro de extinción.

1.1. Descripciones de los registros climáticos previos

Respecto a su descripción climática, en un trabajo reciente, Alfaro (2008) recolectó los registros meteorológicos de las estaciones que funcionaron en la Isla del Coco, pertenecientes a una estación meteorológica automática del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) y a dos pluviógrafos, uno del IMN y otro del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), para el periodo 1997-2005. También obtuvo las series de tiempo de diferentes registros históricos y de los puntos de rejilla más cercanos a la isla de distintas bases de datos geofísicas públicas.

En cuanto a la precipitación, Alfaro (2008) notó que entre el 72 y el 75 % de la precipitación acumulada anualmente se registra entre abril y octubre. Los valores promedio para los acumulados anuales fueron de 5137,8, 5206,4 y 4758,9 mm para los pluviógrafos del IMN, del ICE y la estación automática del IMN, respectivamente, con ámbitos de 2912,2-7363,4, 3954,3-6458,6 y 2983,9-6533,9 mm.

En un trabajo previo, Fernández (1984) utilizó datos de una estación semiautomática a 150 m.s.n.m y en otro sitio un pluviómetro a 5 m.s.n.m. La precipitación anual obtenida de la estación automática es de alrededor de 3600 mm mientras la correspondiente al pluviómetro es de alrededor de 6000 mm. A pesar de estas diferencias, la tendencia de las precipitaciones (figura 2) sí indican un comportamiento coherente, de donde se logra rescatar que durante enero, febrero y marzo se dan las más bajas precipitaciones, y que una intensa estación lluviosa tiene lugar de abril a diciembre, dentro de la cual se logra apreciar un mínimo relativo en julio y agosto. Fernández determinó que este mínimo coincidía con el periodo conocido como “veranillo” o “canícula” en Centroamérica (Magaña *et al.*, 1999), sin embargo resalta que aún su origen no es claro. Este resultado también fue encontrado en el análisis de Alfaro (2008). Agrega Fernández (1984) que las fuertes lluvias en la isla se deben a sistemas convectivos que tiene un carácter cuasi estacionario, de tres a cuatro horas de duración. Además, Alfaro (2008) mostró que el periodo de mayor precipitación se ubica principalmente en horas de la tarde. De la figura 2 podemos notar que los datos de la estación automática y del pluviómetro difieren en las cantidades de precipitación medidas. De ambas series la que mantiene un comportamiento más parecido a la calculada por Xie y Arkin (1996, 1997), es la del pluviómetro. Alfaro (2008) explica que las diferencias encontradas en la figura 2 para los registros de precipitación se podrían explicar al considerar que la precipitación en general presenta una variación tanto espacial como temporal muy alta y los conjuntos de datos con los cuales se obtuvieron los resultados para elaborar estas figuras pertenecen a distintos sensores, periodos de tiempo dispares y, además, de distinta escala espacial.

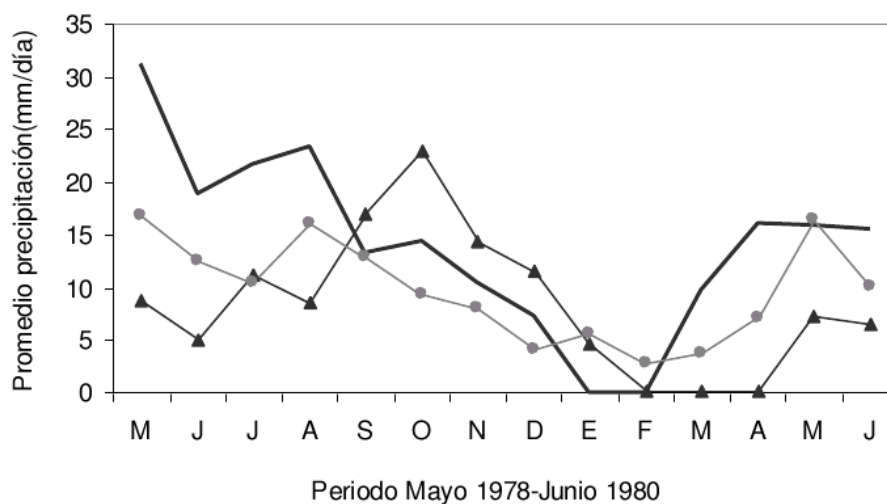


Fig. 2: Comparación de los datos de precipitación mostrados por Fernández (1984). La línea continua corresponde a los datos del pluviómetro; la línea con triángulos a la estación semi-automática; y la línea gris con círculos a la serie de Xie y Arkin (1996, 1997).

Alfaro (2008) describe que de abril a octubre, entre el 84 y el 87 % de los días registran precipitación en un mes determinado, y fueron los meses en donde se ubicaron los eventos máximos de precipitación acumulada en un solo día. El mes de mínima precipitación fue febrero, con valores acumulados entre los 100 y los 200 mm, y en el cual entre el 40 y el 50 % de los días presentan precipitación.

