

Temperatura, Precipitación y Caudal en Panamá Parte I: Características generales y distribución estacional

Jorge A. Amador

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

Berta A. Olmedo¹

*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 are used to study the general features and seasonal distribution of these parameters in the Republic of Panama. These features are utilized as the base for a companion paper on the relationship of temperature, precipitation and discharge with El Niño-Southern Oscillation (ENSO) and climate change in that region (Part II). 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. Maximum temperature data from higher elevation stations show a smaller seasonal distribution amplitude than those at lower sites. Greater variability is found for annual means of maximum temperature and precipitation in stations located at higher elevations. A marked inverse relationship is present between precipitation and temperature (both mean and maximum) observing, as it was expected, the highest temperatures during the dry season. A clear distinction between the dry and wet seasons is found in the Pacific side, where the first one extends from December to April and the second one from May to November. A decrease in the precipitation generally occurs during July, this phenomena being the so-called veranillo. The seasonal distribution of river discharge is quite consistent with that of precipitation. Spectra for the basic data show as expected, a very strong signal corresponding to the annual cycle and its harmonics. It is important to note that signals corresponding to periods from 4 to 6 years (mean occurrence of ENSO events) were also observed in these spectra. Finally, spectra of anomalies for the variables used for some stations showed a signal that could be associated with a long term trend. This trend is analyzed in more detail in Part II of this study.

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: 224-9367; Tel: (506) 207-5096 / 207-5320.

1. Introducción

El clima de una región, como elemento de impacto social, presenta marcadas variaciones espacio-temporales (Cornford 1997). La localización de un lugar (latitud, longitud y altitud) determinan en general aspectos básicos, aunque no siempre determinantes, de las condiciones atmosféricas medias como lo son la radiación recibida y la posible influencia de las masas oceánicas cercanas y la de los fenómenos meteorológicos asociados a condiciones topográficas especiales. La escala espacial de los fenómenos meteorológicos varía desde la escala global de las ondas planetarias hasta la escala local de la convección y fenómenos asociados. En el aspecto temporal, el clima de una región está sujeto a variaciones del orden de varios meses (intraestacionalidad por ejemplo) hasta efectos interanuales, decadales o aún mayores. La presencia de los vientos alisios determina en buena medida el clima y las variaciones estacionales e interanuales de la región, en especial si se considera que los gradientes horizontales de temperatura son generalmente débiles. La precipitación constituye sin duda el elemento más importante; en conjunto con el caudal, como variable integradora de la lluvia en una cuenca. La distribución estacional de la precipitación depende en muchos casos de la intensidad de los alisios y de la presencia de corrientes organizadas en el Caribe como es el caso de la corriente en chorro en los estes que se desarrolla a principios del verano del hemisferio Norte (mayo), alcanzando sus valores máximos en julio en bajo nivel (alrededor de 925 mb) y que decrece luego en intensidad desde este mes hasta setiembre (Amador 1998). La presencia de una disminución en la lluvia “el veranillo”, en especial en la región Pacífica durante julio-agosto ha sido estudiada recientemente por Magaña et al. (1998) y constituye un importante elemento climático que afecta Panamá. Dos conceptos ligados al de variabilidad climática que han recibido especial atención en los últimos años son El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), Quinn et al. 1987, y el cambio climático (IPCC 1992, OMM 1994). En ambos casos, la escala espacial predominante es regional o global y la escala temporal es superior al ciclo anual determinado por factores astronómicos. En relación con la temperatura, otros trabajos como los de Alfaro y Amador (1996), Gómez y Fernández

(1996) y Amador y Alfaro (1997) muestran interesantes relaciones del comportamiento de esta variable con eventos ENOS y cambio climático en Costa Rica. Desde esa perspectiva es importante extender algunos aspectos de esos trabajos a regiones cercanas como es el caso de Panamá.

En este trabajo, se utilizan datos de temperatura (máxima y media), precipitación y caudal de varias estaciones de la República de Panamá para caracterizar de manera general la distribución espacial y estacional de esos parámetros sobre esa región. Se pone especial énfasis en determinar la estacionalidad y la importancia del ciclo anual, así como los rasgos de variación en función de la altitud. Lo anterior permitiría establecer condiciones típicas o normales que puedan ser evaluadas y sustraídas de las series originales para el estudio de la influencia del ENOS en esas regiones y que pueden ser consideradas para analizar el comportamiento a largo plazo de esas variables y su interpretación en el marco del cambio climático global. Los resultados de la influencia del ENOS en esas variables y aspectos varios relacionados con el problema del cambio climático son reportados en un trabajo que acompaña al presente (Parte II, Amador y Olmedo, 1998).

En la siguiente sección, se presenta el área de estudio y la información meteorológica utilizada. Los datos son considerados como de singular calidad en relación con los objetivos planteados en esta parte y en el trabajo que le acompaña sobre ENOS y cambio climático en Panamá. (Parte II). Seguidamente se presenta el método de trabajo y posteriormente un análisis de los resultados encontrados sobre las características generales y la distribución estacional de la temperatura, la precipitación y el caudal para las estaciones utilizadas en la República de Panamá.

2. Área de estudio e información utilizada

2.1. Área

La siguiente descripción ha sido adaptada del Atlas Nacional de Panamá (1988). La República de Panamá tiene forma de “S” alargada en el sentido de los paralelos. Limita al norte con el mar Caribe, al sur con el Océano Pacífico, al este con la República

de Colombia y al oeste con la República de Costa Rica. Se localiza entre los $7^{\circ}12'07''$ y $9^{\circ}38'46''$ de latitud N y entre $77^{\circ}09'24''$ y $83^{\circ}03'07''$ de longitud O. Las costas en el mar Caribe se extienden 1287 km y en el Pacífico 1700 km, siendo ésta más extensa y sinuosa que la del Caribe.

En el relieve panameño predominan las tierras bajas y colinas con menos de 700 metros de altitud, que representan aproximadamente el 70% del territorio nacional. A ellas, pertenecen las llanuras de la vertiente Pacífica, regadas por largos y caudalosos ríos como: Río Grande, Chiriquí y otros. Las llanuras costeras de la vertiente del Caribe, de menor amplitud que las del Pacífico, están regadas entre otros por los ríos Pequení y Chagres, éste último de gran longitud y amplia cuenca. Las aguas en el curso medio de este río, forman los lagos Gatún y Alajuela, indispensables para el funcionamiento del Canal de Panamá. Las tierras panameñas con altitudes superiores a 700 metros, representan al 30% de la superficie del país, a ellas pertenece el Volcán Barú (máxima elevación con 3475 m), la Cordillera Central, las Serranías de San Blas, del Darién, de Majé, del Sapo, del Pirre, el Macizo del Canajagua y la Cadena Occidental de la Península de Azúero. La Cordillera Central es el arco montañoso extendido desde la frontera con Costa Rica hasta el centro del Istmo, con elevaciones que decrecen gradualmente de oeste a este.

La migración estacional de las masas de aire tropical del Pacífico y subtropical del Atlántico, constituyen un factor importante en los patrones de precipitación en Panamá. Estas migraciones en combinación con la orografía local, establecen áreas con totales anuales diferentes y dan origen a regímenes de precipitación complejos y temporalmente muy variables. Otros factores que afectan el clima de este país están relacionados con la migración latitudinal de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCI), con variaciones en la intensidad de la ZCI (Magaña et al. 1998) y con fluctuaciones y grado de organización de los alisios (Amador 1998).

