

ALGUNAS CARACTERISTICAS ESPECTRALES DE LAS OSCILACIONES
EN LA ATMOSFERA SOBRE EL OESTE DEL CARIBE

JORGE A. AMADOR*
F.J.SOLEY*

ABSTRACT

The aim of this paper is to investigate the dominant wave periods in the Western Caribbean tropospheric region by use of the discrete Fourier transform of the autocorrelation function for different atmospheric parameters and for some radiosonde stations in the area. The spectra of time series of temperature, geopotential and both the meridional and zonal wind components were estimated using data for San Andres Island during 1972 and Swan Island during 1970, 1971 and 1972. The isobaric levels analyzed correspond to 850, 700, 500, 400 and 300 mb (except the temperature in 400 mb). The period analyzed for both San Andrés and Swan Islands for each particular year is from 1 June to 30 November (a daily observation at 12 G.M.T.). Also, the spectrum of precipitation for a particular period (1 August to 26 November 1972) was computed for a land station (Limón) in the Atlantic coast of Costa Rica.

Spectra of zonal wind and temperature show in general the greatest contribution to the total variance of the corresponding time series on periods longer than 10 days. Spectra of the geopotential appear to indicate the existence of two dominant peaks (one near 3 days and the other one for periods slightly greater than 5

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

days). There is a moderate variability, however, in the position of the peaks maxima for different years and stations. The meridional wind component presents very interesting results. For some years and for the stations presented in this paper, there appears to be dominant periods in the 3 to 5 day range. Although the amplitude of the peaks is variable, it seems to be associated with the mean flow characteristics during the years analyzed. It appears that the following relationship is met: the greater the vertical shear of the wind (especially that of the zonal flow) the smaller is the amplitude of the peak in the 3 to 5 day period. In general the above results are consistent with those of Amador (1982) and suggest that the mean flow may play an important role in the structure and development of wave-like disturbances in the region.

The precipitation spectrum also shows an interesting result related with its variance distribution for the Limón station during 1972. This spectrum presents maxima near the 10 days period and near 4 to 5 days. The latter and the peak found by Amador (1982) in the meridional wind component may be associated, suggesting that the westward propagating waves over the region may affect in an important way the time distribution of rainfall in the Western Caribbean.

RESUMEN

Se investigan en este trabajo los modos de onda dominantes en la troposfera del Oeste del Caribe mediante el uso de la transformada discreta de Fourier de la función de autocorrelación para diferentes parámetros y algunas estaciones del área. Los espectros de las series temporales de temperatura, geopotencial y las componentes zonal y meridional del viento fueron estimados usando datos de la Isla de San Andrés para el año de 1972 y de la Isla del Cisne para los años 1970, 1971 y 1972. Los niveles isobáricos analizados corresponden a 850, 700, 500, 400 y 300 mb (excepto 400 mb para la temperatura). El período analizado para San Andrés y para la Isla del Cisne para cada uno de los años investigados es del 1 de Junio al 30 de Noviembre (una observación diaria a las 12 T.M.G.). Además de lo anterior se calculó el espectro de la precipitación para un período en particular (1 de Agosto a 26 de Noviembre de 1972) para la estación de Limón, Costa Rica.

Los espectros del viento zonal y la temperatura muestran en general una tendencia a la mayor contribución a la variancia total de la serie para períodos mayores que 10 días. Los espectros del geopotencial por su parte indican la existencia de dos picos predominantes (uno cerca de los 3 días y otro para períodos lige-

ramente mayores que 5 días), aún cuando se evidencia una moderada variabilidad en la posición de esos máximos para diferentes años y estaciones. Los espectros de la componente meridional presentan resultados sumamente interesantes. En algunos años y estaciones los períodos de 3 a 5 días parecen ser dominantes y aunque su intensidad o amplitud es variable, aparenta estar asociada con las características del flujo medio durante los años estudiados. Tanto para San Andrés como para la Isla del Cisne es aparente la relación: menor amplitud de la señal u oscilación a mayor cortante vertical, en especial la del flujo zonal. Todos los resultados anteriores son consistentes con los de Amador (1982) y sugieren que las características del flujo medio juegan un papel importante en la naturaleza y desarrollo de sistemas cuasi-ondulatorios en la región.

Un resultado importante del presente trabajo es la forma como se distribuye la variancia de la precipitación para Limón durante 1972. Este espectro muestra máximos comparables cerca de los 10 y 4 a 5 días. El último máximo y el pico en el rango 3 a 5 días encontrado por Amador (1982) en la componente meridional del viento podrían estar asociados y permite suponer que las ondas de propagación este-oeste afectan en forma importante la distribución temporal de la precipitación en la región del Oeste del Caribe.

1. INTRODUCCION

La existencia de oscilaciones en la atmósfera libre en los trópicos fue documentada por primera vez para las regiones tropicales por Riehl (1945). Desde entonces, los sistemas atmosféricos de carácter casi-ondulatorio han sido estudiados mediante el uso de técnicas esencialmente diferentes. Entre ellas se puede citar los análisis sinópticos (Carlson, 1969; Sadler y Oda, 1978 y Sadler y Oda, 1980); el análisis compuesto (Reed y Recker, 1971 y Reed y colaboradores, 1977) y el análisis espectral (Burpee, 1972 y Amador, 1982).

Los estudios sinópticos proveen información acerca de las características generales de los sistemas y son de gran importancia en el estudio de disturbios atmosféricos pero están fuertemente limitados por la densidad espacial de los datos sinópticos. El método compuesto soluciona en parte el problema de la falta de información y ha sido usado para estudiar las características medias de sistemas ondulatorios en los trópicos (Reed y colaboradores, 1977). El análisis espectral por su parte ha sido utilizado para investigar los modos de onda dominantes en la atmósfera para algunas regiones tropicales, en especial la del Pacífico tropical. Los métodos arriba nombrados así como algunos otros (análisis de casos por ejemplo) se complementan de tal manera que hoy día existe un adecuado conocimiento de algunas de las propiedades de las ondas para algunas regiones tropicales, en especial en el Africa Central, el Oeste de Africa y el Pacífico Ecuatorial. En la región del Atlántico y el Oeste del Caribe relativamente pocos estudios han sido llevados a cabo mediante el uso de cualquiera de esas técnicas. La importancia de investigar las propiedades y naturaleza de algunas de estas ondas es debido a que son progenitoras potenciales de huracanes y ciclones tropicales. El Oeste del Caribe constituye una de las más activas zonas en lo que a formación de huraca-

nes se refiere, de ahí la importancia del estudio de estas ondas en esa región. De las técnicas antes mencionadas el análisis espectral ha sido posiblemente el método menos utilizado en la región del Caribe aún cuando este constituye una fuerte herramienta en el análisis de datos sinópticos. Estudios espectrales en el oeste del Caribe han sido descritos por Wallace y Chang (1969) y Julián (1971). En ambos trabajos se hace uso de datos para una sola estación en el Oeste del Caribe: Balboa, en Panamá. En el primero de ellos, periodicidades del orden de los 4-5 días fueron encontrados en la componente meridional del viento para la baja troposfera. En el segundo trabajo sin embargo no se encontró evidencia de ningún pico espectral en ninguna frecuencia. Recientemente, Amador (1982) presentó evidencia de la existencia de oscilaciones con períodos cercanos a los 4-5 días en la componente meridional del viento para un período en particular usando datos de la estación de Alajuela, Costa Rica. Los otros parámetros analizados por Amador (1982), como la temperatura y la componente zonal del viento no mostraron picos espectrales cerca de esos períodos. El geopotencial sin embargo sugirió la existencia de algún tipo de oscilación en los períodos cercanos a los 4 y 7 días. Como la información usada en ese estudio es para una sola estación y para un período en particular (Agosto a Noviembre de 1972), es el propósito de este trabajo investigar la existencia de tales oscilaciones en otras estaciones del área y para otros períodos para los cuales hay información disponible. Además de esto, se intenta mostrar algunas de las características medias de algunos parámetros atmosféricos e investigar si estas propiedades pueden ser consideradas como generales para la región del Caribe. Se estudia también en este trabajo, posibles relaciones entre parámetros propios de la atmósfera libre y parámetros de superficie como la precipitación a fin de determinar si las oscilaciones atmosféricas actúan como mecanismos de control o modulación en la distribución temporal de la precipitación.