Por otro lado, al analizar los registros existentes de Temperatura Superficial del Aire (TSA) y del mar (TSM), Alfaro (2008) muestra que al comparar diferentes registros mensuales el bimestre del año más cálido fue el de marzo-abril, y las menores temperaturas se registraron durante el segundo semestre (julio-diciembre). El valor anual promedio de la temperatura en la estación automática del IMN fue de 24,6°C, lo que contrasta con el resto de los registros, en donde se observaron TSM anuales promedio entre los 27,7 y los 28,1°C. Esto coincide con lo reportado por Fernández (1984) para la temperatura del aire y del suelo, cuyos valores anuales promedio fueron de 23,6 y 25,5°C, respectivamente. El también

observó que en enero-marzo las temperaturas son mayores y relativamente menores que las de junio-diciembre, y agrega que los cambios en temperatura asociados a eventos de lluvias fuertes en la isla son muy pequeños, con disminuciones de alrededor de 1°C. En la figura 3 se muestra la comparación de los datos obtenidos por la estación semiautomática en el período de mayo 1979 a junio 1980, y se comparan con los datos de la serie de Magaña *et al.* (1999). La gráfica muestra cómo las temperaturas del aire en la isla, para la serie de Magaña *et al.*, son aproximadamente 5°C más altas que las registradas por la estación semiautomática, lo cual puede deberse a que en la reconstrucción hecha por Magaña *et al.* (1999), se le dio mayor peso a los valores de TSM (Alfaro 2008).

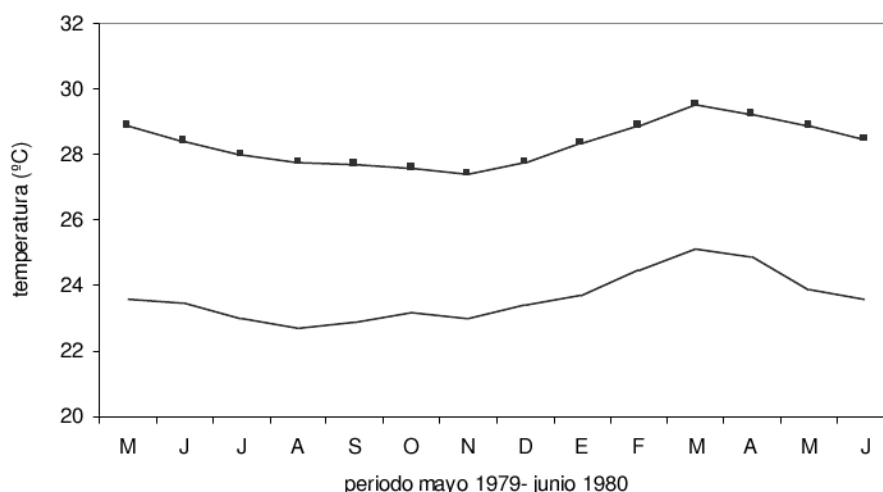


Fig. 3: Comparación de temperaturas del aire de Isla del Coco obtenidos por Fernández (1984), línea continua, y los de la serie de Magaña *et al.* (1999), línea con cuadros.

Alfaro (2008) y Fernández (1984) concluyeron que el viento en superficie se presenta con mayor intensidad en los meses de mayo-diciembre (principalmente septiembre, octubre y noviembre), manteniéndose con dirección suroeste prácticamente durante todo el año, y notaron que la Isla del Coco se encuentra en una zona de fuerte convergencia, y los valores de vorticidad cerca de la isla son relativamente bajos, siendo primero positivos entre enero y abril, y negativos entre abril y diciembre. De la figura 4 se logra apreciar que, para los meses de julio-agosto, cuando el viento zonal tiene mayor intensidad (valores negativos indican viento alisio) en el chorro de bajo nivel en el oeste del Caribe (Amador, 1998 y 2008), el viento en los niveles bajos en el área donde se ubica la isla tiene componente oeste, y se identifican anomalías positivas en la componente zonal, lo cual indica aumento de viento del oeste.

2. Datos y Metodología

Al igual que en Alfaro (2008), se recolectaron los registros meteorológicos de las estaciones que han funcionado recientemente en la Isla del Coco, Costa Rica. Mayores detalles sobre estos datos pueden ser consultados en dicho trabajo. Se recopiló los datos horarios de la estación meteorológica automática del IMN (05°33'N-87°03'W, del 30/08/1998 al 01/11/2002) y datos de dos pluviómetros, uno del IMN (05°32'46"N-87°02'42"W, del 01/05/1997 al 17/11/2004) y otro del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) (05°33'N-87°03'W, del 22/06/2002 al 07/07/2005).

También se obtuvieron las series de tiempo de los puntos de rejilla más cercanos a la isla de las bases de datos de precipitación y de temperatura compilados de estaciones medidoras en superficie, estimados de percepción remota y de modelos numéricos por la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM (Magaña *et al.*, 1999) de 01/1958 a 12/1998 (datos centrados en 5°30'N-87°00'W, de una rejilla de 0,5°x0,5°), de precipitación de Xie y Arkin (1996, 1997) de 01/1979 a 02/1999 (datos centrados en 6°15'N-86°15'W, de una rejilla de 2,5°x2,5°), y de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) de Da

Silva *et al.* (1994) de 01/1945 a 12/1993 (datos centrados en 5°30'N–87°30'W de una rejilla de 1°x1°) y de Kaplan *et al.* (1998) de 01/1949 a 08/2000 (datos centrados en 5°N–87°W, de una rejilla de 2°x2°). Cabe destacar que los datos de Da Silva *et al.* (1994) fueron extendidos con los datos elaborados de acuerdo a Reynolds y Smith (1994) de 1994 al 2000, pero con los estadísticos (promedio y desviación estándar mensuales) de Da Silva *et al.* (1994). Adicionalmente, se obtuvieron los registros históricos descritos en Reyes y Vogel (1981) y Fernández (1984).

