Top. Meteor. Oceanogr., 5(2): 136-148, 1998

Temperatura, Precipitación y Caudal en Panamá Parte II: ENOS y Cambio Climático

Jorge A. Amador[1]

Centro de Investigaciones Geofísicas y Escuela de Física (LIAP/DFAOP)
Universidad de Costa Rica (UCR)
San José, Costa Rica

Berta A. Olmedo

Departamento de Geografía
Universidad de Panamá, Panamá, República de Panamá

(Recibido el 29 de mayo de 1998, aceptado el 20 de julio de 1998)

ABSTRACT

Monthly mean values of maximum and mean temperature, precipitation and river discharge for different stations in the Republic of Panama, are analyzed to study their relationship with El Niño-Southern Oscillation (ENSO) and climate change (CC) in that region. A total of twenty time series (8 of temperature, 9 of precipitation and 3 of river discharge) conveniently distributed with periods generally longer than thirty years, are used to accomplish the study. Notable in these series are those of mean temperature of Altos de Balboa and Cristobal with data from the beginning of the XX century, precipitation of Cristobal and Gamboa with data from the last decade of the XIX century and river discharge of Candelaria, Interamericana and Rio Grande with forty years of data. In Part I of this research, the same data were utilized to study the general features and seasonal distribution of the above parameters providing a conceptual framework for this paper (Part II). Time series were deseasonalized by means of the anomalies method and then smoothed with an eleven month running mean. Basic spectral techniques are used to identify and to study the predominant atmospheric signals and their relationship with ENSO phenomena and CC. During the occurrence of an El Niño event, a strong relationship is found between that warm event and positive temperature anomalies. Although anomalies vary for different stations analyzed, it is estimated that in the mean these anomalies are in the order of 1 °C for most El Niño events. In 76 and 96% of the cases, precipitation and river discharge show respectively, negative anomalies during El Niño. Regarding the long term trend of analyzed data, 88% of the stations with temperature exhibit a positive slope. In the mean the temperature increase in the last three decades is in the order of 1 °C. For stations with approximately nine decades, the temperature increase is in the order of 0.6 °C. Most of the stations with precipitation and river discharge data show a negative slope, which rules out the possibility of a pure random behavior of the series. This precipitation decrease does not agree with results of general circulation models which indicate an increase in rainfall in the southern part of the Caribbean Basin.

[1] Dirección para correspondencia: Dr. Jorge A. Amador. Centro de Investigaciones Geofísicas y Escuela de Física (Laboratorio de Investigaciones Atmosféricas y Planetarias. Departamento de Física Atmosférica, Oceánica y Planetaria, LIAP/DFAOP), Universidad de Costa Rica. San José. Costa Rica. E-mail: jamador@cariari.ucr.ac.cr; Fax: (506)207-5619 / 224-9367; Tel: (506) 207-5096 / 207-5320.

1. Introducción

Un fenómeno de escala planetaria de gran importancia en el clima y la variabilidad climática mundial es el fenómeno de El Niño Oscilación del Sur (ENOS). Quinn et al. (1987) discute la ocurrencia de eventos El Niño durante los últimos cuatro siglos y medio, dejando patente la importancia espacio - temporal e histórica de esta perturbación del sistema climático. Este fenómeno se manifiesta como el acople entre la capa superior del océano y la atmósfera, provocando cambios en las condiciones y distribución estacional del clima. Asociados a ENOS, se presentan con frecuencia sequías en áreas sumamente lluviosas e intensas lluvias en áreas de poca precipitación. La ocurrencia de un evento ENOS casi siempre deja saldos negativos de bienes y vidas, como es el caso del evento cálido 1982-83. A este evento se atribuyen la hambruna en Africa, gran número de muertos en Brasil, China, Ecuador, Indonesia y Perú y la pérdida de cientos de viviendas en muchos países de América del Sur (OMM 1994). Los eventos recientes del ENOS de los años 91-92, 93, 94-95 y 97-98 también han sido considerados responsables de cuantiosas pérdidas materiales y humanas a nivel mundial. En relación con el impacto humano y económico de los fenómenos meteorológicos en nuestra sociedad, Cornford (1997) presenta inquietantes y recientes cifras de cuantiosas pérdidas materiales y humanas. La magnitud de los daños ocasionados por ENOS es preocupante. El conocer el comportamiento de los elementos del clima antes y durante tales eventos, permitiría mejorar los pronósticos regionales y alertar a la población para la toma de medidas en la protección de vidas y bienes. Algunos estudios como los de Alfaro y Amador (1996), Amador y Alfaro (1996) y Alfaro y Amador (1997) son ejemplos del efecto del ENOS en elementos como la radiación, el brillo solar y la temperatura.

Además del ENOS, otro factor de preocupación por su potencial efecto económico y social, el cambio climático, ha recibido especial atención en las últimos años. La OMM (1994), ha enfatizado que la composición química de la atmósfera está cambiando con gran rapidez por efecto de las actividades humanas. La invocación constante de los problemas ambientales de los últimos decenios (lluvia ácida, transporte aéreo de sustancias tóxicas, destrucción de la capa de ozono y recalentamiento global causado por los gases de efecto invernadero) son una peligrosa señal de que la humanidad podría estar alterando gravemente la composición de la atmósfera, que sostiene todos los seres vivientes de la tierra y que protege la superficie contra las radiaciones nocivas. La atmósfera posee una composición química natural que ha ido evolucionando a lo largo de millones de años en forma acorde con el desarrollo de las distintas formas de vida.

Varios estudios (IPCC 1992) muestran que el sistema tierra-atmósfera ha atravesado por múltiples cambios durante su historia. Una prueba de ello lo constituye el estudio realizado por Emiliani alrededor de 1965 y citado por Labeyrie (1988). Este estudio, considera la composición isotópica del mar sobre muestras obtenidas en el Caribe, las que permitieron inferir varios aspectos acerca del clima hace 400.000 a 500.000 años. Los resultados mostraron que durante ese período se presentaron cinco cambios climáticos y al parecer cada uno de ellos con una duración aproximada de cien mil años. Por otro lado, cada uno de estos ciclos se caracterizaba por un período cálido seguido de un período frío de aproximadamente igual duración.

Otra prueba de cambios naturales lo constituye el hallazgo de Agassiz en 1850 (Labeyrie 1988), quien encontró vestigios de una antigua glaciación; de una "edad glacial" que había precedido en poco tiempo a nuestra época. Las huellas de esta glaciación se encontraron en el norte de Europa y Estados Unidos. Se atribuyó esta edad glacial a variaciones de la energía solar que llega a la tierra, asociadas a la precesión de los equinoccios, es decir, a la lenta rotación del eje de la tierra (este eje se desplaza lentamente sobre un cono que a su vez está centrado en dirección perpendicular al plano de la eclíptica).

Como se ve, el sistema climático de nuestro planeta está en constantes cambios. En contraste con la variabilidad natural, estudios recientes muestran que el clima actual está sufriendo variaciones rápidas, ya no sólo por efectos naturales, sino por causas antropogénicas. Suess en 1950, (citado en Labeyrie 1988) usando muestras de madera fosilizada,

descubrió un aumento inusual en la cantidad de gas carbónico presente en la atmósfera a partir de 1850 (inicio de la era industrial). Esta fue la primera vez que se puso de manifiesto por medio de mediciones exactas una perturbación introducida por el hombre en la concentración natural de un componente atmosférico. (Labeyrie 1988, IPCC 1992).