2. Método:

El método usado en el presente trabajo es el análisis espectral. Los espectros de los datos de altura y superficie de varias estaciones en el Oeste del Caribe fueron calculados a partir de la transformada discreta de Fourier de la función de correlación. El detalle del método de cálculo ha sido descrito por Amador (1982) y no será repetido en el presente artículo. Otros detalles del método pueden ser encontrados en Jenkins y Watts (1968).

3. Datos usados en el presente estudio

En el presente trabajo una cantidad considerable de información fue analizada para varias estaciones en el Oeste del Caribe y Centroamérica. Estas estaciones son: Isla del Cisne ($17^{\circ}24' N$, $83^{\circ}56' O$; 11 metros sobre el nivel del mar (msnm); Isla de San Andrés ($12^{\circ}35' N$, $81^{\circ}43' O$, 6 msnm), Limón ($10^{\circ}00' N$, $83^{\circ}03' O$, 3 msnm) y San José ($10^{\circ}00' N$, $84^{\circ}13' O$, 939 msnm).

El período analizado para estas cuatro estaciones está comprendido entre los meses en que las oscilaciones han sido observadas, lo que permite a algún grado de comparación entre los resultados de este trabajo y los de Amador (1982).

Datos de la altura del geopotencial (h), temperatura (T) y las componentes zonal (u) y meridional (v) del viento fueron analizados para San Andrés y la Isla del Cisne en 5 niveles isobáricos: 850, 700, 500, 400 y 300 mb (excepto la temperatura en 400 mb para todas las estaciones y la temperatura en 300 mb para San Andrés durante 1972).

Con el propósito de comparar los espectros de los parámetros anteriores con los obtenidos por Amador (1982), se seleccionó el año de 1972 tanto para San Andrés como para la Isla del Cisne. La disponibilidad de información en la Isla del Cisne para 1970 y 1971 permitió además el cómputo de los espectros de los parámetros arriba mencionados

para esos dos años. Esto permite una comparación interanual de las propiedades espectrales, por lo menos para una de las estaciones usadas en este trabajo. El período utilizado en San Andrés y la Isla del Cisne comprende un total de 183 días (del 1° de Junio al 30 de Noviembre) para cada uno de los años investigados. En total alrededor de 80 espectros correspondientes a datos de altura de San Andrés y la Isla del Cisne fueron calculados y analizados en el presente trabajo. Además de lo anterior, series temporales de precipitación diaria (pd) para Limón durante el 1° de Agosto al 26 de Noviembre de 1972 fueron usados para calcular el espectro de datos de superficie a fin de investigar su relación con los otros parámetros en la atmósfera libre sobre la región del Oeste del Caribe para este año en particular. El número de datos faltantes en general fue muy pequeño, siendo estos suplidos por interpolación lineal en el tiempo. Un procedimiento semejante ha sido utilizado en trabajos anteriores (Wallace y Chang, 1969; Amador, 1982). En todos los casos (excepto precipitación) la hora central de observación es 12 T.M.G. (06.00 hora local) y el intervalo entre observaciones es de un día.

4. Análisis e interpretación de los espectros

4.1. Espectros de la componente zonal y la temperatura

Los espectros de la componente zonal y la temperatura para la estación de la Isla del Cisne para dos de los períodos analizados (1970 y 1971) se muestran en las Figs. 1 y 2 respectivamente. Puede observarse que en general la distribución de la variancia con la frecuencia presenta en todos los espectros una tendencia al ruido rojo. Lo anterior es consistente con los resultados de Wallace y Chang (1969), Julián (1971) y Amador (1982) para otras estaciones del área. Esto indica que al menos para los años analizados, no hay evidencias de oscila

ciones dominantes en períodos menores que diez días para la componente zonal y la temperatura. Además se muestra que la mayor contribución a la variancia total de la serie está contenida en períodos asociados posiblemente con cambios en la circulación general del orden de las semanas o períodos mayores. Algunos picos espectrales presentes en la componente zonal (ver por ejemplo Fig. 1, 300 mb) no muestran coherencia vertical por lo que su interpretación como oscilaciones reales es altamente dudosa. Con el propósito de mostrar la poca variabilidad en la estructura de los espectros de u y T durante los períodos analizados, se presenta la Fig. 3. Esta corresponde a la estación de San Andrés para el año 1972. El otro año investigado (1972 para la Isla del Cisne) presenta resultados totalmente consistentes con los de las Figs. 1, 2 y 3 y con los de Amador (1982) por lo que no se muestra en el presente trabajo.

De lo anterior se desprende que para el período analizado no existen oscilaciones sinópticas dominantes en la componente zonal y la temperatura sobre la región del oeste del Caribe. Esa propiedad aparenta ser común y general a toda la región del Oeste del Caribe durante los meses de Junio a Noviembre.

4.2. Espectros del geopotencial

Las Figs. 4 y 5 muestran la distribución con la altura de los espectros de h para dos de las estaciones: la de la Isla del Cisne para 1970 y la de San Andrés para 1972 respectivamente. Los espectros de h en estas estaciones para los otros años analizados presentan características similares a los de las Figs. 4 y 5, por lo que no se muestran en el presente trabajo. Por un lado, para la Isla del Cisne (Fig. 4) se evidencian picos espectrales dominantes cerca de 2.5 a 3 días y en el rango de 4 a 7 días en casi todos los niveles. A pesar de que lo

anterior es consistente con los resultados de Amador (1982), es evidente que existen algunas diferencias dignas de comentar. Una de ellas concierne al ancho de banda de los picos encontrados en este trabajo en comparación con los de Amador (1982). En el presente trabajo el rango de frecuencias cubierto por el pico cerca de los 3 días es cerca del doble de el de cualquiera de los picos encontrados en Amador (1982) para períodos menores de 5 días. Una mayor fluctuación temporal de los períodos de las ondas para períodos menores de 5 días durante 1970 en la Isla del Cisne podría explicar tal diferencia. Hay que considerar sin embargo que el pico encontrado en Amador (1982) cerca de los 2.5 días está muy cerca de la frecuencia de Nyquist y por tanto la aseveración de que es una oscilación real en la atmósfera es arriesgada. Otra de las diferencias encontradas en las figuras 4 y 5 con respecto a los resultados de Amador (1982) en los espectros del geopotencial, es en la distribución de la variancia para períodos mayores de 10 días. En el presente trabajo en general existe cierta tendencia a la no estacionariedad de los sistemas para períodos mayores de 10 días (excepto posiblemente en 300 mb), en tanto que en Amador (1982) la estacionariedad es notoria en especial en los niveles intermedios y altos. Es posible que esta característica de las capas medias de la atmósfera (alta variabilidad estacional y anual) sea importante en la evolución de muchos de los sistemas en los trópicos (Gray, 1979). Por otro lado, para la Isla de San Andrés (Fig. 5) es posible observar algunas características en común con los de la Fig. 4, es decir una tendencia a la predominancia de los períodos centrados alrededor de los 3 y los 5 días.

4.3. Espectros de la Componente meridional del viento

La componente meridional del viento es aparentemente el parámetro más sensible a oscilaciones en la atmósfera (Wallace y Chang, 1969; Nitta, 1970; Amador,

1982). Debido a esto se ha creído conveniente presentar todos los espectros analizados para las dos estaciones en el Oeste del Caribe para todos los años analizados. Con el propósito de hacer una comparación de los espectros por años y su distribución con la latitud, se presenta primero el espectro de v para diferentes niveles para la Isla del Cisne durante 1970 (Fig. 6). En esta figura se aprecia claramente en 700 mb y niveles superiores la importante contribución a la variancia total en cada una de las series por los períodos de 3 a 5 días. Se observa además que la intensidad del pico espectral aumenta con la altura lo cual está de acuerdo con los resultados de Amador (1982). Otro aspecto interesante en la Fig. 6 es la presencia de un pico cerca de los 10 días. No se conoce de otro estudio en el área que haya mostrado evidencia de la existencia de tal pico, por lo que su interpretación es difícil. Además de lo anterior, la resolución del espectro para períodos mayores de 10 días es relativamente pobre, lo que imposibilita determinar un pequeño rango de frecuencias al cual le pueda ser asociado el pico espectral. La variabilidad en frecuencia de los picos encontrados en períodos mayores de 10 días en los otros espectros calculados (Fig. 7, 8 y 9) parecen confirmar lo dicho anteriormente.