A continuación se hace una descripción de las cuencas bañadas por los ríos: Chiriquí, Grande, y Pequení (incluida en la cuenca del río Chagres) donde

se localizan las estaciones limnigráficas Interamericana, Río Grande y Candelaria respectivamente, utilizadas en este trabajo.

2.2. Características generales de las cuencas

2.2.1. Río Chiriquí

La Cuenca del Río Chiriquí se encuentra ubicada en la provincia de Chiriquí entre las coordenadas $8^{\circ}15'$ y $8^{\circ}50'$ de latitud N y $82^{\circ}10'$ y $82^{\circ}30'$ de longitud O. En esta cuenca se ubica la estación limnigráfica Interamericana, a 10 msnm y cercana a la costa. El área de drenaje total de la cuenca es de 1929 km², hasta la desembocadura al mar y la longitud del río principal es de 135 km. La elevación media de la cuenca es de 270 msnm, y la elevación máxima se encuentra ubicada en el Volcán Barú, al noroeste de la cuenca con una altitud de 3474 msnm. La cuenca registra una precipitación media anual de 3600 mm, oscila entre 2500 mm cerca de las costas y 8000 mm en la cuenca alta del Río Chiriquí y del Río Gualaca. El 90 % de las lluvias ocurre aproximadamente entre los meses de mayo a noviembre y el 10 % restante se registra entre los meses de diciembre a abril.

2.2.2. Río Grande

La cuenca del Río Grande se encuentra localizada en la vertiente del Pacífico, provincia de Coclé entre las coordenadas $8^{\circ}43'$ de latitud N y $80^{\circ}07'$ y $80^{\circ}53'$ de longitud O. En la misma se localiza la estación limnigráfica Río Grande, a 15 msnm. El área de drenaje total de la cuenca es de 2515 km² hasta la desembocadura al mar y la longitud del río principal es de 94 km. La elevación media de la cuenca es de 150 msnm, y el punto más alto de la cuenca se encuentra en la Cordillera Central con una elevación máxima de 1448 msnm. La cuenca registra una precipitación media anual de 2000 mm. Las lluvias se distribuyen gradualmente desde el centro de la cuenca con un aproximado de 3000 mm/año, hacia el litoral con 1500 mm/año. El 90% de la lluvia ocurre entre los meses de mayo a noviembre y el 10% restante se registra entre los meses de diciembre a abril.

2.2.3. Río Chagres

La cuenca del río Chagres o cuenca del canal (incluye al Río Pequení), se encuentra localizada en el área central del país y abarca parte de las provincias de Panamá y Colón. Sus coordenadas geográficas son 8°38' y 9°31' de latitud N y 79°15' y 80°06' de longitud O. Dentro de esta cuenca se encuentra el Río Pequení con la estación limnigráfica Candelaria. El área de drenaje total de la cuenca es de 3317 km² hasta la desembocadura al mar, siendo el río Chagres el más importante de la cuenca. La elevación media de la cuenca es de 100 msnm y el punto más alto se encuentra en el extremo suroeste a una elevación máxima de 1010 msnm cerca del nacimiento del río Ciri. La cuenca registra una precipitación media anual de 2600 mm. Aproximadamente en el 70% de los valores de la cuenca las precipitaciones oscilan entre 2000 y 3200 mm. El 90% de las lluvias ocurre aproximadamente entre los meses de mayo a noviembre y el 10% restante se registra entre los meses de diciembre hasta abril.

3. Información utilizada

En el Cuadro 1 se muestra la ubicación y período de las estaciones utilizadas en el estudio según la variable meteorológica. 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). Se encontraron algunos errores en estaciones como Cristóbal (precipitación), 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.

Para la realización de este trabajo se seleccionaron las estaciones con períodos más largos y series más completas. Aquí es importante hacer

notar que la cantidad de datos faltantes en cualquiera de las estaciones utilizadas es inferior al 5% del total de datos. 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 Atlántica. 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 en 09°22' de latitud N y 79°53' longitud O a una altura de 10 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. Compárese la ubicación de las estaciones en el Cuadro 1.

4. Método

Las series utilizadas fueron separadas en dos componentes básicas relacionadas una con frecuencias menores o iguales a la anual y la otra con frecuencias mayores al ciclo anual. La separación de estas componentes se realiza mediante un simple proceso de desestacionalización de las series; es decir, encontrando los valores o desviaciones con respecto a los valores normales. Este método ha sido utilizado anteriormente en Alfaro y Amador (1996) y Amador y Alfaro (1997).

Los valores normales fueron estimados mediante el promedio aritmético simple para cada mes en particular utilizando para ello todos los datos disponibles para el período analizado (Cuadro 1). Los datos faltantes fueron sustituidos con el promedio mensual de la serie. Este procedimiento permite mantener la serie sin cambios en sus parámetros estadísticos. Una vez solucionado el problema de datos faltantes se procedió a desestacionalizar la serie, aplicando el método de las anomalías. Este consiste en el cálculo de cada una de las desviaciones con respecto al valor normal o media mensual.

Se realizaron algunas pruebas para contrastar las bondades del filtro "tipo muesca" en este tipo de estudios (Fuenzalida y Rosenblüth, 1990). El programa del filtro fue realizado por investigadores del CIGEFI y el filtro tipo muesca es utilizado para

CUADRO 1
Características, localización de las estaciones y período utilizado.

TEMPERATURA MAXIMA					
ESTACION	PROVINCIA	LAT. N.	LONG. O.	ALTITUD (msnm)	PERIODO (AÑOS)
Cañazas	Veraguas	08°19'	81°13'	200	1978-93
David	Chiriquí	08°24'	82°25'	27	1971-93
Ing. Santa Rosa	Cocle	08°11'	80°40'	26	1973-93
Los Santos	Los Santos	07°57'	80°25'	16	1965-93
Santiago	Veraguas	08°05'	80°58'	80	1972-94
Planta Caldera	Chiriquí	08°43'	82°28'	920	1958-93

TEMPERATURA MEDIA					
ESTACION	PROVINCIA	LAT. N.	LONG. O.	ELEVACION (msnm)	PERIODO (AÑOS)
Altos de Balboa	Panamá	08°57'	79°33'	30	1905-92
Cristóbal	Colón	09°21'	79°54'	12	1907-93

PRECIPITACION					
ESTACION	PROVINCIA	LAT. N.	LONG. O.	ELEVACION (msnm)	PERIODO (AÑOS)
Altos de Balboa	Panamá	08°57'	79°33'	30	1905-93
Cañazas	Veraguas	08°19'	81°13'	200	1956-94
Chepo	Panamá	09°10'	79°05'	30	1955-94
Cristóbal	Colón	09°21'	79°54'	12	1890-92*
Gamboa	Panamá	09°07'	79°42'	34	1897-93*
Gatún	Colón	09°16'	79°56'	29	1905-93
Ing. Santa Rosa	Cocle	08°11'	80°44'	26	1926-94
Macaracas	Los Santos	07°44'	80°33'	80	1955-94
Planta Caldera	Chiriquí	08°43'	82°28'	920	1958-94

CAUDAL					
ESTACION	RIO	PROVINCIA	LAT. N.	LONG. N	PERIODO
Candelaria	Pequení	Colón	09°23'	79°32'	1933-87
Interamericana	Chiriquí	Chiriquí	08°25'	82°21'	1955-94
Río Grande	Grande	Cocle	08°26'	80°30'	1955-94

*Estas series empiezan en el siglo pasado y terminan en el presente.

extraer periodicidades de la serie (Soley 1997). Si este filtro se usa para cada frecuencia que se desea eliminar, como consecuencia se pierden dos valores por cada aplicación que se realice, lo cual en algunos casos es una seria limitante pues reduce la longitud de las series de datos.