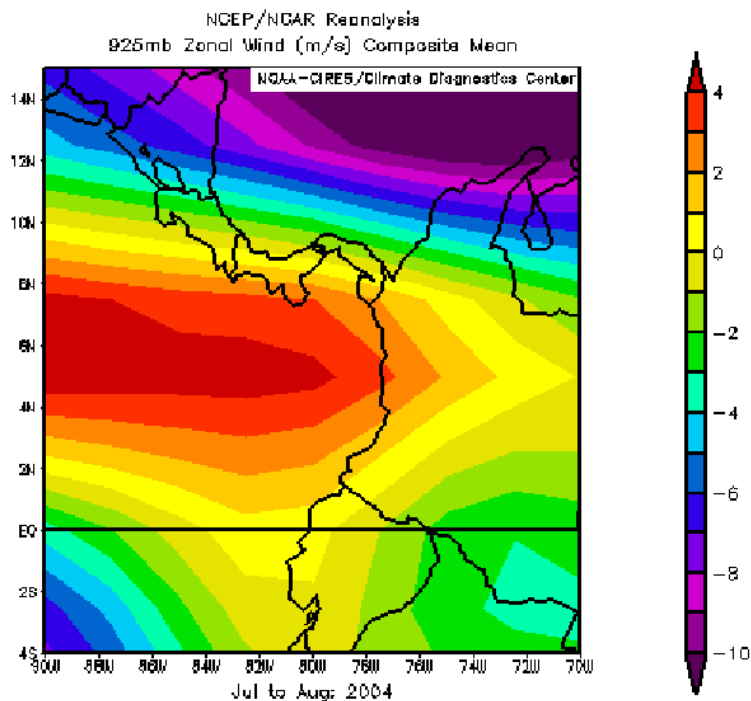


Fig. 4: Componente zonal del viento en el nivel de 925 hPa, obtenida a partir del reanálisis (Kalnay *et al.* 1996). Los valores representan el promedio del bimestre julio-agosto del año 2004.

La resolución temporal con la cual se trabajaron todas las series de tiempo antes descritas fue la mensual.

Posteriormente, se trabajó con las series de tiempo de los puntos de rejilla más cercanos a la Isla del Coco de los conjuntos descritos por Magaña *et al.* (1999) y Xie y Arkin (1996, 1997), y los registros de diversas estaciones estudiados por Alfaro (2008) y Fernández (1984). Esto permitió obtener un índice de precipitación de al menos 27 años de registro continuo, dado por la primera componente principal, que explicó aproximadamente el 84 % de la varianza, de acuerdo a la metodología propuesta por Alfaro y Soley (2009) (Figura 5).

La herramienta de rellenado de datos ausentes utiliza información de estaciones o puntos de rejilla correlacionados entre sí, en donde se utilizó el esquema propuesto por Tabony (1983), por medio del uso del Análisis de Componentes Principales. En este método si se tiene n_s variables con n_t observaciones cada una, se puede tener un conjunto nuevo de k variables mediante la relación: $\mathbf{Y} = \mathbf{X}_0 \mathbf{E}$, donde \mathbf{X}_0 es la matriz de datos originales $n_t \times n_s$, \mathbf{E} es una matriz de $n_s \times k$ cuyas k columnas son los autovectores de la matriz de correlación \mathbf{R} . En general, los k vectores propios asociados a los k valores propios grandes representan las variaciones de gran escala (variabilidad que se quiere conservar) y explican la mayor parte de la variabilidad del conjunto de datos en \mathbf{X}_0 , mientras que los $n_s - k$ vectores propios asociados a los $n_s - k$ valores propios más pequeños representan variaciones de pequeña escala (ruido no correlacionado en general). El conjunto de datos de las variables originales en las n_s estaciones puede ser recuperado en forma aproximada por la relación $\mathbf{X}_a = \mathbf{Y} \cdot \mathbf{E}^T$, en donde si $k = n_s$ entonces $\mathbf{X}_a = \mathbf{X}_0$. En resumen, el Análisis de Componentes Principales utiliza la información de estaciones correlacionadas al descomponer la información en *patrones* que capturan y separan la variabilidad de las series, donde se espera que recupere los efectos de escala mayor y que se pierdan los de escala menor.