Una revisión de los resultados de modelos numéricos globales aplicables a las próximas décadas, indica que se espera que la media mundial de precipitación aumente proporcionalmente al calentamiento, al igual que la evaporación; con incrementos mundiales del 3 al 15%. En cuanto a la distribución espacial de las precipitaciones los modelos indican incrementos invernales en las latitudes medias, así como un aumento en el valor zonal medio en los trópicos, aunque existen áreas de disminución de lluvia. Es importante señalar que los modelos GFDL, OSU, UKMO y GISS (ver Apéndice), proyectan un incremento del 10% en la precipitación, para una región que enmarca Costa Rica (Alfaro 1993). Los resultados de los modelos son menos confiables a escalas menores de tal forma que las predicciones para áreas con menor extensión que las regiones continentales deben tratarse con precaución. En el contexto del calentamiento global, algunas de las interrogantes asociadas a los problemas de variabilidad climática y que deben ser objeto de atención podrían formularse de la siguiente manera. En las zonas propensas a sequías ¿debe ayudarse a los agricultores a permanecer en el lugar o alentarles a que se trasladen a otras zonas, en las que se espera, el clima futuro podría ser más propicio para la agricultura? ¿Serán las lluvias más intensas y por consiguiente las crecidas más frecuentes, tal como lo predicen algunos modelos climáticos? ¿Disminuirán las frecuencias de las tormentas tropicales en la región? ¿Serán las zonas costeras capaces de hacer frente a la elevación del nivel del mar tal como se prevé actualmente?

La complejidad del problema anterior ha sido discutida en Alfaro (1993), Alfaro y Amador (1996), Gómez y Fernández (1996), Amador y Alfaro (1996), Alfaro y Amador (1997) para Costa Rica y pone de manifiesto la necesidad de estudios regionales integrales que permitan estimar y entender otros aspectos del problema. El presente estudio sigue los lineamientos y objetivos generales de Alfaro y Amador (1996) y Amador y Alfaro (1996) y extiende el trabajo a varias estaciones de la República de Panamá con el propósito de obtener una mejor visión de la variabilidad y cambio climático y sus características a escala regional.

2. Información utilizada

En la elaboración de este trabajo se utilizó información suministrada por la Comisión del Canal de Panamá, específicamente de las estaciones Cristóbal, Balboa, Gamboa, Gatún y de la estación limnigráfica Candelaria. Los datos de las estaciones restantes fueron suministrados por el Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación (IRHE). La lista de estaciones utilizadas se presenta en la Parte I (Cuadro 1, de Amador y Olmedo 1998). Se identificaron algunos errores en las estaciones usadas como en el caso de Cristóbal, donde a partir de 1978, se hizo frecuente la aparición de precipitación nula en los meses más lluviosos. Estos valores fueron sustituidos por la media mensual. También se detectaron errores en la temperatura máxima de la estación Santiago, que presentaba valores de 0°C, durante el año 1994, por lo que se procedió a eliminar este año de la serie analizada.

Para la realización de este trabajo se seleccionaron las estaciones con períodos más largos y series más completas. Es importante hacer notar en este aspecto que en todos los casos, el número de datos faltantes para cualquier estación usada fue inferior al 5% del total de datos correspondiente al período utilizado. Las estaciones en su mayoría se localizan en la Vertiente del Pacífico, a excepción de Cristóbal, Gatún, Río Pequení, que se ubican en la Vertiente del Caribe. A partir de 1985, las estaciones Cristóbal y Altos de Balboa fueron sustituidas por las estaciones Coco Sólo y Balboa FA, respectivamente. La estación Coco Sólo se localiza en la Provincia de Colón con 09°22' de latitud N y 79°53' longitud O a una altura de 1 msnm. La estación Balboa FA se ubica en la provincia de Panamá a 08°58' de latitud N y 79°33' de longitud O a 10 msnm. Otros detalles sobre el área de trabajo e información de las cuencas estudiadas se presentan en la Parte I de esta investigación (Amador y Olmedo 1998).

3. Método

Los datos faltantes fueron sustituidos con el promedio mensual de la serie, el cual, fue calculado como una media aritmética simple. Este procedimiento nos permite mantener la serie sin cambios en sus parámetros estadísticos. Una vez realizado esto, se procedió a desestacionalizar la serie, aplicando el método de las anomalías (en adelante denominado método estándar). Este consiste en el cálculo para cada una de las series de las desviaciones con respecto al valor normal o media mensual. En varios aspectos el método utilizado es el empleado por Alfaro y Amador (1996). Además de lo anterior, se realizaron algunas pruebas para contrastar las bondades del filtro "tipo muesca" (Fuenzalida y Rosenblüth 1990) con el método de desestacionalización. El filtro tipo muesca es utilizado para extraer periodicidades de la serie, de manera que se puedan dejar únicamente en los datos, las frecuencias de interés. Si se usa el filtro para cada frecuencia que se desea eliminar, como consecuencia, se pierden dos valores por cada aplicación que se realice del filtro. Recientemente Soley (1997), hizo uso de este filtro muesca autoregresivo media móvil ARMM(2,2) e ilustra propiedades de ese filtro aplicado a una secuencia larga de temperaturas medias mensuales para San José.

Las anomalías fueron suavizadas por medio del método de medias móviles con pesos iguales y con una longitud de once meses, con lo que, se eliminó parcialmente algunas de las contribuciones menores a un año. La respuesta espectral de esta ventana rectangular tiene secciones donde esta respuesta es negativa (Soley 1994). De especial interés para este trabajo es el primer lóbulo con respuesta negativa, la cual tiene una amplitud del orden de un 20% del valor central (Soley 1994) cerca de la frecuencia 0.12 (meses). La contribución al espectro de esta frecuencia había sido casi totalmente removida durante el proceso de desestacionalización pues corresponde aproximadamente a un período de 6 meses (uno de los armónicos principales de la serie).

La utilización del análisis espectral permite observar algunas de las características ligadas a la periodicidad de los datos. En este trabajo se calcularon periodogramas de los datos originales, de las anomalías y de las anomalías suavizadas. En todos los casos el promedio general de la serie fue removido.

4. Análisis de resultados

4.1. Análisis de las anomalías

Para el análisis de las anomalías y ENOS, se utiliza la notación: *-1* para representar el año anterior, *0* para el año durante y *+1* para el año posterior, al evento (Alfaro 1993, Alfaro y Amador 1996). Para analizar el comportamiento de las distintas variables y su relación con ENOS se utilizó la clasificación de Quinn et al. (1987).

4.1.1. Temperatura

En la Figura 1 y Figura 2 se muestran las anomalías de la temperatura máxima de las estaciones estudiadas (Cuadro 1, Amador y Olmedo 1998) y en la Figura 3 y Figura 4 las de la temperatura media de las estaciones Balboa y Cristóbal, respectivamente. En todas las estaciones se nota una tendencia al aumento de la temperatura en el año *-1*, anomalías positivas en el año *0* y una tendencia al descenso en el año *+1*. Se observan algunas excepciones en este comportamiento como es el caso de la estación Planta Caldera (Figura 1a), durante el evento cálido de 1965, la estación David (Figura 1b), durante el Niño 1972-73 y las estaciones Balboa y Cristóbal (Figura 3a y 4a respectivamente) durante el evento cálido de 1917. El Niño 1982-1983 exhibe las anomalías más altas de toda la serie en las estaciones Planta Caldera, David, Cañazas, Santiago e Ingenio Santa Rosa (Figura 1a, b, c y Figura 2a, b, respectivamente). Sin embargo, en las estaciones Los Santos, Balboa y Cristóbal (Figura 2c, 3b y 4b respectivamente), las anomalías no alcanzan su máximo valor durante este evento.

