

Algunas características de la estratósfera sobre Mesoamérica

ERIC J. ALFARO,¹ JORGE A. AMADOR

*Centro de Investigaciones Geofísicas y Departamento de Física Atmosférica Oceánica y Planetaria,
Escuela de Física, Universidad de Costa Rica*

(Recibido el 8 de marzo 2001, aceptado el 13 de febrero de 2001)

ABSTRACT

Statistical values of the Quasi Biennial Oscillation (QBO) were estimated in four latitudinal bands over Meso-America, using the wind and temperature variables of 94 aerological stations from the Comprehensive Aerological Reference Data Set (CARDS). The period used spans from 01/1958 to 12/1991 and the bands were: 1° S-10° N, 11° - 17° N, 18° - 26° N and 27° - 33° N. The pressure levels utilized in this study are 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20, 10 and 5 hPa. For the zonal wind, the signal with the highest power was found in the 20 hPa level for the most equatorial band. It was observed a decrease of this signal from that layer to higher and lower levels and to higher latitudes. The signal found in the same band, for the temperature variable, was a maximum near the 30 hPa level, but it is not as well marked when compared to that of the zonal wind. The meridional wind variable did not show any signal of importance in this frequency range. Finally, a QBO signal was found in the Total Ozone for the most mid latitude band.

1. Introducción

La atmósfera terrestre es un importante medio de propagación de una gran variedad de oscilaciones cuya interacción, entre ellas y con el estado medio, determina en gran medida muchas de las características observadas en las componentes del sistema climático. En la mayor parte de los casos, las oscilaciones que predominan en estas componentes presentan características complejas y una marcada aperiodicidad. Los fuertes contrastes térmicos que ocurren todos los años en algunas regiones del globo como los que se dan, entre las regiones continentales y sus mares adyacentes, dan lugar a corrientes atmosféricas de tipo monzónico, que se caracterizan por mostrar, a pesar de su recurrente presencia, una gran variabilidad espacial y temporal. Aunque son relativamente pocas las oscilaciones atmosféricas que presentan algún grado de repetitividad, algunas de ellas juegan un importante papel en el balance de propiedades y en la caracterización de las condiciones medias de la atmósfera terrestre. Las mareas atmosféricas de temperatura y presión son tal vez de las más conocidas por su naturaleza cuasi-periódica.

Una de las oscilaciones más interesantes que se han descubierto en la atmósfera, lo constituye la Oscilación Cuasi-Bienal (OCB). La OCB es un fenómeno de tipo ondulatorio con período asociado al comportamiento de las anomalías del viento zonal en la estratósfera tropical, la cual, se caracteriza por poseer una componente del este durante aproximadamente un año y luego una del oeste hasta completar un ciclo, con cerca de dos años de duración total. La OCB, desde que fuera descrita por Ebdon (1960), ha sido en general, bastante estudiada y muchas de sus características son relativamente bien conocidas. De acuerdo a Pawson et al. (1993), la más rápida oscilación observada corresponde a la de 1959-1961 con una duración de 20 meses, la más lenta ha sido la de los años 1984-1987 con cerca de 36 meses y el período medio de esta oscilación es de aproximadamente 28 meses. Los regímenes de estes y oestes aparecen arriba de los 10 hPa y se propagan hacia abajo a una razón media de 1 Km por mes, siendo en general, más intensos los estes que los oestes. Una de las más notables características observacionales de la OCB, aún no explicada, es el hecho de que la razón de propagación entre los regímenes de estes y oestes no es simétrica (Naujokat, 1986). La máxima amplitud de la OCB es del orden de los 40 m/s cerca de 20 hPa.

¹ Dirección postal: Escuela de Física, Universidad de Costa Rica, 2060 Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San José, Costa Rica. Correo electrónico: ejalfaro@cariari.ucr.ac.cr, jamador@cariari.ucr.ac.cr.