Otro método utilizado en el presente trabajo es el análisis espectral, el cual permite estudiar aspectos relacionados con la periodicidad de los datos. En este trabajo se calcularon los 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. Las anomalías fueron suavizadas por medio del método de medias móviles con una función lineal de once meses, con lo que se eliminó parcialmente algunas contribuciones menores a un año. Para mayores detalles del método refiérase a Alfaro (1993) y Alfaro y Amador (1996). Soley (1994) brinda información detallada sobre el uso de funciones de filtrado como las utilizadas aquí y algunas de sus limitaciones.

5. Análisis de resultados

La Figura 1a, muestra el espectro de temperatura media mensual de Altos de Balboa. El espectro de

los datos de temperatura media después de haber eliminado la señal correspondiente a un año por medio del filtro de Fuenzalida y Rosenbluth (1990) fue también calculado pero no se muestra. El filtro sólo removió, como se esperaba, la componente anual, dejando los armónicos. Si se desea remover los armónicos, se debe realizar una aplicación del filtro por cada frecuencia que se desea eliminar. Esto representa una desventaja, ya que por cada aplicación se pierden dos valores (el primero y el último) de la serie, lo que es inconveniente en especial en series con períodos relativamente cortos. La Figura 1b exhibe el espectro de la temperatura media de Altos de Balboa después de haber sido desestacionalizada

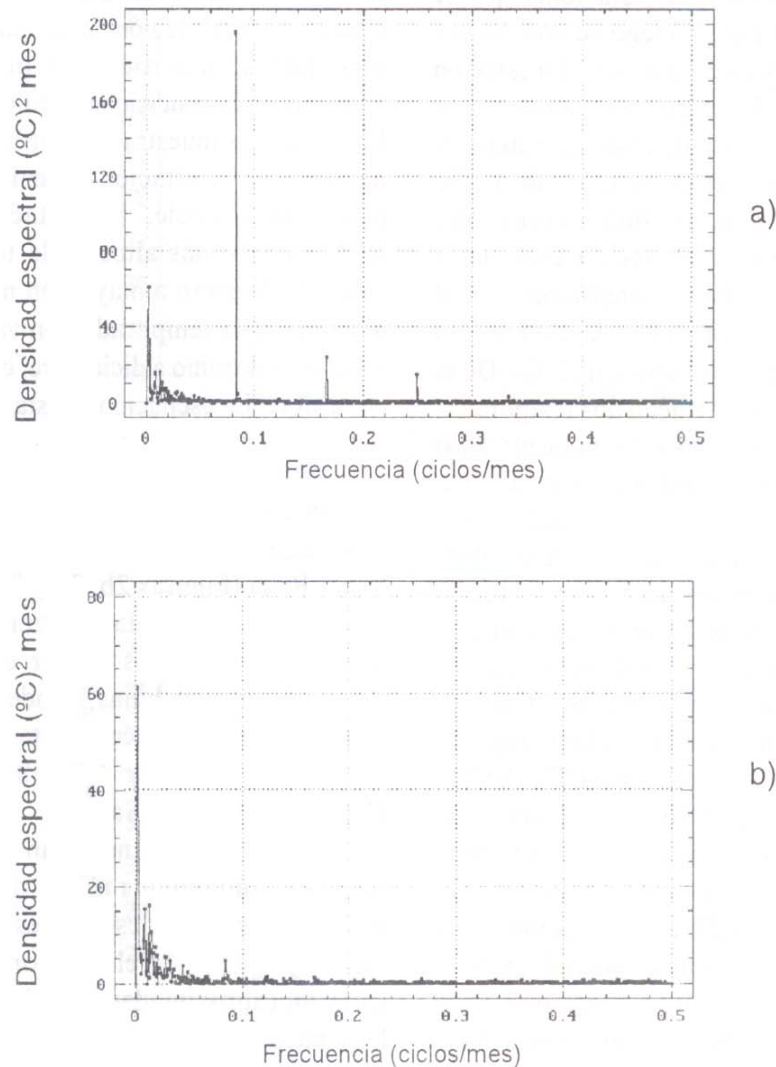


Figura 1. Densidad espectral de temperatura media mensual, Altos de Balboa (1905-1992) para a) serie original y b) datos desestacionalizados.

por medio del método estándar. Se puede observar la desaparición de la señal correspondiente al año y sus armónicos (desestacionalización). Se nota, además, que no elimina señales en frecuencias que corresponden a períodos superiores al año y que permite ampliar la escala de densidades espectrales para que éstas puedan ser analizadas con mayor comodidad. Es importante señalar que utilizando el método tradicional para desestacionalizar se mantiene el número original de datos de la serie.

5.1. Comportamiento estacional y general de las series

5.1.1. Temperatura máxima

El análisis se inicia con las estaciones que se encuentran al oeste del país y luego se consideran las situadas en el centro y este del mismo. La estación Planta Caldera, Figura 2a, registra un aumento en la temperatura máxima (*tm*) de enero a marzo y alcanza sus máximos valores en marzo y abril. Se observa un descenso de la temperatura máxima entre junio y octubre, con mínimos relativos en esos meses y un máximo relativo en julio, consistente con el veranillo en la precipitación. En esta estación el rango en la temperatura es del orden de 2°C. De la Figura 2b, *tm* de David, se destacan dos temporadas bien definidas. Una con valores relativamente altos de la variable, desde enero a marzo y con máximo absoluto en este mes. La otra temporada, con valores menores en la *tm*, se extiende de junio a octubre, con un mínimo absoluto en este mes. La oscilación de *tm* para esta estación es de aproximadamente 4°C. Comparando ambas estaciones destacan valores más bajos de temperatura máxima en Planta Caldera, con promedio de 25°C, mientras que David registra valores más altos, con promedio de 31°C. Ambas estaciones se ubican en la provincia de Chiriquí, la primera localizada a sotavento en la Cordillera Central a 920 msnm y la segunda al sur de la provincia, cerca de la costa Pacífica a 27 m de elevación. Esta diferencia en la localización y altitud explica parcialmente el comportamiento que se observa en la *tm* en ambas estaciones (Hufty 1984). Continuando con el análisis hacia el centro del país, en la provincia de Veraguas, se encuentran las estaciones Cañazas y Santiago. En Cañazas, Figura 2c, destacan también dos épocas bien definidas. La más cálida que se

inicia en enero y finaliza en abril. De julio a diciembre la *tm* asume valores más bajos, con un mínimo absoluto en octubre. En las últimas dos estaciones no se observa el máximo relativo en julio-agosto como si sucede en estaciones de la región que muestra la influencia del veranillo (Magaña et al. 1998).