Las anomalías de la temperatura máxima exhiben mayores rangos que las anomalías de la temperatura media. Obsérvese la estación Planta Caldera (Figura 1a) y Cristóbal (Figura 4), con oscilaciones entre -2.2 °C y 2.3 °C y -1.0 y 1.0 °C, respectivamente. Es importante señalar que en el 90 % de los años con eventos de El Niño se observó un aumento en

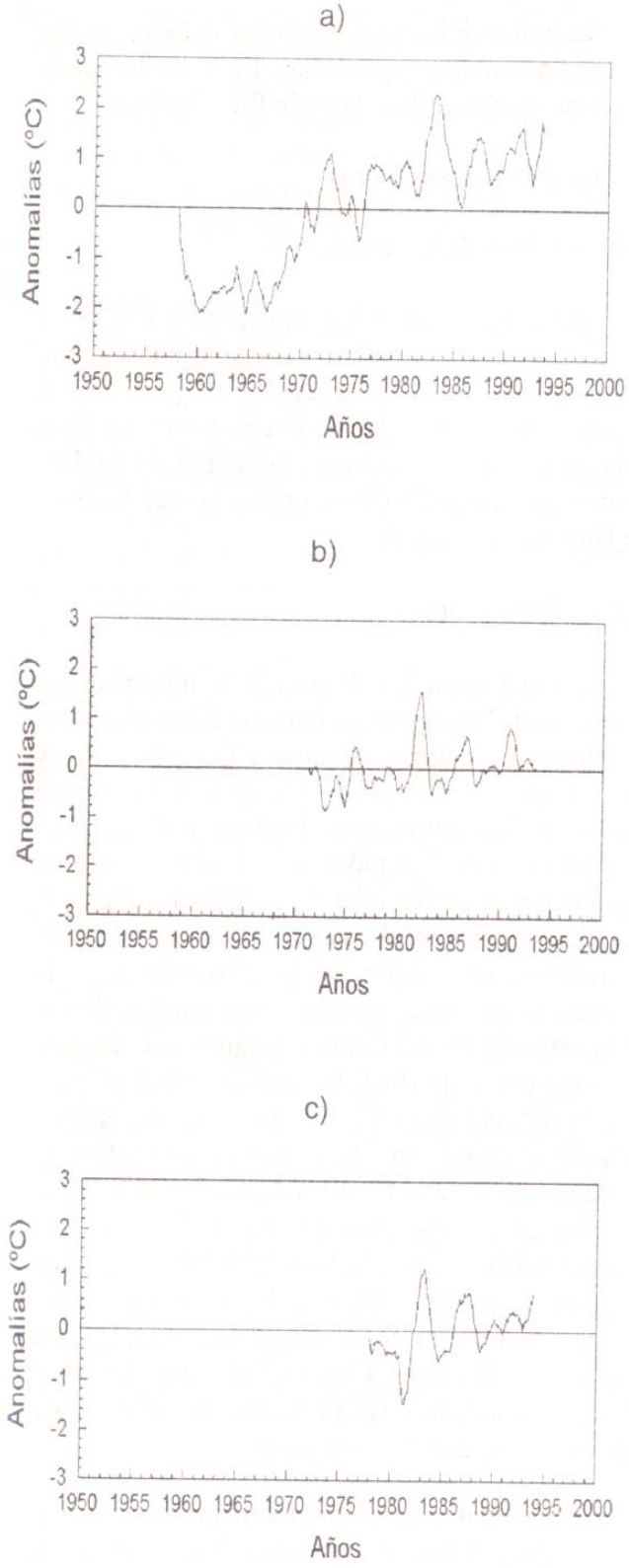

Figura 1. Anomalías de la temperatura máxima media mensual para a) Planta Caldera (1953-1993), b) David (1971-1993) y c) Cañazas (1978-1993).

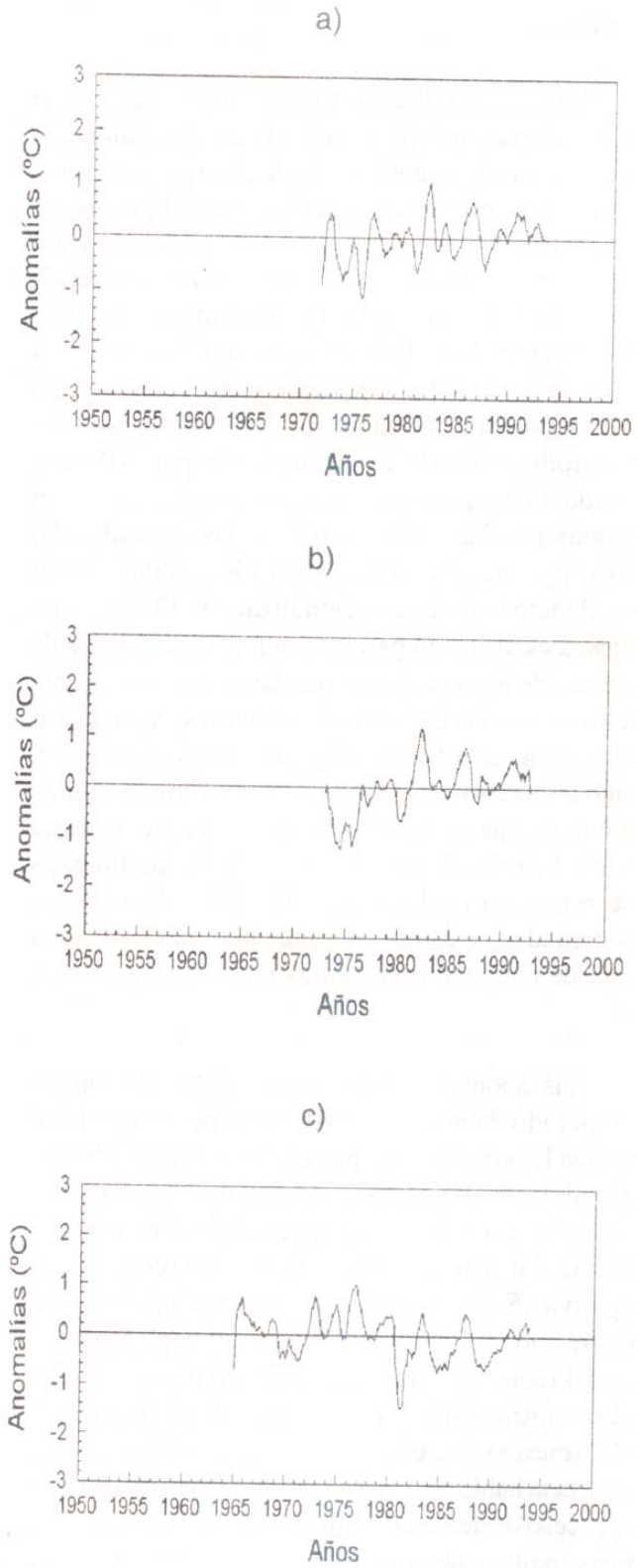

Figura 2. Anomalías de la temperatura máxima media mensual para a) Santiago (1972-1993), b) Santa Rosa (1973-1993) y c) Los Santos (1965-1993).