Los espectros para 1971 para la Isla del Cisne se presentan en la Fig. 7. Es interesante notar que no existe una marcada predominancia de los períodos de 3 a 5 días durante este año, a pesar de que en casi todos los niveles se observan máximos relativos en ese rango de frecuencias (los valores máximos relativos aparecen más cerca del límite inferior del rango de frecuencias aquí considerado). Durante 1972 los espectros muestran aspectos sumamente interesantes (Fig. 8 y 9). La primera de estas figuras corresponde a la Isla de San Andrés. En ella puede observarse en casi todos los niveles un débil pico en o cerca del rango de 3 a 5

días sin embargo no existe evidencia de este pico en los espectros de la Isla del Cisne (Fig. 9). Por lo menos durante el año de 1972 los resultados del presente trabajo y los de Amador (1982) parecen indicar que la amplitud e las oscilaciones decae con la latitud.

El hecho de que la componente meridional se haya mostrado en trabajos anteriores como el parámetro más sensible al paso de sistemas casi-ondulatorios y que no exista evidencia de períodos dominantes en algunos años para algunas estaciones, podría ser indicativo de la alta variabilidad espacial y temporal de los sistemas. Un análisis general de los espectros analizados en esta sección parece indicar sin embargo (aunque en algunos casos la amplitud de la oscilación es relativamente pequeña) la existencia de oscilaciones en el rango 3-5 días. La variabilidad año con año, así como la variabilidad espacial de esos máximos, hacen sin embargo, que el problema presente todavía características complejas. Algunos factores que podrían determinar las propiedades del espectro en el rango 3-5 días (es decir reducir o aumentar la contribución de las ondas a la variancia total de la serie en ese rango en particular) pueden ser: a) la variabilidad temporal del flujo básico b) la amplitud meridional de la oscilación c) la variable estructura vertical y características de las ondas año a año e inclusive dentro de una misma serie temporal d) la interacción de estas ondas con otros sistemas y e) el desarrollo de estas ondas en otro tipo de sistemas (vorticales por ejemplo).

Para investigar algunas de las anteriores posibilidades se presenta la Fig. 10, que muestra las propiedades medias del flujo en las diferentes estaciones analizadas en comparación con las encontradas por Amador (1982). La Fig. 10a muestra la distribución vertical del flujo zonal medio \bar{u} para la Isla del Cisne du-

rante los años de 1970 y 1971. En la Fig. 10c se muestra la distribución de \bar{u} para San Andrés, Alajuela, Costa Rica y la Isla del Cisne para 1972. Como puede observarse, en casi todos los casos la cortante vertical ($\partial\bar{u}/\partial z$) tiene valores cercanos a $1 \text{ ms}^{-1} \text{ km}^{-1}$ excepto en Alajuela 1972 en la que tiene un valor aproximado de $0.5 \text{ ms}^{-1} \text{ km}^{-1}$. Es posible que esta diferencia en la cortante vertical del flujo básico explique parcialmente la débil evidencia de la presencia de oscilaciones en el rango 3-5 días en esta región para algunas de las estaciones. Al respecto, la cortante vertical parece ser un parámetro que determina en algún grado el desarrollo de sistemas ondulatorios en la región del Atlántico (Gray, 1978; Amador, 1981). En las Figuras 10b y 10d se muestran las distribuciones verticales de la componente meridional media para las estaciones y años analizados. Es evidente que en todos los casos existe un flujo meridional bien definido excepto para Costa Rica durante 1972. Durante 1970 y 1971 en la Isla del Cisne (Fig. 10b), el flujo es hacia el norte en niveles por debajo de 450 mb y arriba de ese nivel es hacia el Sur. En algunos casos los valores medios de v son del orden de 2 m s^{-1} lo cual parece ser un valor relativamente alto. En la Fig. 10 d se presenta una situación interesante. Para la Isla del Cisne los valores son altos relativamente y sugieren un predominante flujo del norte en niveles altos con flujo del sur en niveles bajos y medios (compárese con Fig. 9, donde no existe evidencia de oscilaciones). Para San Andrés, el flujo es del norte en niveles bajos y altos y del sur en niveles intermedios y en todo caso la cortante vertical es menor que en el caso de la Isla del Cisne (note-se que San Andrés, Fig. 8, presenta picos débiles en el rango 3-5 días). La estación que mejor muestra la existencia de los picos es Alajuela donde ambas la cortante vertical de \bar{u} de \bar{v} son las menores de todos los años investigados (es conveniente recordar que las comparaciones anteriores son cualitativas ya que existen

algunas diferencias en el largo de la serie utilizada).

4.4. Espectro de la precipitación

Con el propósito de investigar posibles relaciones entre algunos parámetros en la atmósfera libre y parámetros de "superficie" se estima el espectro de precipitación de una estación en Costa Rica para un período en particular (Limón, Agosto a Noviembre de 1972). Se escogió este período por la razón de que otros espectros ya han sido analizados en este trabajo para ese mismo año para otras estaciones del área y además porque ha sido el único período analizado para Costa Rica hasta el momento (Amador, 1982). Algunos de los resultados mostrados en esta sección fueron preliminarmente presentados por Amador y Soley (1981).

La Fig. 11 muestra la distribución temporal de la precipitación para el período analizado. Lo primero que vale la pena destacar es la existencia de períodos de 1 ó 2 días con precipitación nula o relativamente baja (< 10 mm por día) alternando con períodos en los cuales la precipitación sobrepasa los 15 o 20 mm por día. En algunos casos extremos la precipitación es del orden de los 100 o más mm por día lo que sugiere la presencia de eventos extraordinarios en el período. Cualitativamente parece existir una buena correlación entre la distribución de los máximos de precipitación en Limón (valores iguales o mayores que 15 mm por día) y el paso por San Andrés de algún tipo de onda con movimientos hacia el oeste, ya sea ondas en los esteos o aquellas originadas en la zona de Convergencia Intertropical (Frank, 1973).

Para investigar esta relación se estimó el espectro de la serie presentada en la Fig. 11. El espectro correspondiente se presenta en la Fig. 12. Como puede apreciarse la contribución a la variancia total de la serie parece tener un

algunas diferencias en el largo de la serie utilizada).

4.4. Espectro de la precipitación

Con el propósito de investigar posibles relaciones entre algunos parámetros en la atmósfera libre y parámetros de "superficie" se estima el espectro de precipitación de una estación en Costa Rica para un período en particular (Limón, Agosto a Noviembre de 1972). Se escogió este período por la razón de que otros espectros ya han sido analizados en este trabajo para ese mismo año para otras estaciones del área y además porque ha sido el único período analizado para Costa Rica hasta el momento (Amador, 1982). Algunos de los resultados mostrados en esta sección fueron preliminarmente presentados por Amador y Soley (1981).

La Fig. 11 muestra la distribución temporal de la precipitación para el período analizado. Lo primero que vale la pena destacar es la existencia de períodos de 1 ó 2 días con precipitación nula o relativamente baja ($< 10\text{mm}$ por día) alternando con períodos en los cuales la precipitación sobrepasa los 15 o 20 mm por día. En algunos casos extremos la precipitación es del orden de los 100 o más mm por día lo que sugiere la presencia de eventos extraordinarios en el período. Cualitativamente parece existir una buena correlación entre la distribución de los máximos de precipitación en Limón (valores iguales o mayores que 15 mm por día) y el paso por San Andrés de algún tipo de onda con movimientos hacia el oeste, ya sea ondas en los esteos o aquellas originadas en la zona de Convergencia Intertropical (Frank, 1973).