La estación Santiago, Figura 3a, manifiesta al igual que Cañazas, dos temporadas bien definidas. Un período en que la temperatura se eleva, que se extiende de enero a marzo. El otro período abarca los meses de junio a diciembre, con mínimo absoluto en octubre. Se hace notar que la oscilación en la *tm* es mayor en Santiago, a 80 msnm, con 4.5°C aproximadamente que en Cañazas (200 msnm) donde es de 2.5°C. Se observa nuevamente que a pesar de estar en la misma región, las amplitudes son diferentes, poniendo de manifiesto el posible efecto en la temperatura de condiciones locales en estas estaciones. La Figura 3b, muestra el comportamiento estacional de la *tm* en la estación Ingenio Santa Rosa en la provincia de Coclé. Se destacan dos temporadas, la de valores más altos en la temperatura, que se extiende de enero a mayo con máximo absoluto en abril. La otra temporada con valores más bajos de *tm* abarca de junio a diciembre, con mínimo absoluto en octubre. La oscilación en esta estación es de 4.0°C.

Observando el comportamiento de la *tm* del conjunto de estaciones, podemos destacar la gran semejanza que existe entre David, Santiago, e Ingenio Santa Rosa (Figuras 2b, 3a y 3b respectivamente). En estas estaciones, la oscilación durante la época de enero a marzo es mayor que en la época de temperaturas más bajas, donde el comportamiento es un poco más homogéneo. Estas estaciones presentan elevaciones alrededor de los 80 m. Las estaciones Cañazas y Los Santos, Figuras 2c y 3c respectivamente, manifiestan un comportamiento semejante durante los meses de enero a junio. Se nota además que las estaciones más altas presentan un rango menor en el comportamiento estacional de la *tm* (aproximadamente 2.5°C), mientras que, las estaciones con menor elevación, manifiestan mayor oscilación de la variable con aproximadamente 4°C.

Se analizaron los datos disponibles en cuanto al comportamiento general anual de las series de

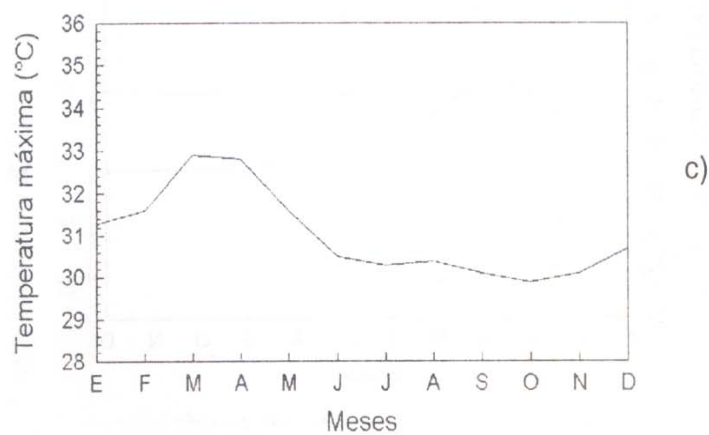
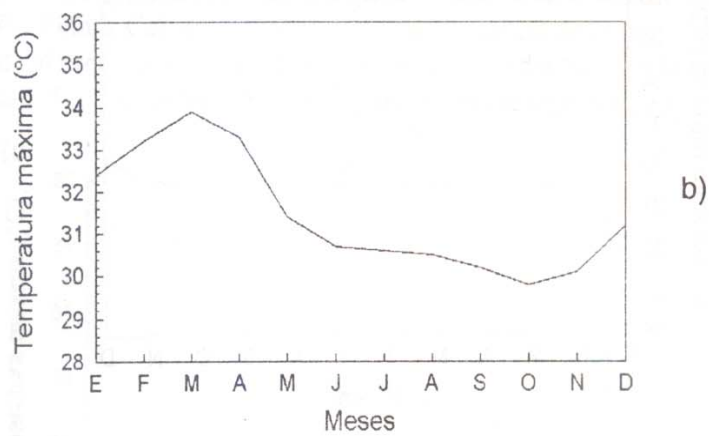
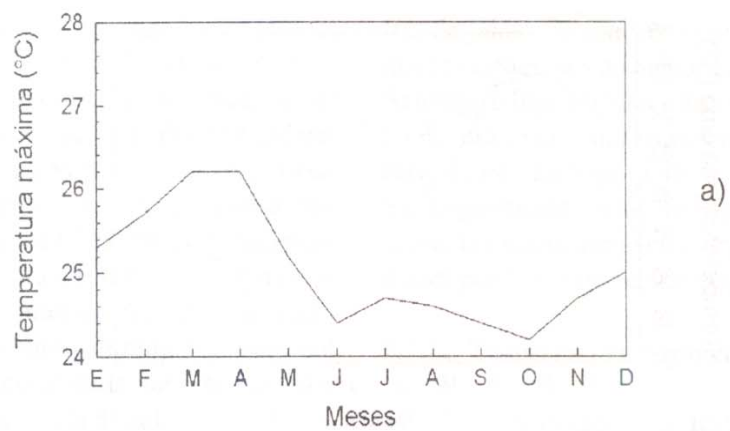
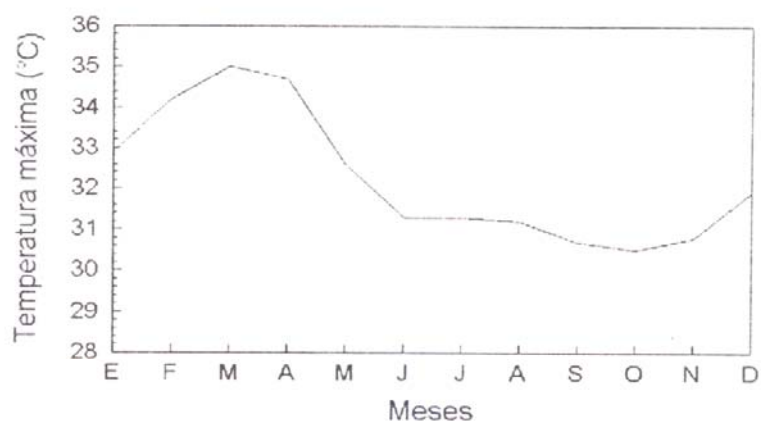
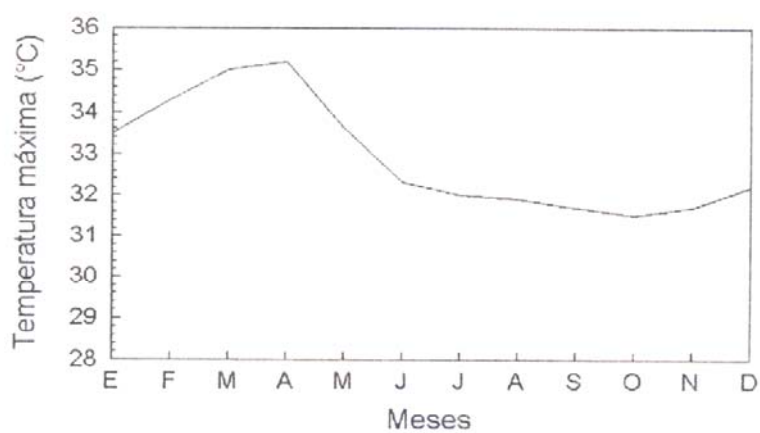