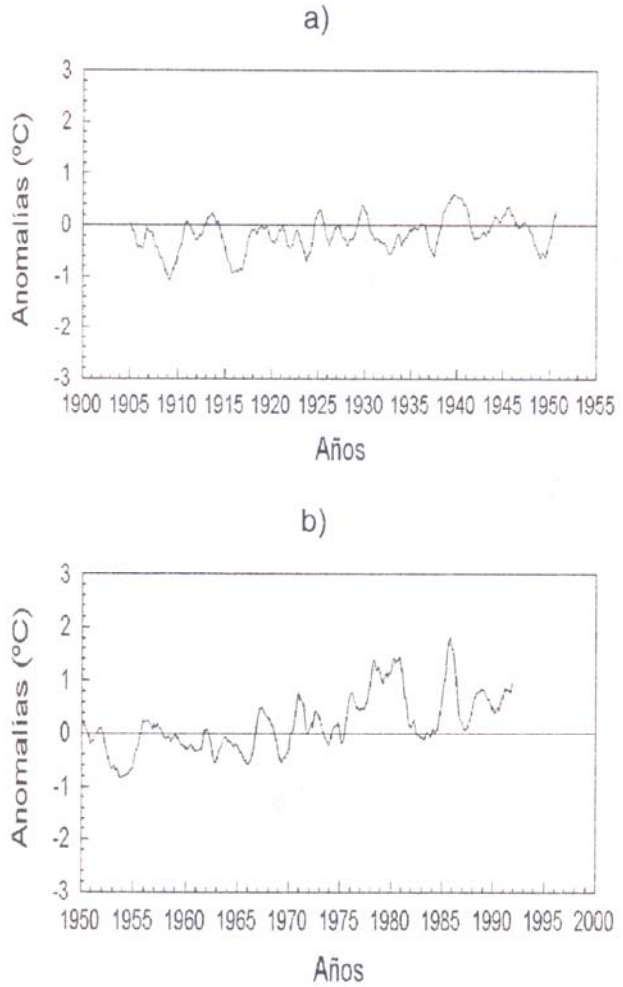

Figura 3. Tendencia de las anomalías de temperatura media para Altos de Balboa para el período a) (1905-1950) y b) (1950-1992).

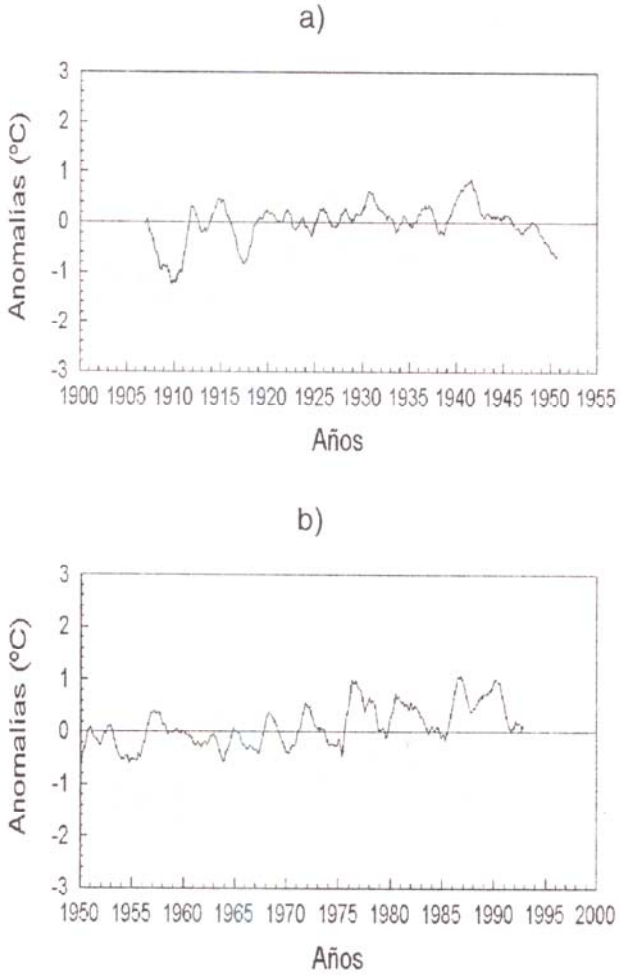

Figura 4. Tendencia de las anomalías de temperatura media para Cristóbal para el período a) (1907-1950) y b) (1950-1993).

la tendencia a corto plazo (1-2 años) de la temperatura y una fuerte correspondencia en la ocurrencia de eventos cálidos ENOS y la localización temporal de las anomalías positivas.

4.1.2. Precipitación

En las Figuras 5 a 11 se presentan las anomalías de la precipitación total mensual de las estaciones elegidas para este estudio (Cuadro 1 de Amador y Olmedo 1998). Nótese que las escalas verticales (anomalías de precipitación) en todas estas figuras son iguales, excepto la de la Figura 8. En todas las estaciones se notó, con algunas excepciones, que en los años de evento cálido, las anomalías de precipitación son negativas. Algunas de las excepciones se presentan en Balboa, Gamboa, Chepo, Cristóbal y Gatún (Figura 7 a Figura 11, respectivamente), donde se observa durante algunos eventos cálidos la ocurrencia de anomalías positivas de la precipitación.

Se observa que las estaciones Planta Caldera, Cristóbal y Gatún (Figuras 5a, 10 y 11 respectivamente), muestran los mayores rangos en las anomalías de precipitación con valores aproximados entre los -130 y 150 mm. Se destaca que Planta Caldera también presenta el mayor rango en las anomalías de la temperatura máxima (Figura 1a). En contraste con esto, se observa el Ingenio Santa Rosa y Balboa (Figura 6a y Figura 7), que exhiben las anomalías bajas con rango entre -80 y 80 mm de lluvias. Es

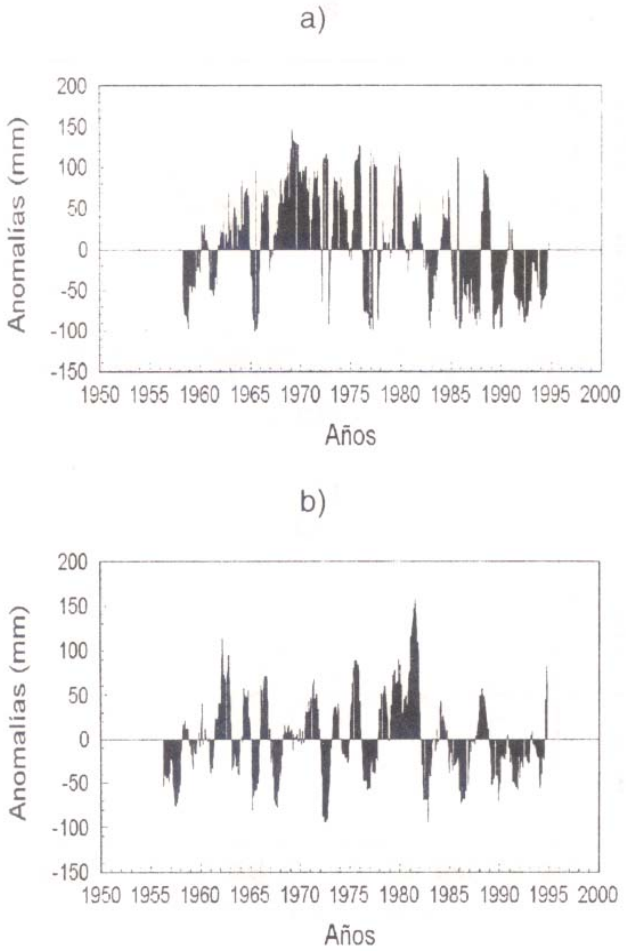

Figura 5. Anomalías de la precipitación total mensual para a) Planta Caldera(1959-1994) y b) Cañazas (1959-1994).