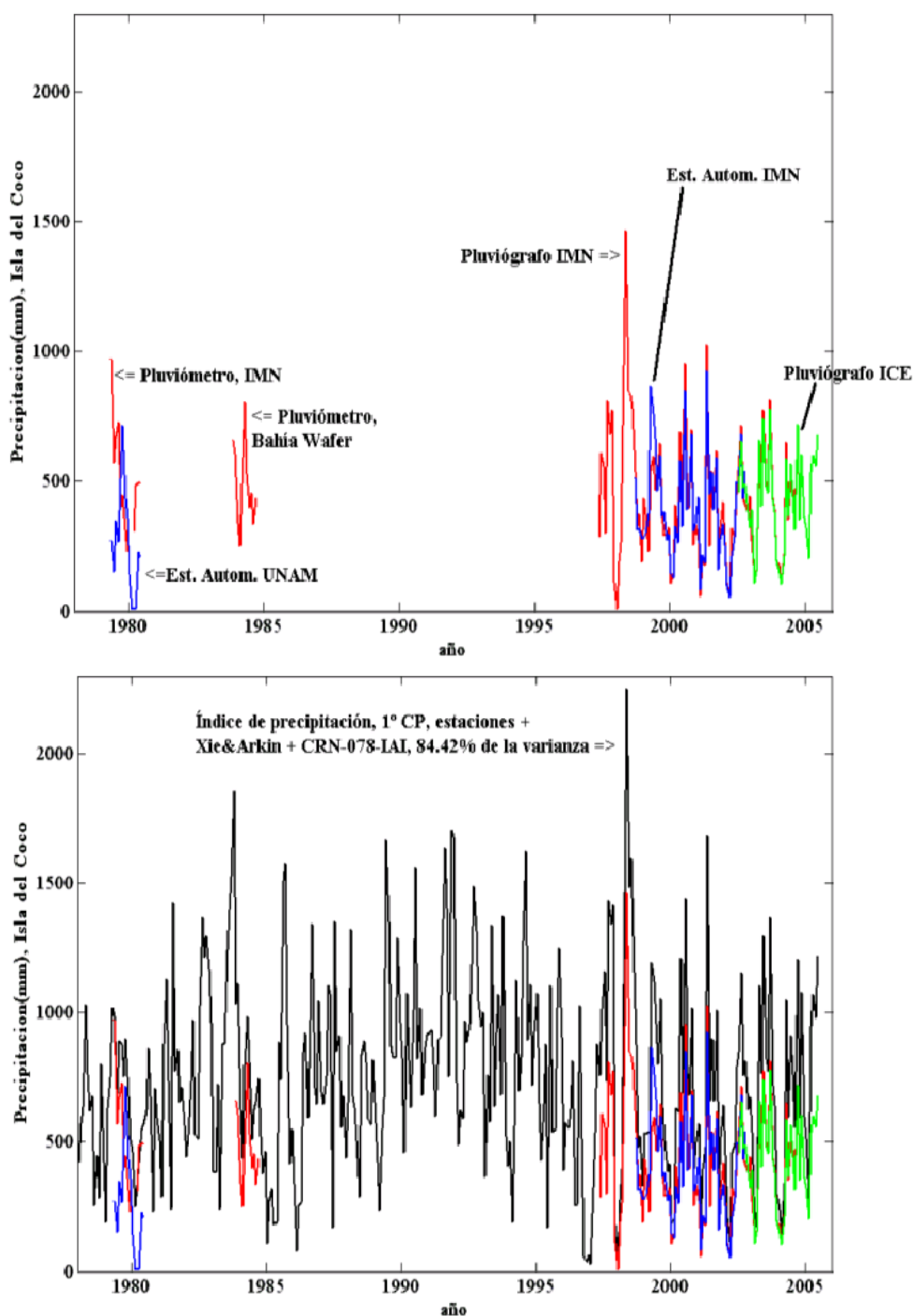


Fig. 5: a) Registros de precipitación pertenecientes a estaciones meteorológicas que funcionaron en la Isla del Coco (Alfaro, 2008; Fernández, 1984). b) En negro se presenta el índice de precipitación producido por medio de componentes principales entre los registros de a) y las series de tiempo del CRN-078 del IAI (Magaña *et al.*, 1999) y de Xie y Arkin (1996, 1997), cercanas a la Isla del Coco.

Utilizando las diferentes series antes mencionadas, se calcularon algunos estadísticos básicos de los datos y se realizaron comparaciones de series de tiempo, con el fin de verificar su validez.

Luego se calcularon las correlaciones cruzadas sesgadas (con rezagos de -1, 0 y +1 años) entre diferentes índices asociados al ENOS como el Índice de Oscilación del Sur (IOS), Niño3, Niño1&2 con las series de TSM, TSA y precipitación, para los trimestres: EFM, FMA, MAM, AMJ, MJJ, JJA, JAS, ASO, SON, OND, NDE, DEF. Las correlaciones se calcularon de acuerdo a lo propuesto por Alfaro *et al.* (2003).

Esta metodología además provee diferentes estadísticos de diagnóstico que ayudan al usuario con la significancia de las relaciones predictor-predictante encontradas. Sin embargo, los autores sugieren que la credibilidad que se le asocie a los resultados dependerá del análisis realizado en particular, y éste a la vez de la experiencia del investigador.