Para investigar esta relación se estimó el espectro de la serie presentada en la Fig. 11. El espectro correspondiente se presenta en la Fig. 12. Como puede apreciarse la contribución a la variancia total de la serie parece tener un

rango dominante cerca de los 3 días y otro cerca de los 5 días. Además de estos aparecen otros dos picos cuya existencia queda sujeta a investigación posterior (el cercano a los 2.5 días y el cercano a los 10 días). Es interesante destacar sin embargo que distribuciones similares a estas han sido encontradas en otros parámetros (ver por ejemplo Figs. 4, 5, 6 del presente trabajo). La relación en tre los picos de las figuras anteriores no es evidente y no se ofrece ninguna interpretación al respecto en el presente trabajo.

Volviendo a la discusión de los picos cerca de los 3 y 5 días en la precipitación es importante comparar estos con los resultados de Amador (1982) para la componente meridional del viento durante el mismo período (ver Fig. 4; Amador, 1982). La comparación nos permite ver que ambos espectros (los de v y pd) presentan características similares en el rango de frecuencias que interesan. Esto permite proponer que la contribución a la precipitación en la región del Atlántico para este período en particular podría estar asociada con oscilaciones en la componente meridional del viento y por consiguiente con las ondas de propagación este-oeste. Un mecanismo posible puede ser la modulación de la convergencia $(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y})$ en la escala local y subsinóptica por efectos de la propagación de la onda y sus campos de convergencia asociados. Un aumento en la convergencia horizontal de masa provocado por la presencia de la onda estaría asociado (por la ecuación de continuidad) con movimiento vertical, que en una región con alto contenido de humedad estimularía la producción de precipitación. Esta hipótesis y la aparente relación entre los espectros de v y pd plantean sin duda un interesante problema para una investigación futura.

5. Comentarios Finales y Conclusiones

En el presente trabajo se han extendido los resultados de Amador (1982) a otras estaciones en el Oeste del Caribe para el año de 1972 y para otros dos años en particular: 1970 y 1971. Los espectros de u y T muestran en general una tendencia al ruido rojo, en donde la mayor contribución a la variancia está comprendida en períodos mayores de 10 días. Algunos de los picos encontrados cerca de los 10 días en u especialmente merecen un estudio posterior. Se sugiere la utilización de un método que resuelva mejor los espectros en esas frecuencias y que pueda ser aplicado con éxito a series temporales más cortas. Al respecto, el cálculo del espectro mediante la transformada rápida de Fourier o mediante el método de máxima entropía podrían brindar información más detallada que permita discutir esos aspectos.

Los espectros del geopotencial por su parte indican la existencia de dos picos predominantes, uno cerca de los 3 días y otro en períodos ligeramente mayores que los 5 días. Ambos picos presentan una moderada variabilidad de la posición de sus máximos para diferentes años y estaciones.

La conocida no-estacionariedad de las oscilaciones atmosféricas explica parcialmente el haber encontrado gran variabilidad en las posiciones de los picos en los espectros del geopotencial. Es evidente sin embargo la acumulación de variancia en ciertas regiones del espectro, posiblemente esta acumulación asociada a ondas tipo Rossby o Rossby-gravedad.

Los espectros de v , presentan resultados sumamente interesantes. En algunos años y estaciones, la oscilación cerca de los 3-5 días está presente, pero su intensidad o amplitud es sumamente variable lo cual sería consistente con la variabilidad temporal de los sistemas casi-ondulatorios en los trópicos aún para series temporales rela

tivamente cortas (Amador, 1981). Una comparación cualitativa entre la amplitud del espectro (en el período cercano a los 3-5 días) y las características del flujo medio indica que para períodos o estaciones en los cuales la cortante vertical del viento es relativamente fuerte, el pico espectral es débil o aparece oscurecido por la contribución de las frecuencias cercanas. (Si el efecto de una fuerte cortante del viento disminuye la amplitud de la oscilación esta podría confundirse con el nivel del ruido o incertidumbre en el espectro). En todo caso el problema es sumamente complejo pues la misma variabilidad en la estructura espacial y temporal de los sistemas no han sido evaluados en el presente trabajo.

Uno de los resultados más interesantes del presente trabajo es la distribución de la variancia en la precipitación y su relación con el espectro de v para las estaciones de Alajuela, Costa Rica (datos de altura) y Limón (precipitación) para el año 1972. Ambos espectros muestran picos cerca de los 4-5 días que podrían estar asociados con la propagación de "ondas en los este" sobre la región. La importancia de la existencia de picos dominantes en la precipitación es evidente principalmente por su potencialidad como elemento de pronóstico. Es necesario sin embargo ampliar las investigaciones a otros períodos y estaciones a fin de determinar la significación estadística de ese resultado.

RECONOCIMIENTOS

Se aprecia la colaboración de la Srta. María E. Suárez y el Sr. Arnoldo Granados en el procesamiento parcial de los datos utilizados en este estudio. Al Sr. Mario Fernández el reconocimiento de los autores por la elaboración de las figuras. Se agradece también al Instituto Meteorológico Nacional la ayuda y facilidades prestadas durante la adquisición de la información analizada.

REFERENCIAS

- Amador, J.A., 1981. Mean fields and synoptic scale systems during Phase III of GATE. Ph.D. Thesis, Reading University, Reading, England.
- Amador, J.A., 1982. Oscilaciones dominantes sobre Costa Rica durante Agosto a Noviembre de 1972. Ciencia y Tecnología, (en prensa).
- Amador, J.A. y Soley, F. J. 1981: Una aplicación del análisis espectral a datos geofísicos: evidencia de periodicidades en la componente meridional del viento y la precipitación. Primeras Jornadas de Investigación. Universidad de Costa Rica. Diciembre de 1981,
- Burpee, R.W. 1972. The origin and structure of easterly waves in the lower troposphere in North Africa. J. Atmos. Sci., 29, 77-90.
- Carlson, T.N., 1969: Synoptic histories of three African disturbances that developed into Atlantic Hurricanes. Mon. Wea. Rev., 97, 256-276.
- Frank, N.L. 1973. Atlantic tropical systems of 1972. Mon. Wea. Rev., 101, 334-338.
- Gray, W.M. 1979. Hurricanes: Their formation, structure and likely role in the tropical circulation. Meteorology over the tropical oceans. Shaw, D.S. (ed.), Royal Meteorological Society, Bracknell, England.
- Jenkins, G.M. y Watts, D.G., 1968. Spectral analysis and its applications. Holden Day Co., New York, 525 pp.
- Julián, P.R. 1971: Some aspects of variance spectra of synoptic scale troposphere wind components in midlatitudes and in the tropics. Mon. Wea. Rev., 99, 954-965.
- Nitta, T., 1970. Statistical study of tropospheric wave disturbances in the tropical Pacific region. J. Met. Soc. Jap., 48, 47-59.
- Reed, R.J., and Recker, E.E., 1971. Structure and properties of synoptic-scale disturbances in the equatorial Western Pacific. J. Atmos. Sci., 28, 1117-1133.
- Reed, R.J. Norquist, D.C. and Recker, E.E., 1977. The structure and properties of African wave disturbances as observed during Phase III of GATE. Mon. Wea. Rev., 105, 317-333.
- Riehl, H., 1945. Waves in the easterlies and the polar front in the tropics. Misc. Rept. No. 17, Dept. of Meteorology, University of Chicago, 79 pp.
- Sadler, J.C., and Oda, L. K. 1978. The synoptic (A) scale circulations during the Third Phase of GATE, 20 August-23 September 1974. University of Hawaii, Dept. of Meteorology, Honolulu, Hawaii.

- Sadler, J.C. and Oda, L.K., 1980. Gate analysis: I. The synoptic (A) scale circulations during Phase I, 26 June-16 July 1974; II. Means for Phases I, II and III. University of Hawaii, Dept. of Meteorology, Honolulu, Hawaii.
- Wallace, J.M. y Chang, C.P. 1969. Spectrum analysis of large scale wave disturbances in the tropical lower troposphere. J. Atmos. Sci., 26, 1010-1025.