A pesar de su cuasi periodicidad, la OCB no es un armónico del ciclo estacional y no puede ser explicada simplemente en términos de la estacionalidad asociada al calor latente en los trópicos, el cual, no contiene períodos dominantes en las escalas de tiempo de la OCB. De la misma manera, el calor diabático en la estratósfera ecuatorial, tampoco explica las escalas temporales de la OCB. Si se considera que durante la fase oeste de la oscilación, el aire encima del Ecuador se mueve más rápido que la Tierra, el momento angular del aire en movimiento en estas condiciones excede el de otras latitudes, de manera que la transferencia horizontal de momento zonal medio no parece ser tampoco una explicación para las diferentes fases de la OCB. Las consideraciones anteriores, dejan abierta la posibilidad para que las diferentes fases de la oscilación estén asociadas entonces con un transporte vertical de momento desde la tropósfera alta, asociado a los modos de actividad de las ondas excitadas por los procesos convectivos en los trópicos, donde ondas de tipo Kelvin y Rossby-gravitacionales proveen las fuentes de momento zonal del oeste y del este, respectivamente, para el desarrollo de la OCB (Holton y Lindzen, 1972). También, las fases de la oscilación semianual del viento zonal en la estratósfera superior, han sido propuestas por Lindzen y Holton (1968), como un factor importante para la génesis de la OCB en la estratósfera baja.

La falta de información meteorológica completa a las altitudes en las que la OCB está presente limitó, hasta hace poco tiempo, el estudio de la OCB. En los últimos años, este no es el caso ya que a medida que la tecnología ha avanzado, un mejor instrumental y mejores comunicaciones han permitido que datos más continuos en espacio y tiempo hayan podido ser recolectados en los niveles estratosféricos tropicales. Las características altamente simétricas y periódicas de las OCB, han favorecido el pensar por otro lado, que las teorías existentes son suficientes para explicar, adecuadamente sobre esta base, el origen y evolución de este fenómeno. Comprender mejor el problema de interacción flujo-onda y las fuentes de momento asociadas es fundamental para la comprensión del papel de la OCB en la atmósfera terrestre. A pesar de que es generalmente aceptado que la OCB debe su origen a este tipo de interacción, aún hay mucho debate en la literatura sobre cuales ondas están involucradas en este transporte (McIntire, 1993). Otro punto importante que se debe destacar es lo relativo a la propagación de las ondas, lo cual, depende en general, de las características del medio en el que se propagan las oscilaciones. La cortante vertical o fuentes de energía disponibles (diabáticas o convectivas) son aspectos que modulan en general, la propagación de las ondas atmosféricas. La disponibilidad de información estratosférica permite conocer las características regionales de oscilaciones cuasi-periódicas como la OCB usando datos reales para validar regional y globalmente la habilidad de los modelos numéricos utilizados por proyectos del tipo NCEP/NCAR.

La habilidad de los modelos de reproducir los hechos observados debe ser evaluada a fin de determinar, por ejemplo, el efecto de la proximidad de la frontera superior y la resolución vertical del modelo en la representación realista del flujo estratosférico y variables asociadas, como es el caso de, las perturbaciones en el campo térmico estratosférico asociadas a la OCB.

Los objetivos del presente trabajo comprenden, mediante el uso de datos de radiosonda del Comprehensive Aerological Reference Data Set (CARDS), la documentación de las características de la OCB en Mesoamérica, tanto en función de los niveles estratosféricos disponibles en CARDS, como de la latitud, para las componentes del flujo y el campo térmico. Se analizan algunos aspectos estadísticos de la relación entre las diferentes fases de la OCB y las fases del ENOS durante el periodo de análisis (1958-1991). Esta relación entre la OCB, el ENOS, la frecuencia de huracanes y actividad convectiva intensa en el Caribe y Pacífico de Mesoamérica ha sido utilizada extensivamente en pronósticos climáticos en los trópicos (Gray, 1984a; b).

Como complemento a los datos de viento y temperatura, se usa información de ozono total estratosférico, un importante elemento trazador y modulador de los procesos radiativos en la estratósfera.