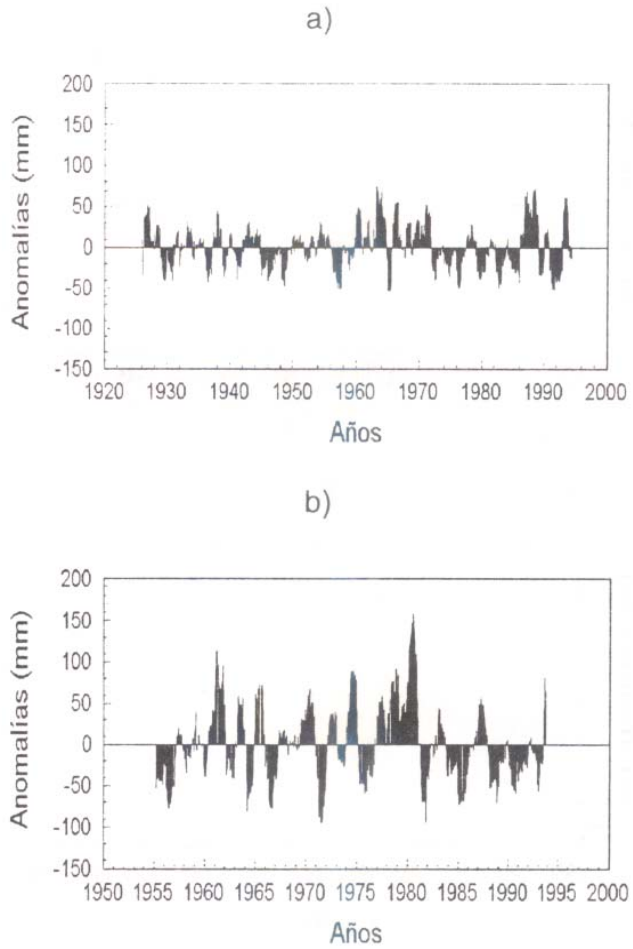

Figura 6. Anomalías de la precipitación total mensual para a) Ingenio Santa Rosa (1926-1994) y b) Macaracas (1955-1994).

importante señalar que en el 77 % de los casos estudiados se registran anomalías negativas de la precipitación durante los años de eventos cálidos. Es importante llamar la atención en la Figura 8 (Gamboa), la fuerte anomalía negativa de la precipitación para el evento El Niño 94-95, lo que contrasta con el comportamiento de la serie para otras ocurrencias del fenómeno. Chepo (Figura 9) presenta por su parte, un continuo déficit en la precipitación para casi todos los eventos cálidos de los noventa.

4.1.3. Caudal

Las anomalías de caudal en las estaciones limnimétricas Interamericana, Río Grande y Candelaria se muestran en la Figura 12. Estas anomalías de caudal son negativas durante los eventos cálidos. La excepción está en la estación Candelaria en el año 1943 que exhibe anomalías positivas. En el 96 % de los casos de El Niño se observan anomalías negativas en el caudal. Obsérvese también, que las tres estaciones tienen una escala vertical igual, lo que nos permite hacer comparaciones entre las variaciones de las anomalías. Se nota que Interamericana muestra los mayores rangos en las anomalías con valores entre -40 a 70 m^3/s, mientras que Río Grande presenta los menores rangos, entre -10 y 20 m^3/s. Véase Parte I (Amador y Olmedo 1998) para una descripción de las características de las cuencas de estos ríos.

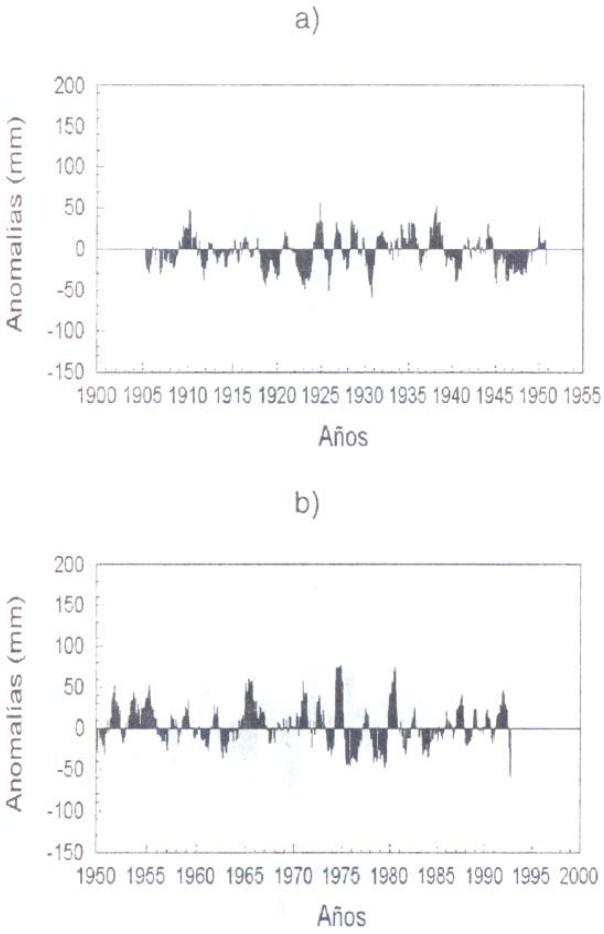

Figura 7. Anomalías de la precipitación total mensual para Altos de Balboa para el período a) (1905-1950) y b) (1950-1993).

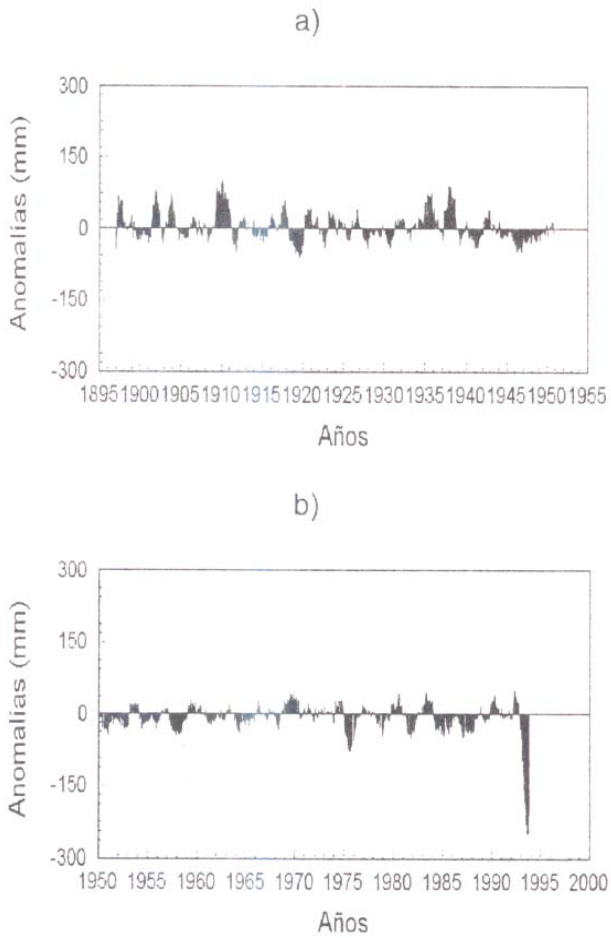

Figura 8. Anomalías de la precipitación total mensual para Gamboa para el período a) (1897-1950) y b) (1950-1994).