3. Resultados y Discusión

La figura 6 muestra las series de tiempo de las diferentes series de temperatura. En general se nota que el aumento de la temperatura superficial del mar, en el área del Pacífico donde se ubica la isla, se manifiesta en los años donde se han presentado fases cálidas del ENOS asociados con eventos El Niño, de acuerdo a lo calculado por Mora y Amador (2000). También se notan los descensos en la TSM que coinciden mayormente con las fases frías del ENOS, o eventos La Niña. Algunos de estos eventos se desvían de este comportamiento general debido posiblemente a otras fuentes de variabilidad no consideradas. Nótese también de la figura 6 la tendencia positiva de las series de TSM a lo largo de los años.

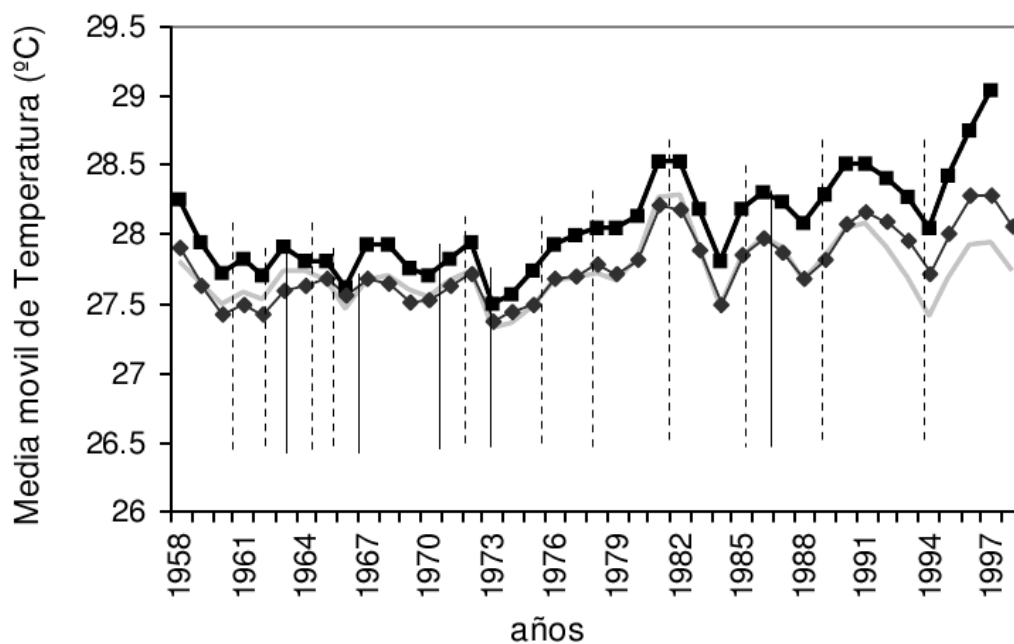


Fig. 6: Comparación de la temperatura superficial del aire, serie de Magaña *et al.* (1999) (línea con cuadros), con las series de TSM de da Silva *et al.* (1994) (línea gris) y la de Kaplan *et al.* (1998) (línea con rombos). Se muestran en líneas punteadas verticales los eventos El Niño y en líneas continuas los eventos La Niña, calculados por Mora y Amador (2000).

Para profundizar aún más, a nivel estacional, sobre la relación sugerida por la figura 6, se calcularon las correlaciones cruzadas sesgadas del índice de precipitación descrito en la sección anterior y los índices oceánicos de TSM Niño 3 y Niño 1.2. Se realizó la correlación cruzada sesgada entre las dos variables con rezagos de -1, 0 y +1 años, en donde se interpreta que para rezagos negativos la variable independiente antecede a la variable dependiente. Cabe destacar que los resultados con otros índices asociados al ENOS como Niño 3.4 o el MEI fueron muy similares. Se muestran también en la figura 7 las correlaciones entre la serie de tiempo de TSM elaborada por Kaplan *et al.* (1998) y el IOS.

En resumen, las figuras 7 y 8 muestran que eventos cálidos (fríos) del ENOS se relacionan con temporadas de lluvias o temperaturas por arriba (debajo) de lo normal en la Isla del Coco. Nótese también que durante el año cero para un trimestre determinado, ya sea del índice de precipitación o de la TSM, hay correlaciones estadísticamente significativas con trimestres anteriores en los índices Niño 3, Niño 1&2 e IOS. Estas relaciones pueden ser útiles en predicción climática ya que el evento asociado al ENOS ante-

cede a la precipitación o la TSM. En la tabla 1 se muestra un ejemplo de su potencial para la generación de escenarios de variabilidad climática. De esta tabla se desprende que hay un 67 % de probabilidades de observar condiciones por debajo o por encima de lo normal en la precipitación durante MJJ dadas condiciones por debajo o por encima de lo normal en el índice Niño 1&2 durante FMA. Además es muy poco probable que condiciones inferiores o superiores a lo normal en la precipitación durante MJJ sean precedidas por condiciones superiores o inferiores a lo normal del índice Niño 1&2 durante FMA, 11 y 0 %, respectivamente.