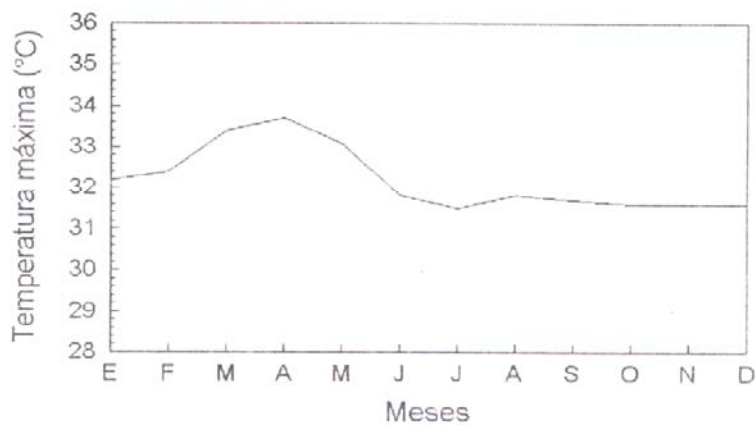
Figura 2. Temperatura máxima media mensual para a) Planta Caldera (1958-1993), b) David (1971-1993) y c) Cañazas (1978-1993).



a)



b)



c)

Figura 3. Temperatura máxima media mensual para a) Santiago (1972-1993), b) Ingenio Santa Rosa (1973-1993) y c) Los Santos (1965-1993).

tm y se observó gran semejanza entre las estaciones Planta Caldera, David, Cañazas, Santiago e Ingenio Santa Rosa. La Figura 4a representa el comportamiento de la serie de *tm* de Planta Caldera. Se eligió sólo esta estación, ya que registra el período más largo de observaciones y presenta las características típicas de las otras estaciones mencionadas. De la Figura 4a, se notan subperíodos en los que la *tm* manifiesta determinado comportamiento, por ejemplo: durante la década del 60 la distribución temporal de la serie es bastante homogénea, comparada con la década del 70, donde se observa una mayor oscilación de la variable e inclusive, el promedio de la década es superior al de la década anterior. A partir de 1985 se nota otro subperíodo con oscilaciones cuyo promedio es mayor al de la década del 70. En Planta Caldera se nota una tendencia pronunciada al ascenso de la variable en discusión del orden de 1.5 a 2°C en las últimas

tres décadas. En contraste con lo anterior, se observó que las estaciones de menor elevación como: David, Santiago e Ingenio Santa Rosa, presentan una menor tendencia en el comportamiento general anual de la serie de *tm*. La Figura 4b, que presenta la estación Santiago (típica de las de bajo nivel y única que se presenta) manifiesta tendencia al ascenso pero de menor pendiente que en las estaciones de más altura.

5.1.2. Temperatura promedio

De las estaciones Balboa y Cristóbal se obtuvieron valores de la temperatura promedio (*tp*). La Figura 5, presenta el comportamiento estacional de la *tp* de la estación Balboa. Se nota un período de aumento de la temperatura de enero a abril, con un máximo absoluto en este mes. De junio a diciembre, se observa un descenso en la temperatura; en octubre y noviembre se registran los mínimos de dicha variable.

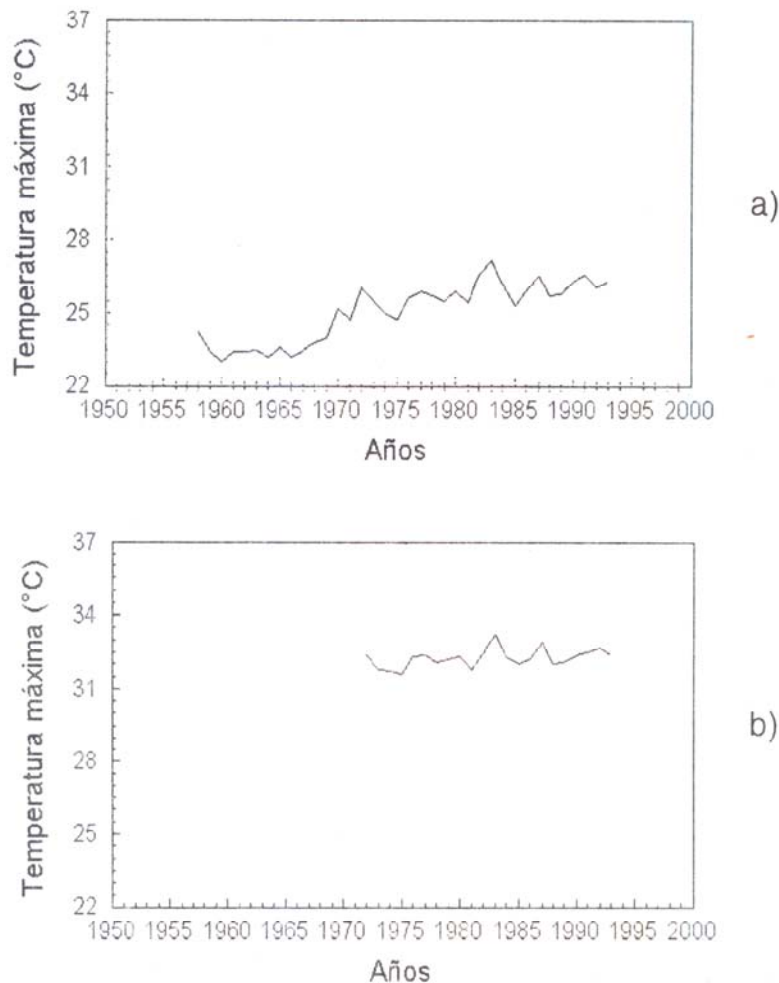


Figura 4. Temperatura máxima media anual para a) Planta Caldera (1958-1993), y b) Santiago (1972-1993).

La oscilación de la temperatura en esta estación es de aproximadamente 1.5°C . Balboa se encuentra en la costa del Pacífico en la entrada del Canal de Panamá. Al observar la gráfica, parece tener un régimen mixto, comportándose durante la época cálida como una estación del Pacífico con máximo absoluto en abril. De junio a diciembre su comportamiento es muy homogéneo, inclusive, no se destaca un mínimo absoluto. Es probable que este comportamiento de la *tp* sea debido a algún efecto local por la cercanía del océano y la configuración tierra-agua del Canal de Panamá.

5.1.3. Precipitación

Como en el caso de la temperatura, el análisis se realiza desde el oeste hacia el centro y este del país, asociando las estaciones con régimen de

precipitación similar. Al observar el comportamiento de la serie anual de totales de precipitación de Cristóbal y Gatún, se nota gran semejanza entre ellas. La Figura 6 presenta a Cristóbal por tener el registro más largo. En ambas estaciones se observa una ligera tendencia de descenso de las lluvias en las últimas décadas. Se destaca que, las estaciones de altura presentan mayores oscilaciones en los valores de los totales anuales de precipitación, en contraste con las estaciones de elevaciones menores donde se registran variaciones anuales menores de esta variable.