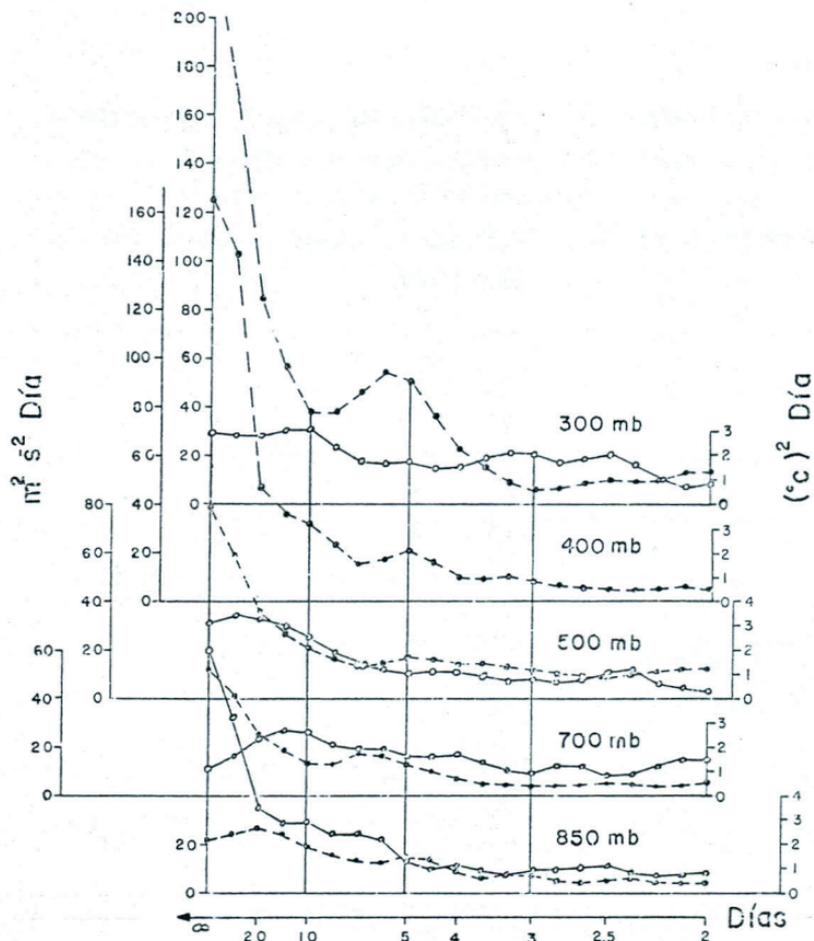


Fig. 1. Espectros de la componente zonal del viento u (línea a trazos y puntos) y de la temperatura T (línea continua y círculos) para varios niveles isobáricos para la estación de la Isla del Cisne durante el período 1 de Junio al 30 de Noviembre de 1970.

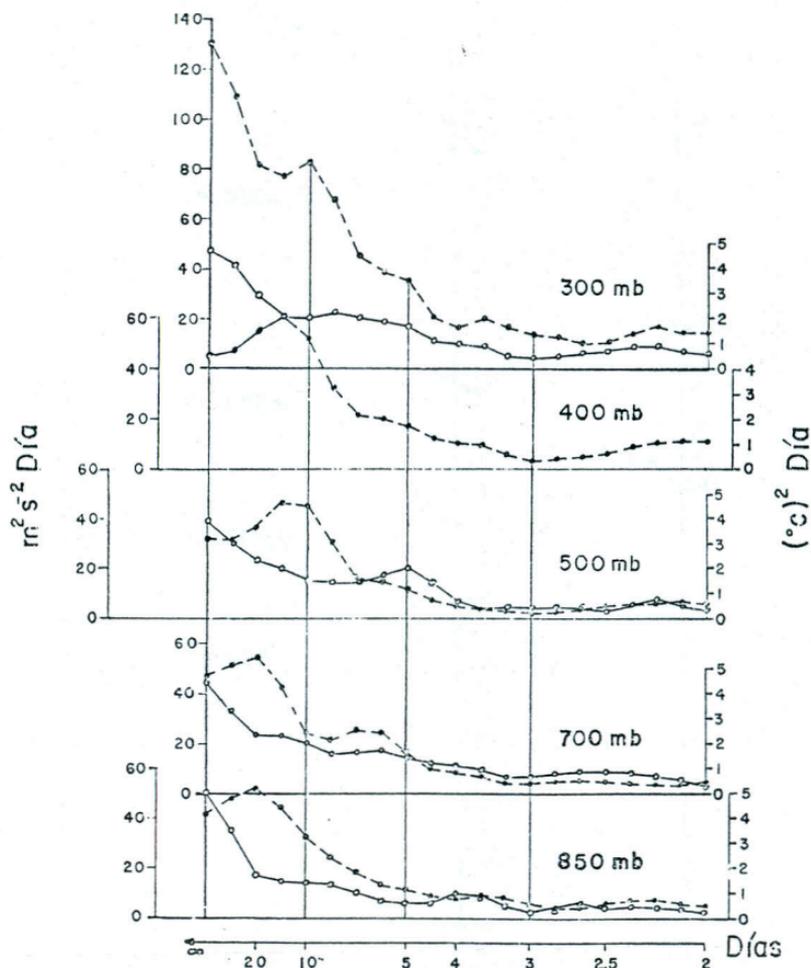


Fig. 2. Espectros de la componente zonal del viento u (línea a trazos y puntos) y de la temperatura T (línea continua y círculos) para varios niveles isobáricos para la estación de la Isla del Cisne durante el período 1 de junio al 30 de noviembre de 1971.

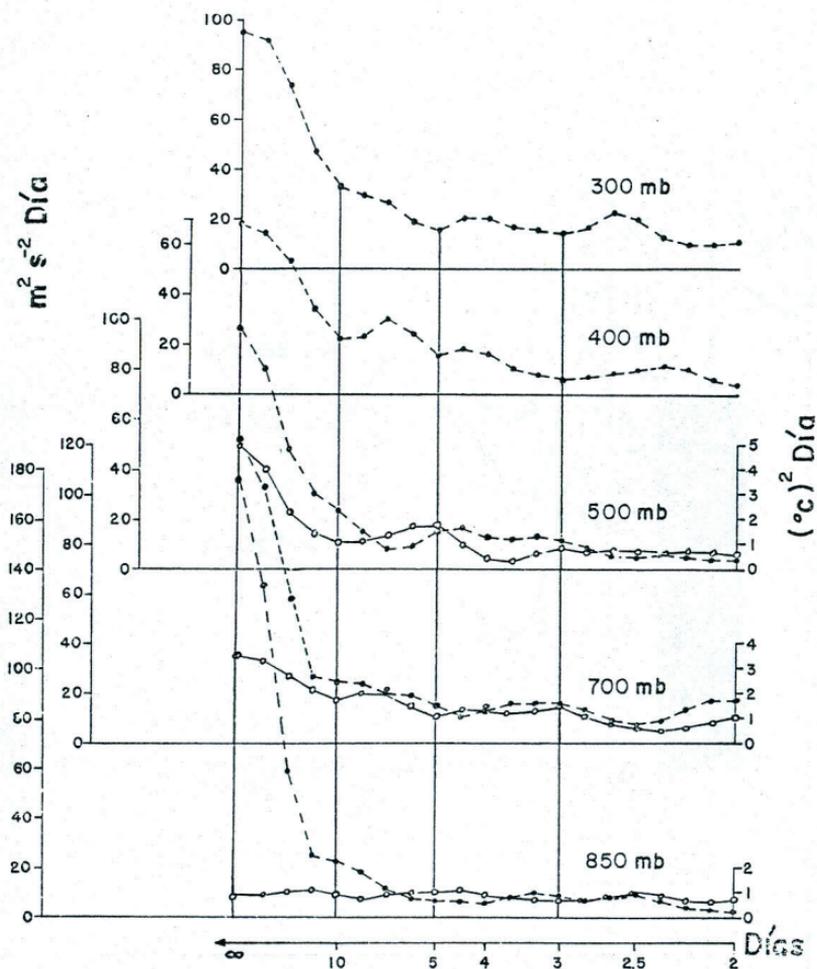


Fig. 3. Espectros de la componente zonal del viento u (línea a trazos y puntos) y de la temperatura T (línea continua y círculos) para varios niveles isobáricos para la estación de la Isla de San Andrés para 1972.