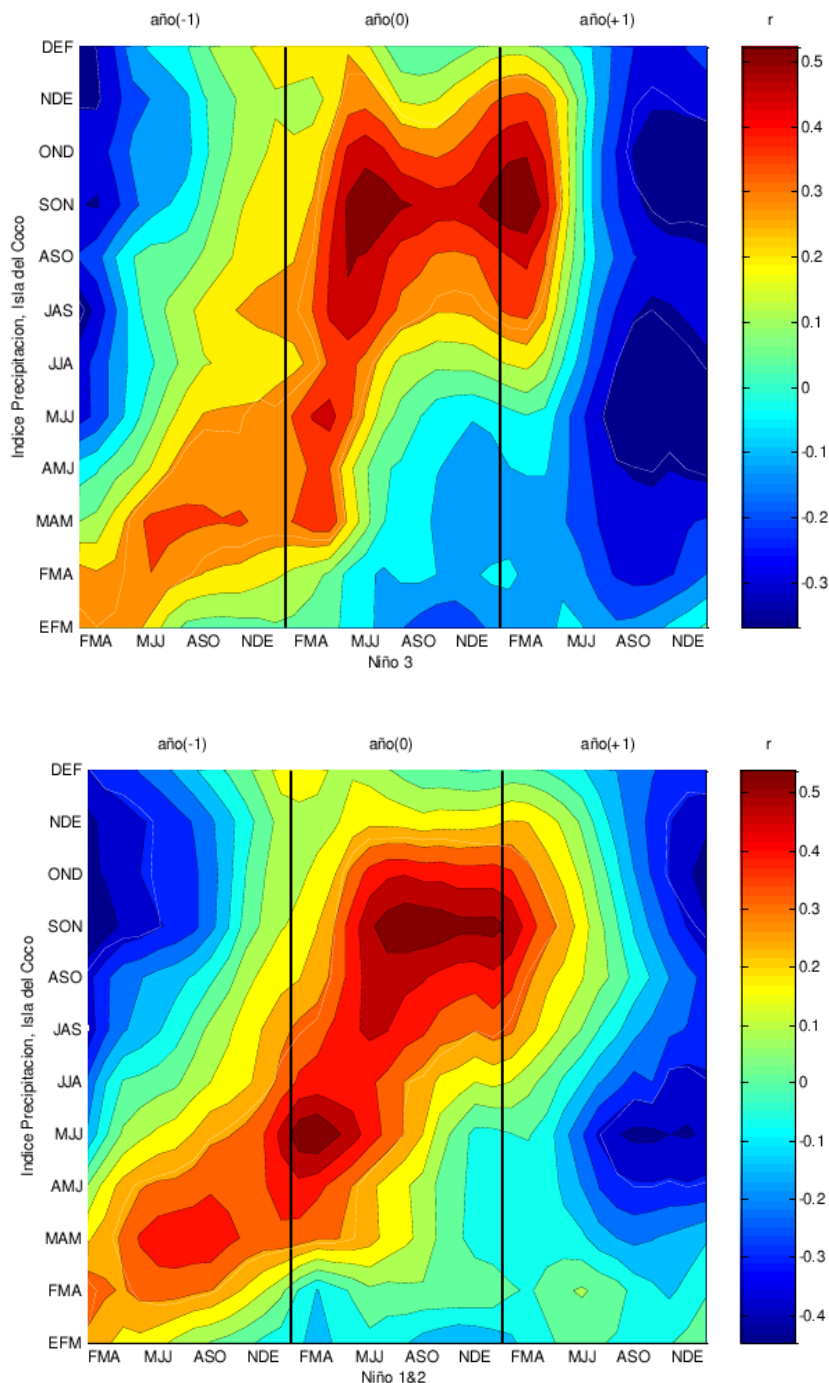


Fig. 7: Correlaciones cruzadas sesgadas del índice de precipitación mostrado en la fig. 4 y los índices oceánicos de TSM Niño 3 (arriba) y Niño 1&2 (abajo). Para su cálculo se usaron 27 años (1978-2004). Se interpreta que para rezagos negativos, e.g. año (-1), la variable independiente antecede a la variable dependiente. Las líneas a trazos blancas corresponden al nivel de significancia estadística del 95 % de acuerdo a Davis (1976).