5.2. Análisis de los espectros de anomalías

5.2.1. Temperatura

Se nota que todas las estaciones presentan un efecto estacional. En ellas se define como señal

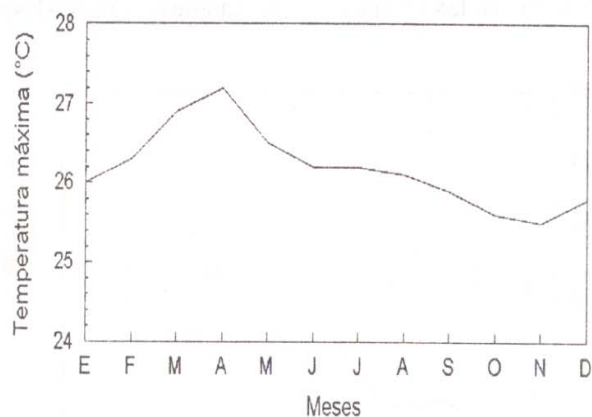


Figura 5. Temperatura promedio mensual, Altos de Balboa (1905-1992).

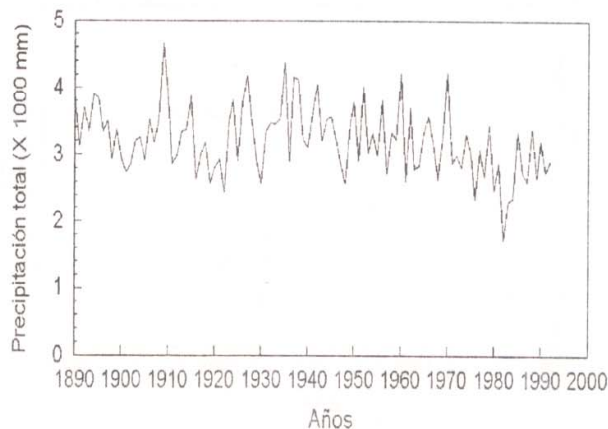


Figura 6. Precipitación total anual, Cristóbal (1890-1992).

principal la componente anual y en menor importancia sus armónicos. Este comportamiento es semejante en la temperatura máxima y la temperatura media. En la Figura 7a se presenta el espectro de temperatura máxima en Planta Caldera. Como el comportamiento de los espectros presenta los mismos rasgos característicos en todas las estaciones, salvo pequeñas variaciones en la densidad espectral, no se muestran los espectros de las estaciones restantes. En la citada figura, nótese la marcada tendencia que presenta dicha estación, la misma corresponde a más de 30 años, lo que equivale aproximadamente a poco menos del período de registro en Planta Caldera. En la Figura 7b se presenta el espectro de las anomalías

de tm y puede observarse que se han removido la componente anual y sus armónicos.

5.2.2. Caudal

La Figura 8, muestra el periodograma de anomalías de caudal de la estación Interamericana. En el mismo, se nota la eliminación de las componentes anual y su armónicos. Al desestacionalizar se logra destacar las señales en frecuencia superiores al año, también se observa señales de ruido en las frecuencias menores a éste. Del análisis del espectro de anomalías resalta el hecho de la eliminación de la señal anual y sus armónicos. En los períodos superiores al año

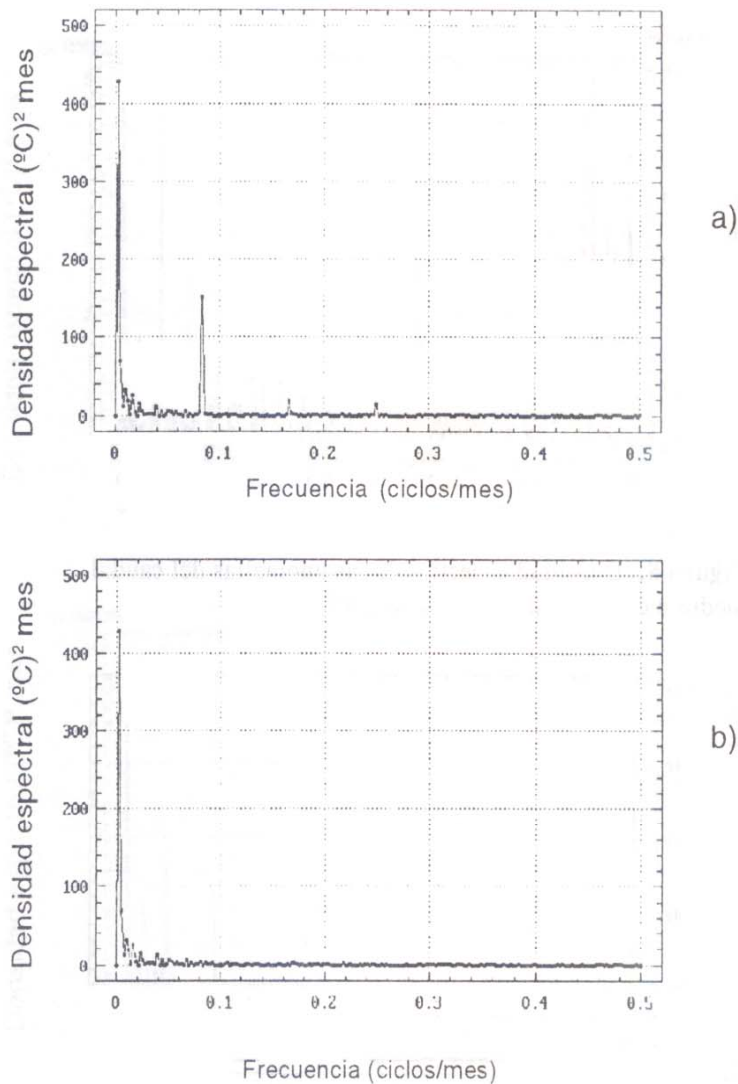


Figura 7. Densidad espectral de a) temperatura máxima media mensual y b) anomalías de la temperatura máxima para Planta Caldera, (1958-1993).

se observan con más claridad las señales de tendencia y las anomalías asociadas a periodos asociados al ENOS.

5.3. Espectros de anomalías suavizadas

5.3.1. Temperatura

Para comparar el efecto del suavizado sobre las anomalías se ha incluido el espectro de anomalías suavizadas. En la Figura 9, se muestra el espectro suavizado de Planta Caldera, las estaciones restantes no se presentan. Con el suavizado resulta que los pequeños picos que se notaban en las frecuencias

menores a un año se han reducido (Figura 7b). Este efecto no es muy evidente en las Figura 7b debido a factores de escala. Nótese que prácticamente no hay variación en la densidad espectral en las frecuencias correspondientes a periodos mayores a un año.

5.3.2. Precipitación

En todas las estaciones se destaca la eliminación del ruido en las frecuencias menores e iguales al año. Se ha elegido Planta Caldera (Figura 10) para ilustrar este y otros aspectos. Obsérvese que no hay

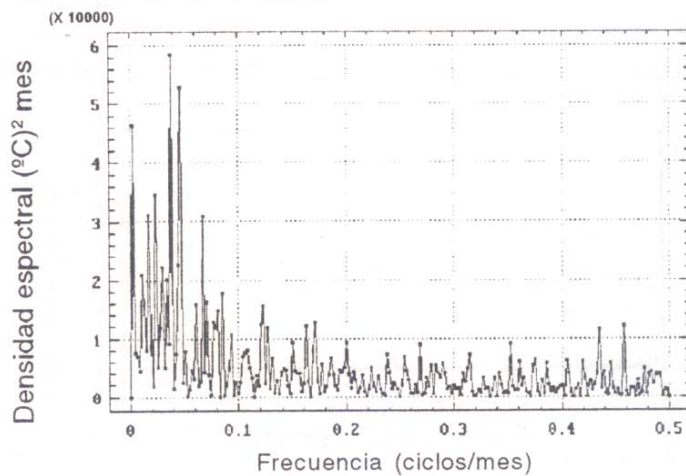


Figura 8. Densidad espectral de las anomalías del caudal medio mensual, Interamericana (1955-1994).