4.2. Tendencia de las series

4.2.1. Temperatura

En el Cuadro 1 se presenta el valor de la pendiente de la temperatura (máxima o media, según corresponda), la precipitación y el caudal por mes para todas las estaciones utilizadas y presentadas en las Figuras 1 a 12. La estación Planta Caldera es la que exhibe una mayor pendiente. En la mayoría de las estaciones (88 %), se nota una pendiente positiva. Lo anterior corresponde en promedio a más de 1 °C en las últimas 3 décadas. Mientras que sólo en la estación Los Santos, se muestra tendencia negativa con pendiente de -0.0012 °C por

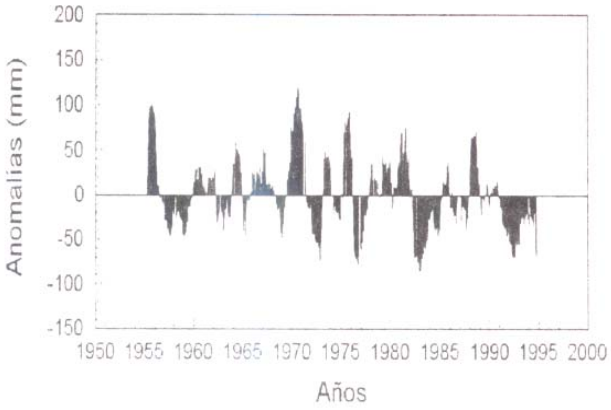

Figura 9. Anomalías de la precipitación total mensual para Chepo (1955-1994).

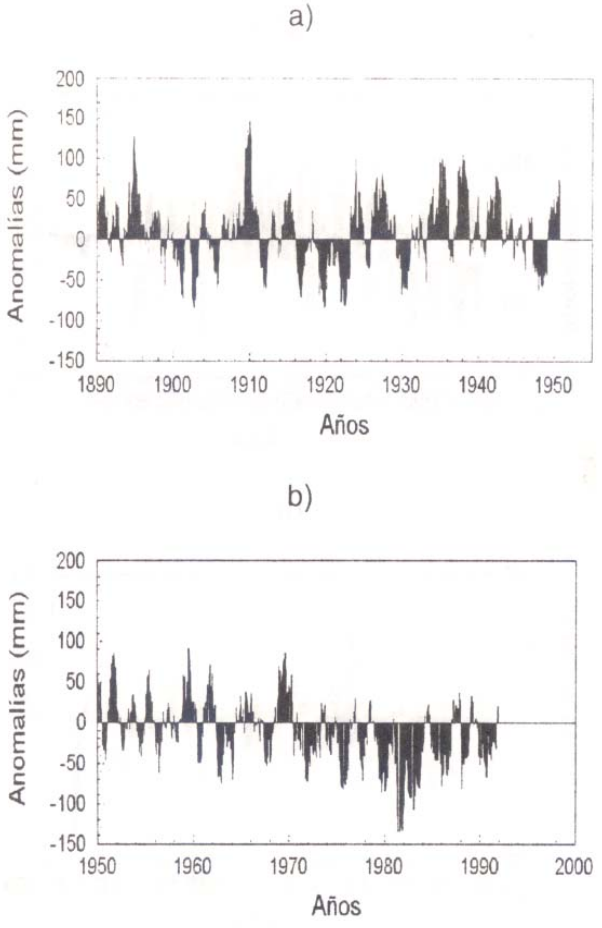

Figura 10. Anomalías de la precipitación total mensual para Cristóbal para el período a) (1890-1950) y b) (1950-1992).

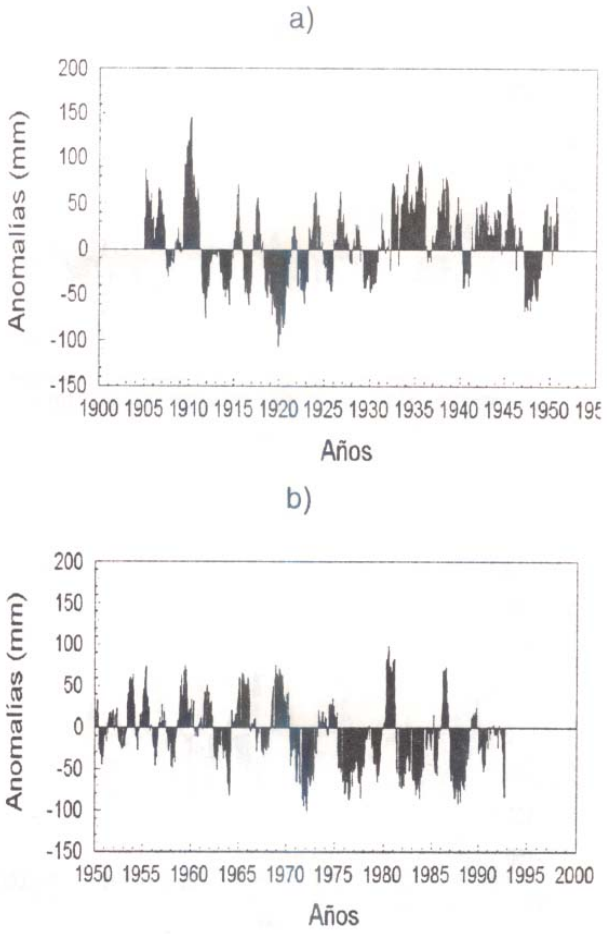

Figura 11. Anomalías de la precipitación total mensual para Gatún para el período a) (1905-1950) y b) (1950-1993).

mes, lo que equivale a un decrecimiento de la temperatura de 0.4 °C en 3 décadas. La tendencia de la temperatura media en las estaciones Altos de Balboa y Cristóbal, presentan un menor incremento de la temperatura por mes, que las de temperatura máxima, sin embargo, nótese que presentan un incremento en la temperatura de 0.9 y 0.5 °C, respectivamente, en aproximadamente 88 años. Ambas incrementos superan lo esperado para la variabilidad natural que es del orden de 0.3 °C en pocas décadas.