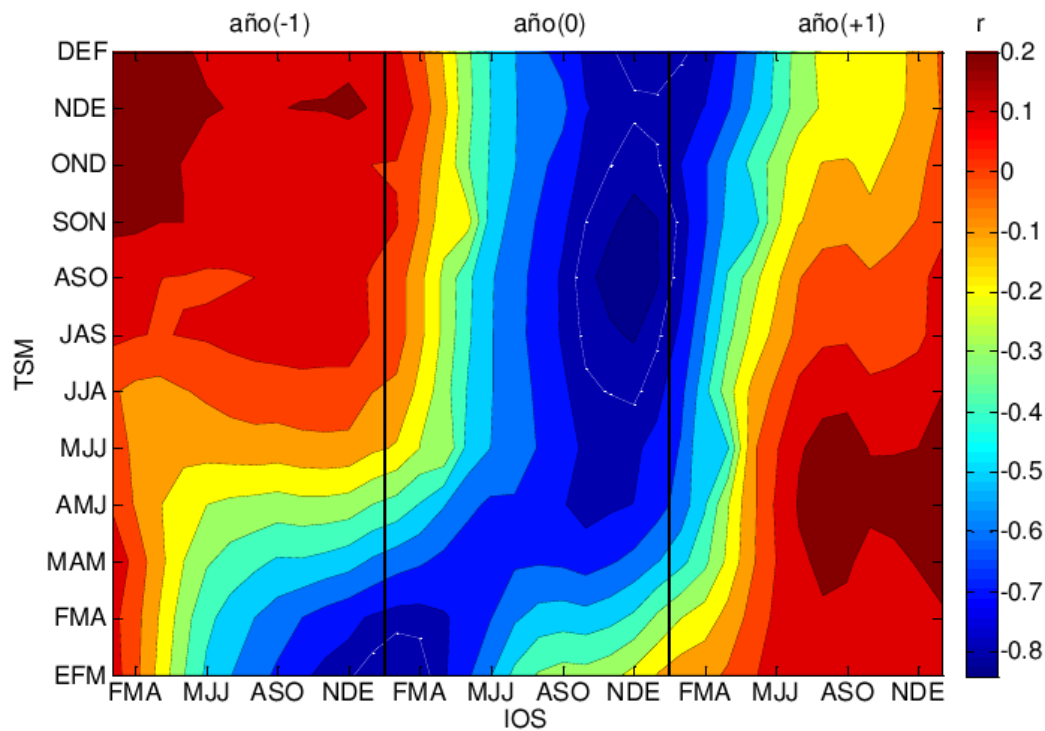


Fig. 8: Correlaciones cruzadas sesgadas de la serie de tiempo de TSM elaborada por Kaplan *et al.* (1998) y el IOS. Para su cálculo se usaron 50 años (1950-1999). Se interpreta que para rezagos negativos, e.g. año (-1), la variable independiente antecede a la variable dependiente. Las líneas a trazos blancas corresponden al percentil 95 de las 432 correlaciones calculadas.

Tabla 1: Probabilidades condicionales (%) entre el promedio del índice Niño 1&2 durante febrero-marzo-abril (FMA) y del índice de la precipitación en la Isla del Coco durante mayo-junio-julio (MJJ), para el periodo 1978-2004. Los valores entre paréntesis son las frecuencias empíricas absolutas ($\chi^2 = 11,33^{**}$, r (spearman) = $0,59^{***}$, τ (kendall) = $0,41^{***}$, donde $\alpha = 0,01 \Rightarrow^{***}$, $0,05 \Rightarrow^{**}$, $0,10 \Rightarrow^*$).

		Precipitación Isla del Coco MJJ		
		BN	N	AN
Niño 1&2 FMA	BN	67(6) ^{***}	33(3)	0(0) ^{***}
	N	22(2)	44(4)	33(3)
	AN	11(1) ^{**}	22(2)	67(6) ^{***}

4. Conclusiones

Al analizar el ciclo anual se encontró que durante los meses de marzo y abril, la temperaturas superficiales del mar alcanzan valores de alrededor de los 29°C, resultados que coinciden con los análisis de Alfaro (2008). Las altas temperaturas y la advección de humedad de los vientos del Oeste en la zona, favorecen el aumento de nubosidad, correspondiendo con el inicio del periodo más lluvioso. Ésto a su vez repercute en una disminución de la TSM para mayo y junio, que alcanza valores de alrededor de 28°C, debido principalmente a una menor incidencia de radiación solar.

El periodo de descenso en las precipitaciones a mitad de año encontrado en las series de datos analizadas coinciden con los analizados por algunos autores como Fernández (1984), sin embargo se llega a la conclusión de que se requiere un estudio más detallado que involucre series de tiempo de mayor registro para poder entender la dinámica completa asociada a este periodo de bajas precipitaciones.

Además se observó que la principal fuente de variabilidad climática en la Isla del Coco, después del ciclo anual, es aquella relacionada con El Niño-Oscilación del Sur o ENOS, en donde eventos cálidos (fríos) del ENOS se relacionan con temporadas de lluvias o temperaturas por arriba (debajo) de lo normal en la Isla del Coco.

El entendimiento y cuantificación de estas fuentes de variabilidad climática en la Isla del Coco podría ayudar al desarrollo del plan estratégico Isla del Coco 2005-2010 (MINAE 2005), en donde se señala que a la par de la investigación biológica se debe profundizar en la investigación climática, principalmente orientada a aumentar el conocimiento del fenómeno de El Niño y del Cambio Climático global.

Agradecimientos

Este trabajo se realizó gracias al apoyo de los siguientes proyectos de la Vicerrectoría de Investigación, Universidad de Costa Rica: 808-A9-180, A7-520, 805-A9-742, 805-A8-606, A7-002 y 98-506. Se agradece también al IMN e ICE, Costa Rica, por el suministro de los registros de las estaciones meteorológicas para realizar este estudio.

Bibliografía

Alfaro E (2008): Ciclo diario y anual de variables troposféricas y oceánicas en la Isla del Coco, Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 56(Supl.2):19-29.

Alfaro E, Soley J (2009): Descripción de dos métodos de rellenado de datos ausentes en series de tiempo meteorológicas. *Revista de Matemáticas: Teoría y Aplicaciones*, 16:59-74.