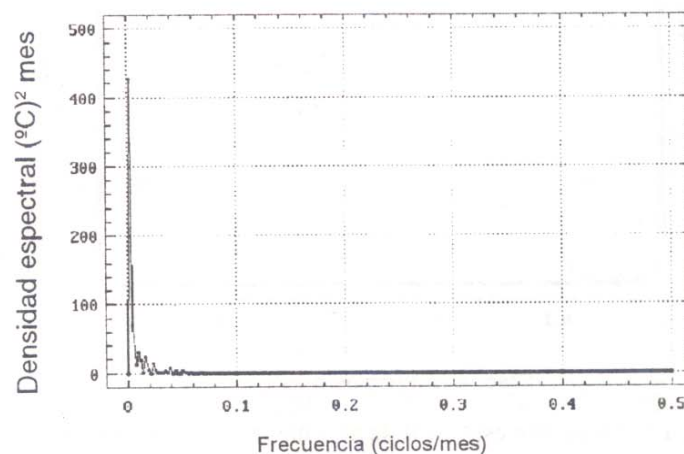


Figura 9. Densidad espectral de las anomalías suavizadas de la temperatura máxima, Planta Caldera, (1958-1993).

se destacan con más claridad las señales de tendencia y las relativas a períodos asociados al ENOS.

5.3. Espectros de anomalías suavizadas

5.3.1. Temperatura

Para comparar el efecto del suavizado sobre las anomalías se ha incluido el espectro de anomalías suavizadas. En la Figura 9, se muestra el espectro suavizado de Planta Caldera, las estaciones restantes no se presentan. Con el suavizado resulta que los pequeños picos que se notaban en las frecuencias

menores a un año se han reducido (Figura 7b). Este efecto no es muy evidente en las Figura 7b y 9 debido a factores de escala. Nótese que prácticamente no hay variación en la densidad espectral en las frecuencias correspondientes a períodos mayores a un año.

5.3.2. Precipitación

En todas las estaciones se destaca la eliminación del ruido en las frecuencias menores e iguales al año. Se ha elegido Planta Caldera (Figura 10) para ilustrar este y otros aspectos. Obsérvese que no hay

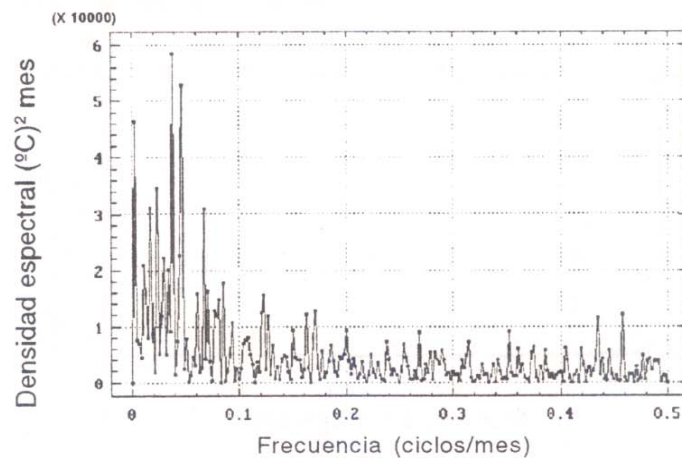


Figura 8. Densidad espectral de las anomalías del caudal medio mensual, Interamericana (1955-1994).

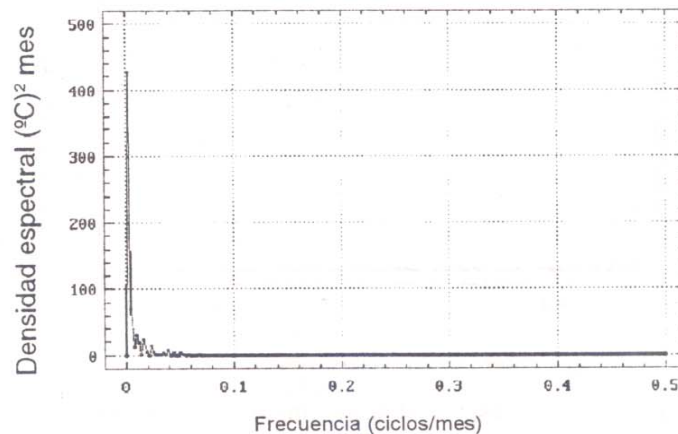


Figura 9. Densidad espectral de las anomalías suavizadas de la temperatura máxima, Planta Caldera, (1958-1993).

cambio en la densidad espectral de la frecuencia correspondiente a la tendencia de la serie; sin embargo si logra disminuir la densidad espectral en otras frecuencias mayores al año (Figura 10a). Para ilustrar este aspecto, la Figura 10b muestra el comportamiento del espectro de anomalías de precipitación suavizadas de Planta Caldera. No se muestran los resultados para otras estaciones pues presentan un comportamiento semejante.

6. Comentarios Finales

Desde el punto de vista de las técnicas utilizadas, se observó la ventaja del método tradicional para

desestacionalizar sobre el método por medio del filtro de "tipo muesca". La desestacionalización aplicando el método tradicional elimina la señal correspondiente a la frecuencia anual y todos sus armónicos, manteniendo el número original de datos. Al utilizar el filtro, se debe hacer una aplicación del programa por cada frecuencia que se desea eliminar, con la desventaja de que se pierden dos datos (el primero y el último), cada vez que se utiliza dicho proceso. De las series de temperatura máxima se observa que las estaciones más altas presentan un rango menor en el comportamiento estacional, mientras que las estaciones ubicadas a menor elevación muestran mayor oscilación de la variable. Las series de temperatura