4.2.2. Precipitación

En Cuadro 1 se muestra la tendencia de la precipitación en las estaciones estudiadas. En casi todas las estaciones analizadas, la tendencia de la precipitación es negativa. Esta disminución es inconsistente con los resultados de los modelos de circulación general que indican un aumento de las lluvias en la parte sur de la cuenca del Golfo del Caribe (Wigley y Santer 1993), sin embargo, su interpretación debe realizarse con cautela. Planta Caldera presenta la mayor pendiente negativa, con una disminución alrededor de 60 mm en 37 años. Nótese que en el análisis de la pendiente de la temperatura máxima se observó que ésta presenta el mayor incremento en la tm durante el período estudiado. Esta fuerte tendencia en Planta Caldera, contrasta con la tendencia de la precipitación en las estaciones Cañazas, Ingenio Santa Rosa, Macaracas y Altos de Balboa que muestran pendientes menos pronunciadas (Cuadro 1). Nótese además

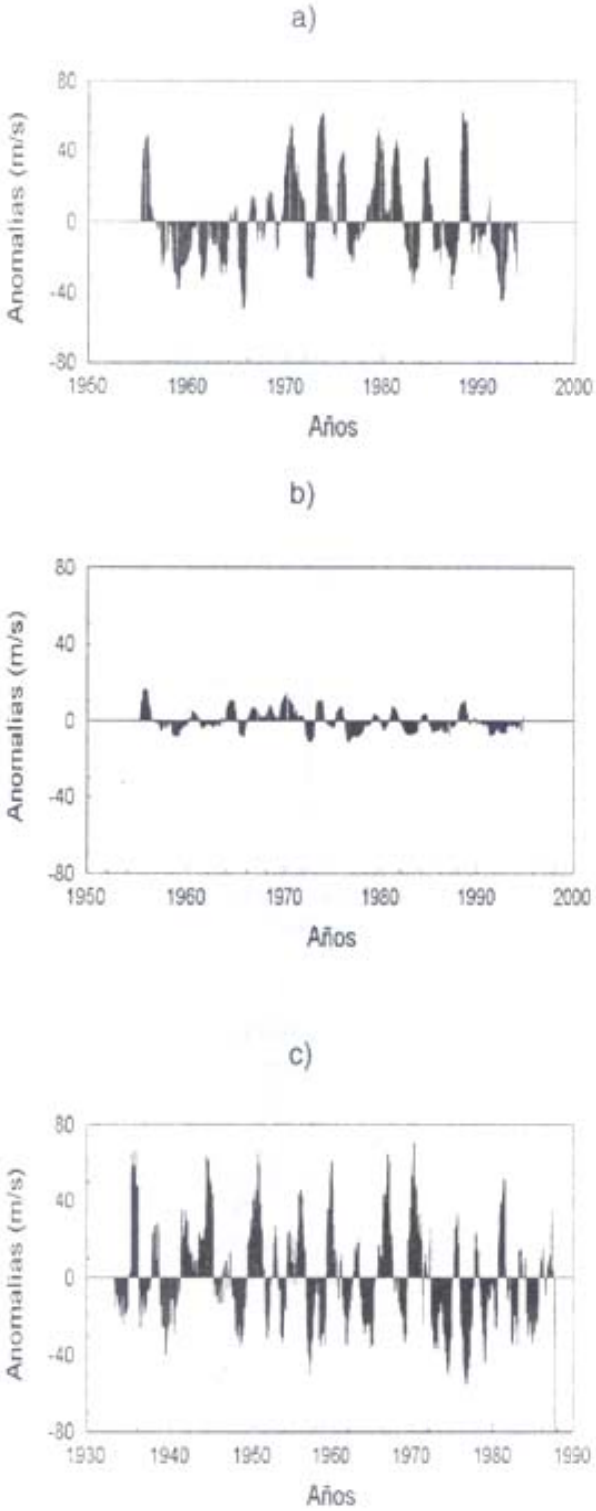

Figura 12. Anomalías del caudal medio mensual para a) Interamericana (1955-1994). b) Río Grande (1955-1994) y c) Candelaria (1933-1987).

que la precipitación en Altos de Balboa presenta una tendencia positiva de 0.009 por mes, lo que representa un incremento de apenas 10.5 mm en 89 años. Cabe destacar que de un total de 9 estaciones de precipitación, sólo una muestra tendencia creciente, mientras que 8 exhiben una pendiente decreciente (89 %).

4.2.3. Caudal

El Cuadro 1 muestra la tendencia del caudal medio mensual en las estaciones Interamericana, Río Grande y Candelaria, respectivamente. Se nota que las dos últimas estaciones presentan una tendencia decreciente, siendo más acentuada en la estación Candelaria, con una disminución de 14.8 m^3/s en 55 años. La estación Interamericana presenta una leve tendencia positiva, del orden de 0.5 m^3/s en 40 años. Compárese el orden de las anomalías de caudal en estas dos estaciones.

5. Conclusiones

Las anomalías de temperatura máxima exhiben mayores rangos que las anomalías de temperatura media. Se ha observado una relación bastante fuerte entre la ocurrencia de un evento cálido (El Niño) y un aumento en la tendencia a corto plazo (1-2 años) en las anomalías de temperatura. De tal forma que en el 90 % de los años El Niño estudiados se observan anomalías positivas de la temperatura. Las anomalías de precipitación y caudal muestran valores negativos durante los años de estos eventos, tal que en el 77% y 96%, de los casos analizados respectivamente, se observa dicha relación.

Las series de temperatura (máxima y media) muestran una tendencia positiva en el 88 % de las estaciones, lo que concuerda con los resultados obtenidos para Panamá por Espinosa (1992), para Costa Rica por Alfaro (1993) y Alfaro y Amador (1996). Sólo la estación Los Santos presenta una pendiente negativa. Se observa que en todas las estaciones la pendiente excede la variabilidad natural lo que podría asociarse a un calentamiento regional por efectos antropogénicos. En promedio, el aumento de la temperatura en las últimas 3 décadas es del orden de 1 °C, lo que parece un poco alto pero con

CUADRO 1

Valores de las tendencias por mes para cada estación

TEMPERATURA MAXIMA	
ESTACION	PENDIENTE (°C/mes)
Cañazas	0.00420
David	0.00208
Ing. Santa Rosa	0.00428
Los Santos	-0.00118
Santiago	0.00198
Planta Caldera	0.00838

TEMPERATURA MEDIA	
ESTACION	PENDIENTE (°C/mes)
Altos de Balboa	0.00090
Cristóbal	0.0005

PRECIPITACION	
ESTACION	PENDIENTE (mm/ mes)
Altos de Balboa	0.00980
Cañazas	-0.01432
Chepo	-0.06634
Cristóbal	-0.03705
Gamboa	-0.02439
Gatún	-0.0356
Ing. Sta. Rosa	-0.00117
Macaracas	-0.01934
Planta Caldera	-0.14164

CAUDAL	
ESTACION	PENDIENTE ((m^3/s)/mes)
Candelaria	-0.02238
Interamericana	0.00105
Río Grande	-0.01062

el signo correcto de acuerdo a las ideas y efecto de un cambio climático regional.

Las series de precipitación muestran una pendiente negativa, salvo la estación Altos de Balboa que exhibe una leve tendencia al aumento. Este último aspecto merece atención posterior en vista de su inconsistencia con los resultados de modelos climáticos para la región (Wigley y Santer 1993). Es importante señalar, que la tendencia de la precipitación no es simple de interpretar a pesar de la congruencia en los resultados obtenidos en relación al valor negativo de la pendiente en casi todas las estaciones.