Alfaro E, Soley J, Enfield D (2003): *Uso de una Tabla de Contingencia para Aplicaciones Climáticas (Use of a Contingency Table for Climatic Applications)*, ISBN 9978-310-00-2. Editado por ESPOL y FUNDESPOL, Guayaquil, Ecuador, 51 pp.

Amador JA (2008): The Intra-Americas Seas Low-Level Jet (IALLJ): Overview and Future Research. *Annals of the New York Academy of Sciences. Trends and Directions in Climate Research*, Gimeno L, Garcia R, Trigo R (Eds.), 1146(1), 153-188(36).

Amador JA (1998): A climatic feature of tropical Americas. The trade wind easterly jet. *Top. Meteor. Oceanogr.*, 5:91-102.

Da Silva A, Young AC, Levitus S (1994): *Atlas of Surface Marine Data, vol. 1: Algorithms and Procedures*. NOAA Atlas NESDIS 6, US Department of Commerce, Washington, DC.

Davis RE (1976): Predictability of sea surface temperature and sea level pressure anomalies over the North Pacific Ocean. *Journal of Physical Oceanography*, 6:249-266.

Fernández W (1984): Comments on meteorological and climatological observations on Coco Island. *Rev. Geofís.*, 20:9-19.

Guzmán HM, Cortés J (1992): Cocos Island (Pacific of Costa Rica) coral reefs after the 1982-83 El Niño disturbance. *Rev. Biol. Trop.*, 40:309-324.

Guzmán HM, Cortés J (2007): Reef recovery 20-yr after the 1982-83 El Niño massive mortality. *Mar. Biol.*, 151:401-411.

Herrera W (1985): Consideraciones climáticas sobre la Isla del Coco. En: *Clima de Costa Rica*, Editorial Universidad Estatal a Distancia, San José, Costa Rica, pp. 40-44.

Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, Collins W, Deaven D, Gandin L, Iredell M, Saha S, White G, Woollen J, Zhu Y, Chelliah M, Ebisuzaki W, Higgins W, Janowiak J, Mo KC, Ropelewski C, Wang J, Leetmaa A, Reynolds R, Jenne R, Joseph D (1996): The NCEP/NCAR Reanalysis 40-year Project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77:437-471.

- Kaplan A, Cane MA, Kushnir Y, Clement AC, Blumenthal MB, Rajagopalan B (1998): Analysis of global sea surface temperatures 1856-1991. *J. Geophys. Res.*, 103:18567-18589.
- Magaña V, Amador JA, Medina S (1999): The Mid-Summer Drought over Mexico and Central America. *J. Climate*, 12:1577-1588.
- Magrin G, Gay García C, Cruz Choque D, Giménez JC, Moreno AR, Nagy GJ, Nobre C, Villamizar A (2007): *Latin America. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden PJ, Hanson CE (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 581-615.
- Malavassi E (1982): Visita al Parque Nacional Isla del Coco. *Revista Geográfica de América Central*, 15-16:211-216.
- Mimura N, Nurse L, McLean RF, Agard J, Briguglio L, Lefale P, Payet R, Sem G (2007): *Small islands. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, Van der Linden PJ, Hanson CE (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, 687-716.
- MINAE (2005): *Plan estratégico Isla del Coco 2005-2010*. Documento Técnico. Área de Conservación Marina Isla del Coco (ACMIC), Ministerio de Ambiente y Energía (MINAE), 17 pp.
- Montoya M (1990): *Plan de Manejo, Parque Nacional Isla del Coco*, Sistema de Parques y Reservas Marinas (SIPAREMA), Servicio de Parques Nacionales (SPN), Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas (MIRENEM), Costa Rica, 104 pp.
- Montoya M (2007): Conozca la Isla del Coco. Una guía para su visitación. En: San José, Organización para Estudios Tropicales (OET). BioCursos para amantes de la Naturaleza. Conozca el Parque Nacional Isla del Coco. La Isla del Tesoro (29 abril al 6 de mayo 2007), pp. 35-176.
- Mora I, Amador JA (2000): El ENOS, el IOS y la corriente en chorro de bajo nivel en el oeste del Caribe. *Top. Meteor. Oceanogr.*, 7:1-20.
- Morales-Ramírez A (2008): Caracterización cualitativa del zooplancton del Área de Conservación Marina Isla del Coco (ACMIC), Pacífico de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 56(Suppl. 2):159-169.
- Reyes S, Vogel G (1981): Meteorological and climatological observations on Coco Island. *Rev. Geofís.*, 14/15:85-93.
- Reynolds R, Smith T (1994): Improved global sea surface temperature analyses using optimum interpolation. *J. Climate*, 7:929-948.
- Sibaja-Cordero JA (2008): Tendencias espacio-temporales de los avistamientos de fauna marina en los buceos turísticos (Isla del Coco, Costa Rica). *Rev. Biol. Trop.*, 56(Supl. 2):113-132.
- Tabony RC (1983): The Estimation of Missing Climatological Data. *Journal of Climatology*, 3:297-314.
- Xie P, Arkin PA (1996): Analyses of global monthly precipitation using gauge observations, satellite estimates, and numerical model predictions. *Journal of Climate*, 9:840-858.
- Xie P, Arkin PA (1997): Global Precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78:2539-2558.