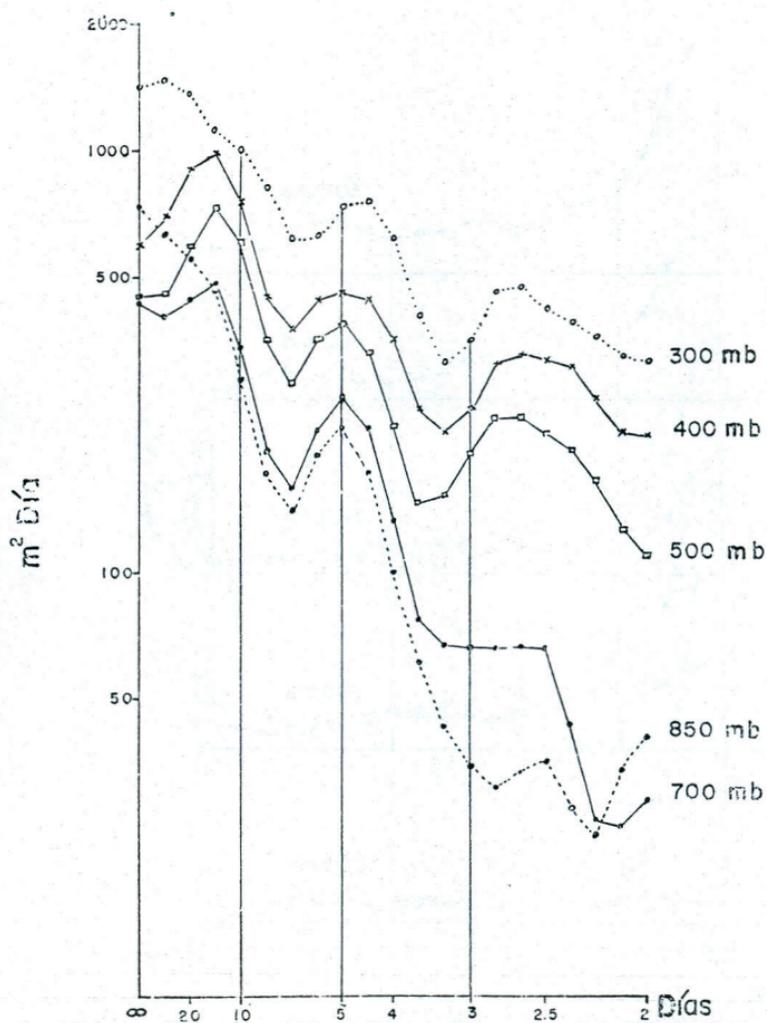


Fig. 4. Espectros de la altura del geopotencial h para varios niveles isobáricos para la estación del Cisne durante el período 1 de junio al 30 de noviembre de 1970.

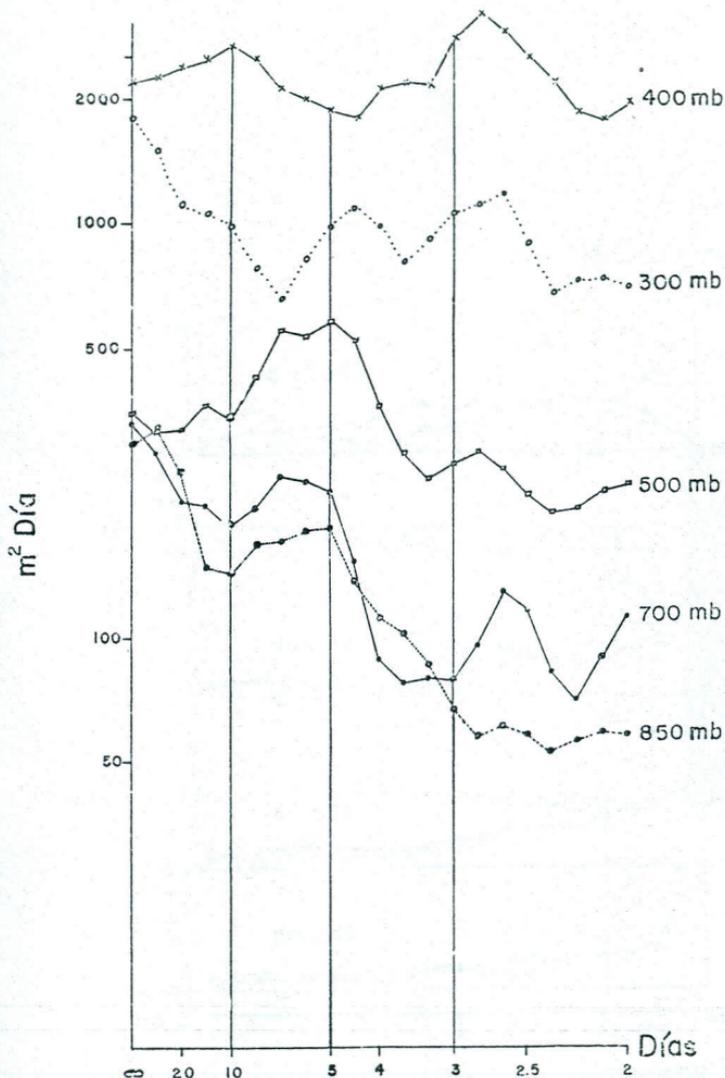


Fig. 5. Espectros de la altura del geopotencial h para varios niveles isobáricos para la estación de la Isla de San Andrés durante el período 1 de junio al 30 de noviembre de 1972.

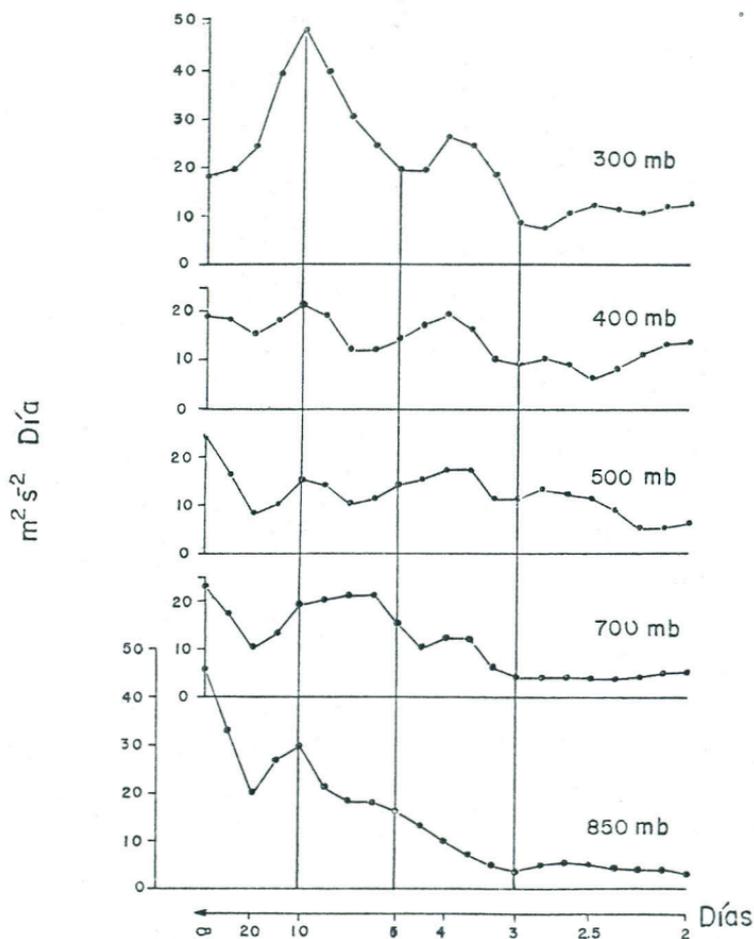


Fig. 6. Espectros de la componente meridional del viento v para varios niveles isobáricos para la estación de la Isla del Cisne durante el período 1 de junio al 30 de noviembre de 1970.