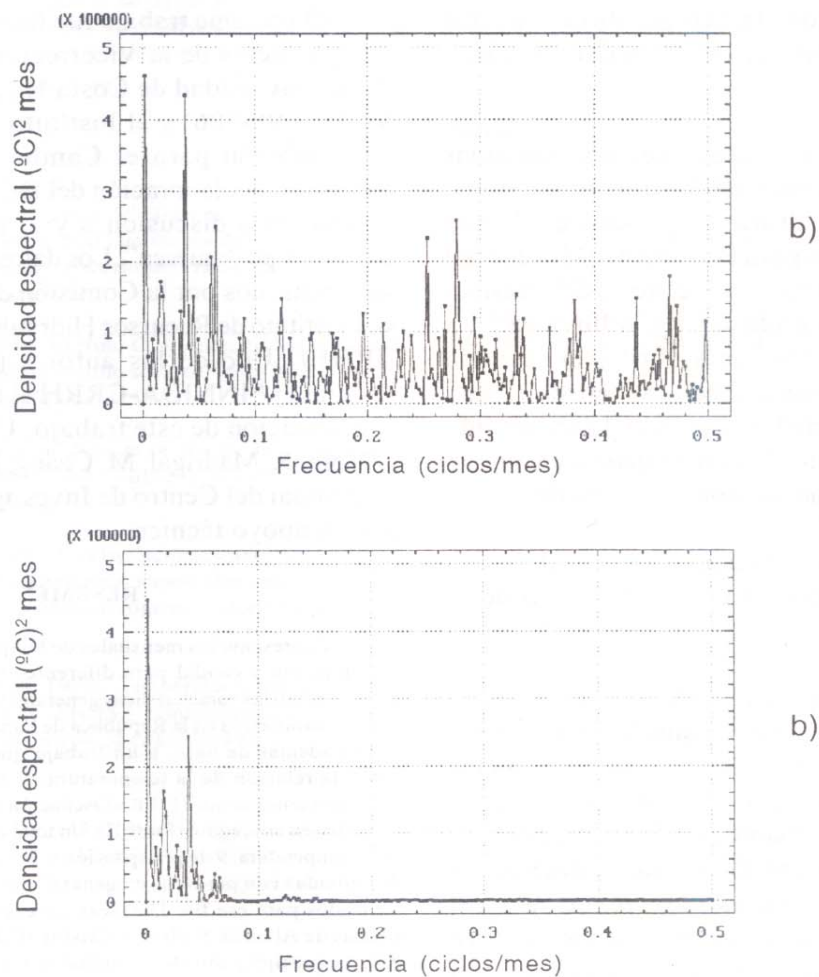


Figura 10. Densidad espectral de a) anomalías de la precipitación mensual y b) anomalías suavizadas de la precipitación para Planta Caldera, (1958-1993).

media exhiben rangos de variación más pequeños que las series de temperatura máxima. En cuanto al comportamiento de los promedios anuales de temperatura máxima y los totales anuales de precipitación, se nota que las estaciones ubicadas a mayor elevación presentan mayor variabilidad que las ubicadas a menor altura.

En la mayoría de los casos se observó una relación inversa entre la temperatura (máxima y media) y la precipitación, ocurriendo, como se esperaba, temperaturas más altas durante la temporada seca y las más bajas en la temporada lluviosa. El mínimo absoluto de temperatura se registra en el mes de máxima precipitación para las estaciones en la vertiente Pacífica. En algunas estaciones como Planta Caldera y Los Santos, la temperatura muestra débilmente la presencia del veranillo durante julio-agosto.

Se observó que las estaciones más elevadas registran mayores valores en la precipitación que las ubicadas a menor altura, lo que concuerda con los resultados obtenidos para Panamá por Mendizabal (1973). En las estaciones en la Vertiente del Pacífico se distinguen la temporada seca y la lluviosa. La primera desde diciembre hasta abril y la segunda desde mayo hasta noviembre. Se observa una disminución también de las lluvias en la temporada lluviosa. Esta disminución ocurre generalmente en julio-agosto y se le conoce como "veranillo".

De la distribución estacional del caudal se nota una relación directa con el comportamiento de la precipitación.

En cuanto a los espectros de los datos originales, se observa un comportamiento similar en todas las variables, con una fuerte señal en las frecuencias correspondientes a la componente anual y sus armónicos poniendo de manifiesto la utilidad de este método en la eliminación de señales estacionales para estudios de frecuencias mayores al año. El espectro de los datos desestacionalizados muestra una remoción de la señal correspondiente a un año y todos sus armónicos. Este espectro muestra con mayor detalle las señales superiores a un año. Es importante notar que en estos espectros se observaron

señales correspondiente a la frecuencia de períodos de 4, 5 y 6 años, lo que se encuentra dentro del rango de ocurrencia media del ENOS. En los espectros de datos desestacionalizados se observó en algunas estaciones una señal que podría asociarse a la tendencia de la serie. En los espectros de anomalías suavizadas destaca el hecho de la eliminación del ruido en las frecuencias menores de un año y la disminución en la densidad espectral de las señales en frecuencias mayores al año. Los resultados del estudio en relación con ENOS y las tendencias de las series se reportan en un trabajo que acompaña el presente (Amador y Olmedo 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 Geofísicas por su apoyo técnico.

RESUMEN

Valores medios mensuales de temperatura máxima y media, precipitación y caudal para diferentes estaciones son utilizados para estudiar, las características generales y la distribución estacional de esos parámetros en la República de Panamá. Estas características sirven además de base, a un trabajo que acompaña al presente, sobre la relación de la temperatura, la precipitación y el caudal con fenómenos como El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y cambio climático en esa región (Parte II). 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. De las series de temperatura máxima se observa que las estaciones localizadas a más altitud presentan un rango menor en el comportamiento estacional,

en relación con las estaciones ubicadas a menor elevación. En cuanto al comportamiento de los promedios anuales de temperatura máxima y los totales anuales de precipitación, se nota que las estaciones ubicadas a mayor elevación presentan mayor variabilidad que las ubicadas a menor altura. En la mayoría de los casos se observó una relación inversa entre la temperatura (máxima y media) y la precipitación, ocurriendo, como se esperaba, las temperaturas más altas durante la temporada seca. En las estaciones en la Vertiente del Pacífico se distinguen claramente la temporada seca y la lluviosa, la primera se extiende desde diciembre hasta abril y la segunda desde mayo hasta noviembre. Se observa una disminución de las lluvias en la temporada lluviosa, la cual ocurre generalmente en julio y se le conoce como "veranillo". De la distribución estacional del caudal se nota una relación directa con el comportamiento de la precipitación. En cuanto a los espectros de los datos básicos, se observa un comportamiento similar en todas las variables, con una fuerte señal en las frecuencias correspondientes a la componente anual y sus armónicos. Es importante notar que en estos espectros se observaron señales correspondiente a la frecuencia de períodos de 4 a 6 años, lo que se encuentra dentro del rango de ocurrencia media del ENOS. En los espectros de datos desestacionalizados se observó en algunas estaciones una señal que puede asociarse a la tendencia de las serie. Esta tendencia es analizada en mayor detalle en la Parte II de este trabajo.

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.
- 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. 1997. La Oscilación Cuasi-Bienal, ENOS y acoplamiento de algunos parámetros superficiales 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 II: ENOS y cambio climático. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*. 5 (2), 136-148.
- Atlas Nacional de Panamá. 1988. Instituto Geográfico Tommy Guardia. Panamá, República de Panamá.
- Cornford, S. G. 1997. Impactos humanos y económicos de los fenómenos meteorológicos en 1996. *Boletín Organización Meteorológica Mundial*. 46,407-427.
- Fuenzalida, H. y B. Rosenblüth. 1990. Prewhitening of climatological time series. *Journal of Climate*. 3, 382-393.
- Gómez, I. y W. Fernández. 1996. Variación interanual de la Temperatura en Costa Rica. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*. 3, 27-44.
- Hufty, A. 1984. Introducción a la Climatología. Editorial Ariel S.A. Barcelona, España. 291p.
- 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.
- Magaña, V., J. A. Amador, and S. Medina. 1998. The Mid-summer drought over México and Central America. Aceptado para publicación en *Journal of Climate*.
- Mendizabal, M. 1973. Distribución de la precipitación con la altura. Tesis de Licenciatura. Departamento de Física, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- 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 occurrences 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 temperatura mensuales de la Estación de San José (Costa Rica). *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*. 4, 129-146.