2. Datos y Metodología

El área de interés para el presente trabajo corresponde a la región mesoamericana comprendida entre 52° y 107° O y 1° S y 33° N. Para las variables de viento (componente zonal-u y componente meridional-v) y temperatura media, se usaron datos mensuales de 94 estaciones aerológicas del conjunto de datos CARDS, para el período comprendido entre el 01/1958 y el 12/1991 (National Climatic Data Center, 1996). El periodo de análisis de más de treinta años y el número de estaciones usadas constituyen una de las bases de datos más utilizadas completas utilizadas en la región en este tipo de estudios estratosféricos

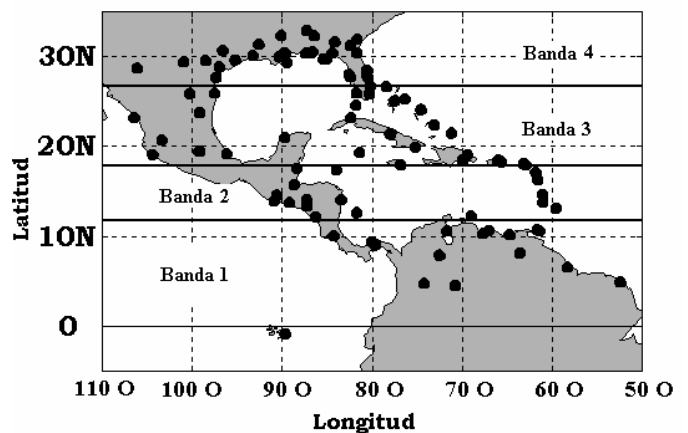


Figura 1. Área de estudio y ubicación de las estaciones

El área de estudio y la ubicación de las estaciones analizadas se muestran en la Fig. 1. Los niveles estratosféricos utilizados fueron 70, 50, 30, 20, 10 y 5 hPa. También se utilizaron los niveles de la tropósfera alta de 200, 150 y 100 hPa. Como uno de los objetivos de este trabajo es determinar la amplitud de la oscilación en función de la latitud y en vista de que las estaciones utilizadas presentan diferentes longitudes de registro y diferentes porcentajes mensuales de datos faltantes, la información analizada fue reducida a bandas latitudinales, de manera que se satisfagan criterios subjetivos de un mínimo de datos en espacio y tiempo con una distribución lo mas homogénea posible de las estaciones en cada una de las regiones latitudinales escogidas. Las bandas 24 y 30 meses y entre los 3 y 7 años, periodos asociados a la OCB y el ENOS, respectivamente.

3. Resultados y Discusión

En las Figs. 2, 3 y 4 se muestran los gráficos de anomalías del viento zonal para las Bandas 1, 2 y 3, respectivamente. La OCB es apreciable (especialmente en niveles arriba de 70 hPa) en las Bandas 1 y 2; y disminuye notablemente aunque no desaparece en las Bandas 3 y 4 (esta última no se muestra). Nótese que debajo de los 70 hPa, a pesar de que la OCB no está tan bien definida como en niveles superiores, pulsos u oscilaciones de menor amplitud son visibles entre 200 y 70 hPa, en donde una fase en el viento zonal logra acoplarse y/o prolongarse hacia los niveles troposféricos altos. Para este análisis, se observó que las fases del oeste que logran prolongarse hacia la tropósfera superior tuvieron una concordancia del 72 % con los eventos de El Niño definidos por Trenberth (1997). Este aumento de los oestees en la tropósfera superior durante los eventos de El Niño ha sido usado por Gray (1984a; b) como uno de los elementos supresores de Huracanes en el Atlántico tropical debido al aumento de la cortante vertical del viento zonal, ya que simultaneamente a la aparición de estos oestees, se tiene