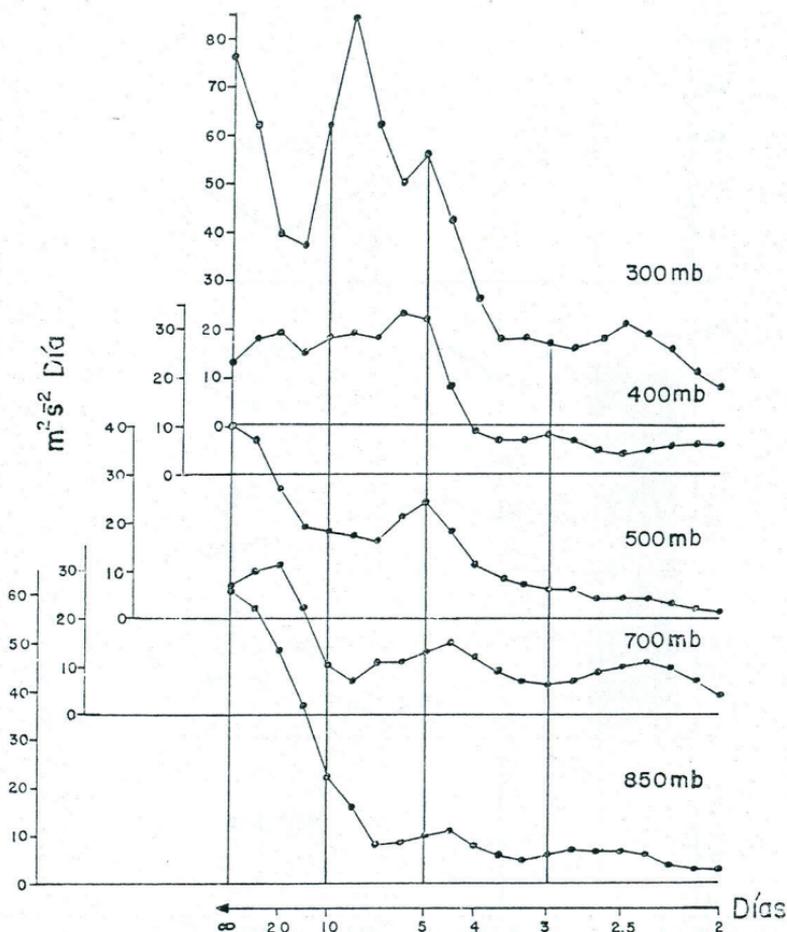


Fig. 7. Espectros de la componente meridional del viento v para varios niveles isobáricos para la estación de la Isla del Cisne durante el período 1 de junio al 30 de noviembre de 1971.

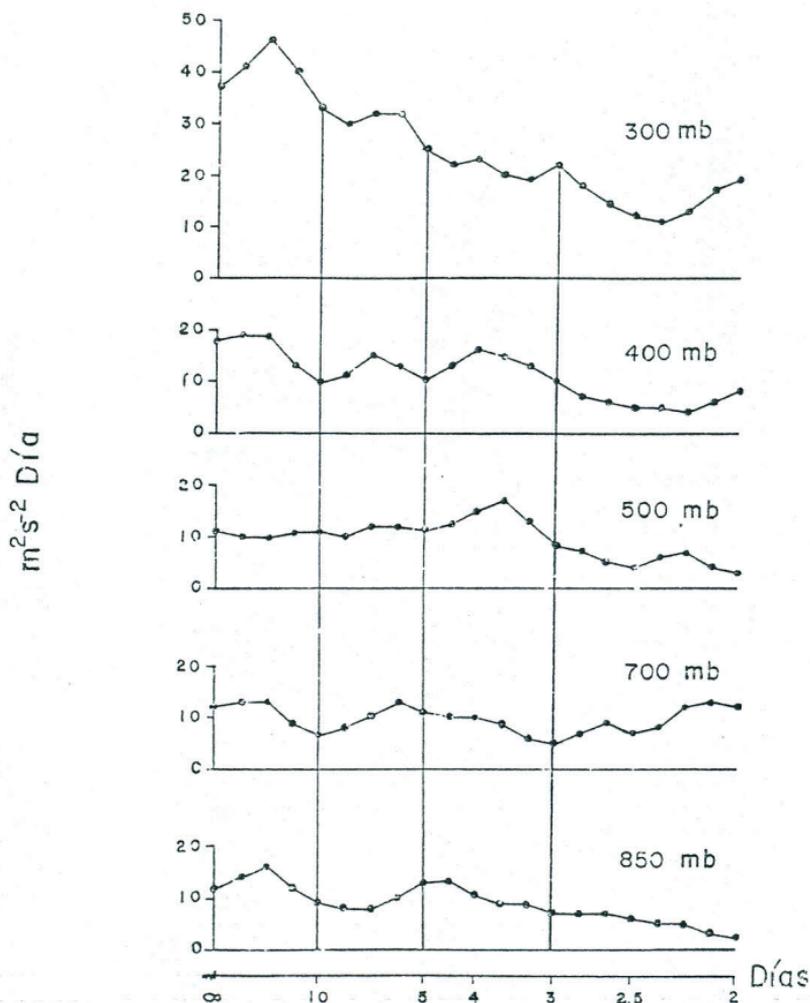


Fig. 8. Espectros de la componente meridional del viento v para varios niveles isobáricos para la estación de la Isla de San Andrés durante el período 1 de junio al 30 de noviembre de 1972.

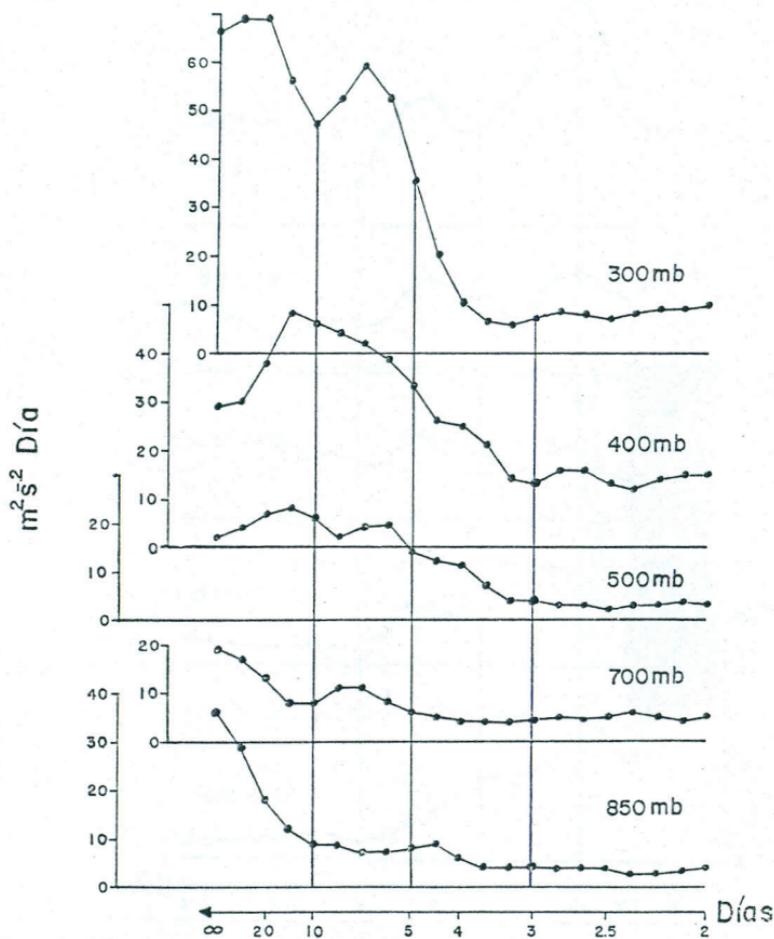


Fig. 9. Espectros de la componente meridional del viento v para varios niveles isobáricos para la estación de la Isla de San Andrés durante el período 1 de junio al 30 de noviembre de 1972.