Las series de caudal muestran una tendencia negativa en dos de las tres estaciones analizadas. Nótese, sin embargo que la tendencia decreciente de las series de caudal medio es consistente con la tendencia negativa de la precipitación en las regiones correspondientes. En la estación Interamericana se observa en contraste con lo anterior una leve tendencia al aumento. El análisis de las tres variables anteriores (la temperatura, precipitación y caudal, es internamente consistente en su comportamiento físico, lo que podría estar asociado a un cambio regional del clima.

A pesar de los resultados encontrados, es necesario incluir mayor número de estaciones en la vertiente del Caribe en futuros estudios para observar más integralmente el comportamiento de las variables estudiadas ante eventos ENOS y posibles tendencias al cambio climático en esa región. Además de lo anterior, es importante entender el comportamiento, la intensidad y organización de los alisios del noreste en el contexto del ENOS y variabilidad climática, ya que como es conocido, este factor altera el clima y distribución estacional de la precipitación (Amador 1998, Magaña et al. 1998).

Agradecimientos

El presente trabajo fue financiado parcialmente por proyectos de la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica (VI-805-94-204 y VI-805- 98-506) y el Instituto Inter-Americano de

Investigación para el Cambio Global (IAI). Se reconoce la colaboración del Dr. F. J. Soley mediante estimulantes discusiones y el acceso al programa del filtro tipo "muesca". Los datos fueron amablemente suministrados por la Comisión del Canal de Panamá y el Instituto de Recursos Hidráulicos y Electrificación (IRHE) Uno de los autores (BAO) agradece al Programa FINNIDA-CRRH el financiamiento para la realización de este trabajo. Un agradecimiento a I. Mora, R. Madrigal, M. Chang, E. Rivera, Z. Umaña y personal del Centro de Investigaciones Geofisicas por su apoyo técnico.

RESUMEN

En este trabajo se analizan series de valores medios mensuales de temperatura máxima y media, de precipitación y caudal para diferentes estaciones en la República de Panamá en relación con El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y cambio climático (CC) en esa región. Un total de veinte series temporales (8 de temperatura, 9 de precipitación y 3 de caudal) convenientemente distribuidas con períodos en general mayores de treinta años, son utilizados para ese fin. Destacan en esas series las temperaturas medias de Altos de Balboa, y Cristóbal, desde principios del siglo XX, la precipitación de Cristóbal y Gamboa, desde finales del siglo XIX y las de caudal de Candelaria, Interamericana y Río Grande, con cuarenta años de información. En la Parte I de esta investigación, las mismas series de temperatura, precipitación y caudal fueron utilizadas para estudiar las características generales y la distribución estacional de esas variables para que sirvieran de marco conceptual al presente estudio (Parte II). Las series fueron desestacionalizadas aplicando el método de las anomalías y luego se suavizaron aplicando medias móviles de once meses. Se aplican técnicas espectrales a los datos con el propósito de identificar y estudiar las señales atmosféricas predominantes y su relación con ENOS y CC. En casi todos los eventos El Niño, se observa una fuerte relación entre la ocurrencia del evento cálido y un aumento de las anomalías de temperatura. Aunque estas anomalías varían para las diferentes estaciones analizadas, se estima que en promedio son del orden de 1 °C para la mayor parte de los eventos El Niño. En el 76 y 96% de los casos, la precipitación y el caudal muestran respectivamente, anomalías negativas durante este fenómeno. En cuanto a la tendencia a largo plazo de los parámetros estudiados, se nota que el 88 % de las estaciones con temperatura, exhiben una pendiente positiva. En promedio, el aumento de la temperatura en las últimas tres décadas es del orden de 1 °C. Para las estaciones con períodos del orden de nueve décadas, el aumento de la temperatura promedio es superior a 0.6 °C durante ese período. Casi todas las estaciones que registran lluvia y caudal muestran una pendiente negativa, lo que en principio parece descartar que este comportamiento corresponda simplemente a una caracteristica aleatoria de las series. El descenso en la lluvia, contrasta con resultados obtenidos por modelos de circulación general, los cuales, indican un aumento de la precipitación en la parte sur de la Cuenca del Caribe.

Apéndice

Lista de abreviaturas

ENOS:	El Niño Oscilación del Sur.
GFDL:	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory.
GISS:	Goddard Institute for Space Studies.
IOS:	Indice de la Oscilación del Sur.
Lat:	Latitud
Lon:	Longitud
msnm:	metros sobre el nivel del mar.
N:	Norte.
O:	Oeste.
OMM:	Organización Meteorológica Mundial.
OSU:	Oregon State University.
tm:	Temperatura máxima.
tp:	Temperatura promedio.
UKMO:	United Kingdom Meteorological Office.

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. Escuela de Física. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

Alfaro, E. y J. Amador. 1996. El Niño-Oscilación del Sur y algunas series de temperatura máxima y brillo solar en Costa Rica. Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos. 3, 19-26.

Alfaro, E. y J. Amador. 1997. Variabilidad y cambio en algunos parámetros sobre Costa Rica y su relación con fenómenos de escala sinóptica y planetaria. Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos. 4,51-62.

Amador, J. 1998. A climatic feature of the tropical Americas: The Trade Wind Easterly Jet. Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos. 5 (2), 91-102.

Amador, J. y E. Alfaro. 1996. La Oscilación Cuasi-Bienal, ENOS y acoplamiento de algunos parametros superfiales y estratosféricos sobre Costa Rica. Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos. 3, 45-54.

Amador, J. y B.A. Olmedo. 1998. Temperatura, precipitación y caudal en Panamá. Parte I: Características generales y distribución estacional, Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos. 5 (2), 120-135.

Conford, S. G. 1997. Impactos humanos y económicos de los fenómenos meteorológicos en 1996. Boletín Organización Meteorológica Mundial. 46,407-427.

Espinosa, M. 1992. Fluctuaciones de la temperatura media y el ozono en Panamá. Programa de Formación Meteorológica Clase II. Trabajo Final. Universidad de Costa Rica.

Fuenzalida, H. y B. Rosenblüth. 1990. Prewhitening of climatological time series. Journal of Climate. 3, 382-393.

Gómez, L. y W. Fernández. 1996. Variación interanual de la temperatura en Costa Rica. Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos. 3, 27-44.

IPCC. 1992. Cambio Climático. Evaluación Científica del IPCC. Versión española de la edición inglesa de J. Houghton, G. Jenkins y J. Ephraums. Cambridge University Press, 210p.

Labeyrie, J. 1988. El hombre y el clima. Editorial Gedisa, S.A. Barcelona, España, 245p.

Magaña, V., J. Amador, and S. Medina. 1998. The Mid-summer drought over México and Central Maerica. Aceptado para publicación en Journal of Climate.

O.M.M. 1994. Vigilancia de la atmósfera global, N. 796. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza, 49p.

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

Soley, F.J. 1994. Suavizamiento de series cronológicas geofísicas con ruido blanco y rojo aditivo. Revista Geofísica, IPGH. 41, 33-58.

Soley, F.J. 1997. Desestacionalización de la secuencia de temperaturas mensuales de la Estación de San José (Costa Rica). Tópicos Meteoológicos y Oceanográficos. 4, 129-146.

Wigley y Santer. 1993. Future Climate of the Gulf/Caribbean Basin from Atmospheric General Circulation Model. Trends, 93. CDIAC.