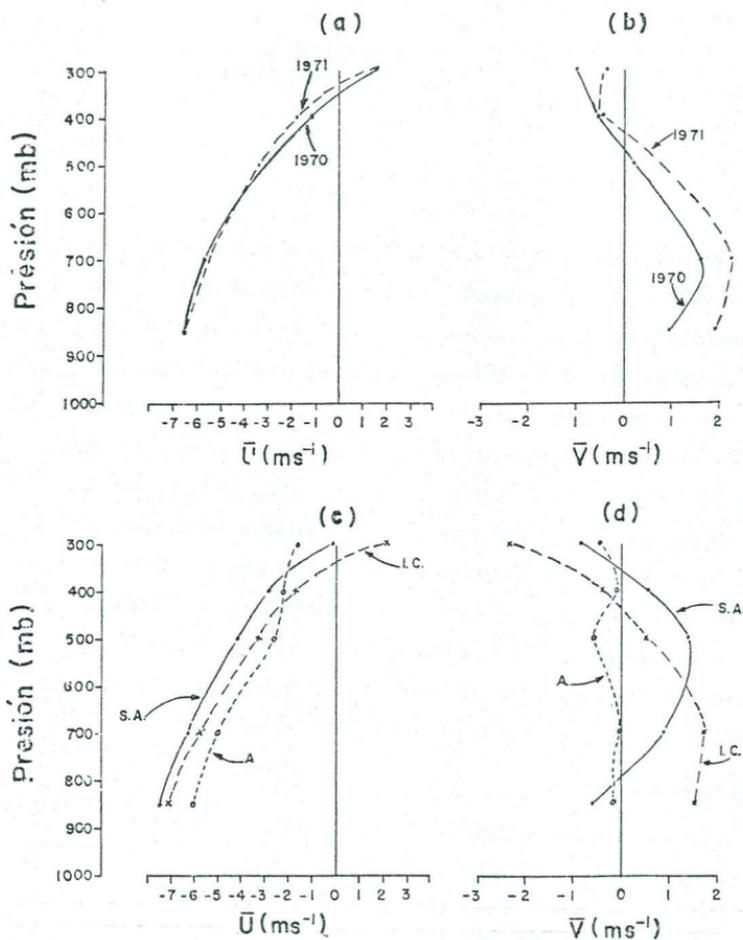


Fig. 10. Distribución vertical de a) la componente zonal media, b) la componente meridional media para la isla del Cisne durante el periodo 1 de Junio al 30 de noviembre de 1970 y 1971, c) la componente zonal media y d) la componente meridional media para 1972 en la Isla del Cisne (I.C.), San Andrés (S.A.) para el periodo 1 de Junio al 30 de noviembre y Alajuela (A.) para el periodo 1 de Agosto al 26 de Noviembre.

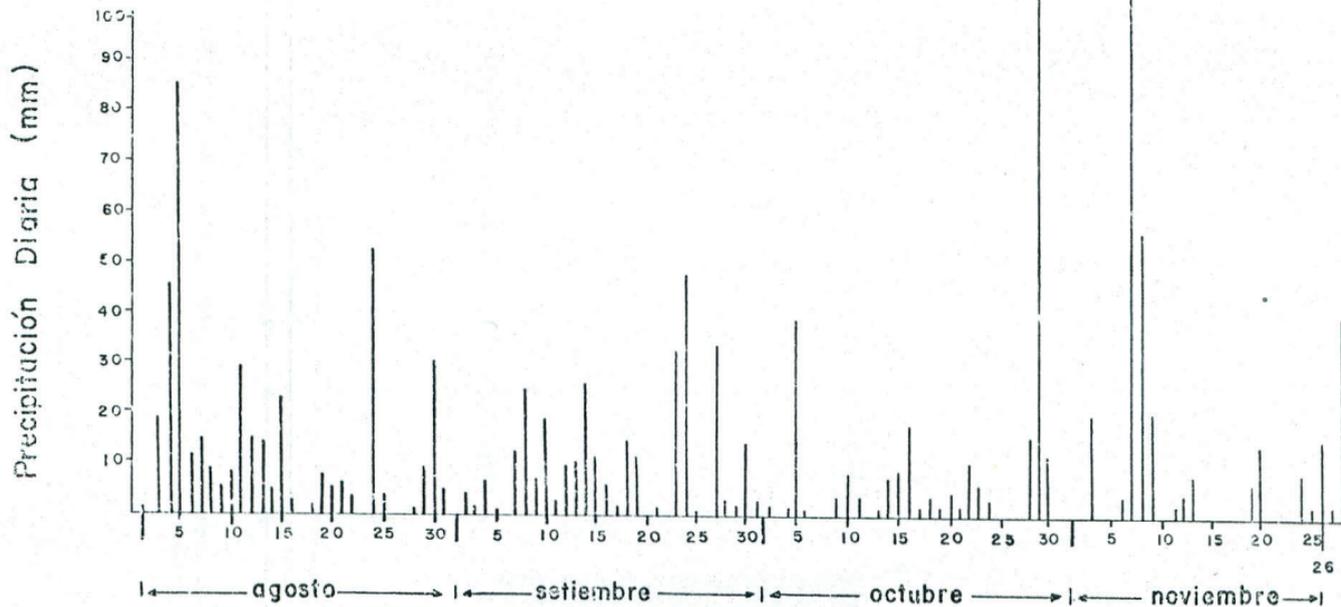


Fig. 11. Distribución temporal de la precipitación diaria para Limón durante el período 1 de agosto al 26 de noviembre de 1972.

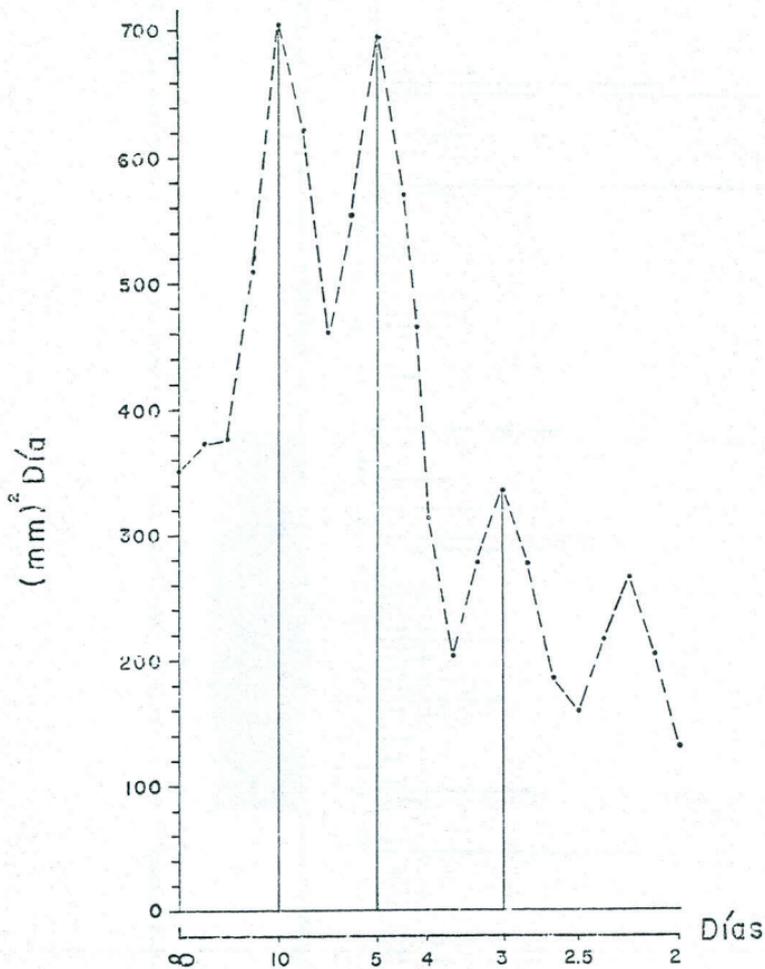


Fig. 12. Espectro de la precipitación diaria para Limón durante el período 1 de Agosto al 26 de Noviembre de 1972.