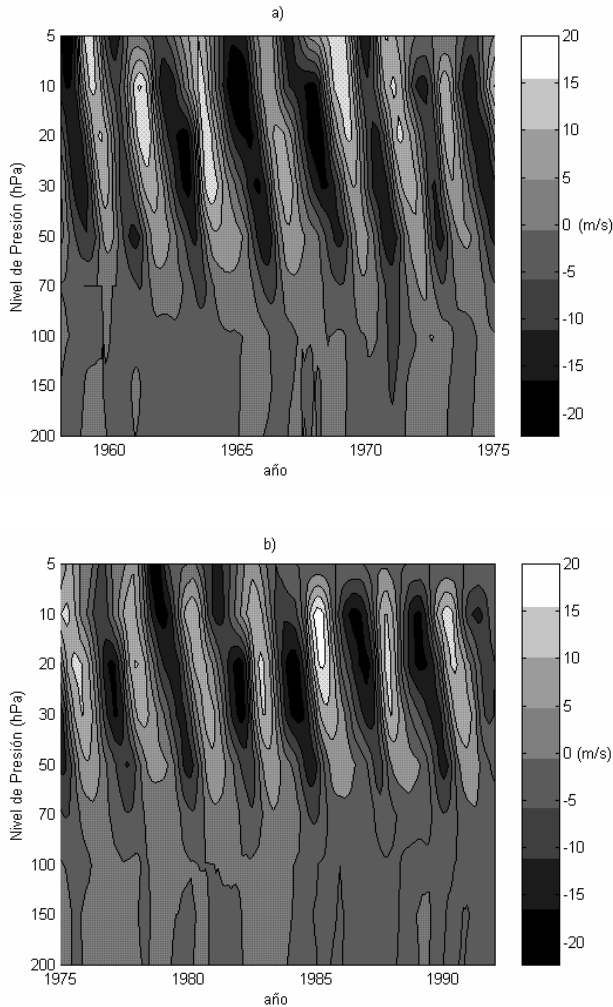


Figura 2. Anomalías del viento zonal para la Banda 1, a) 1958-1974 y b) 1975-1991.

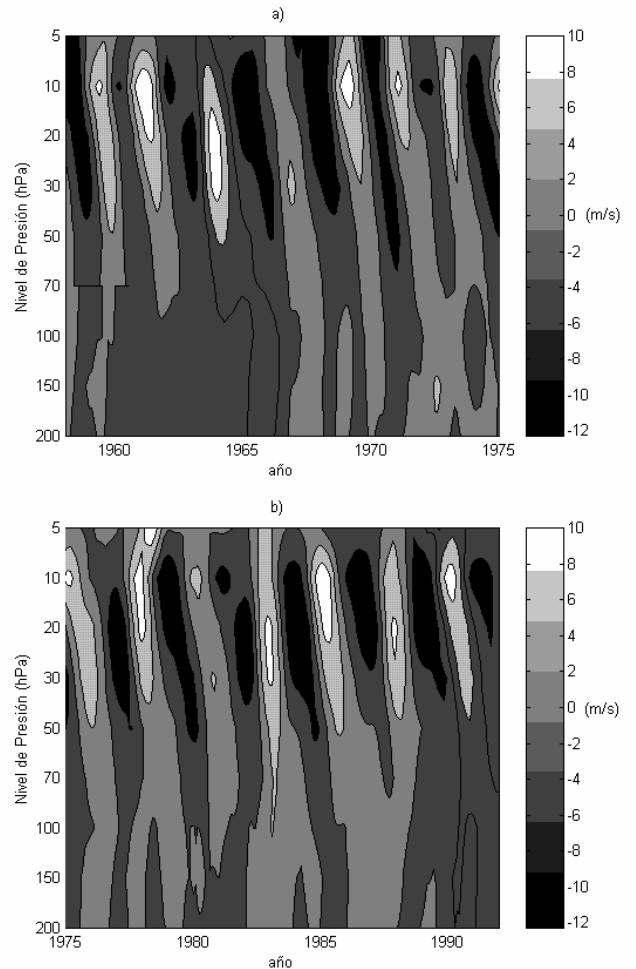


Figura 3. Anomalías del viento zonal para la Banda 2, a) 1958-1974 y b) 1975-1991.

ya el desarrollo de una fase del este en la estratósfera baja y media; y sinópticamente el viento en niveles bajos es del este sobre el Atlántico.

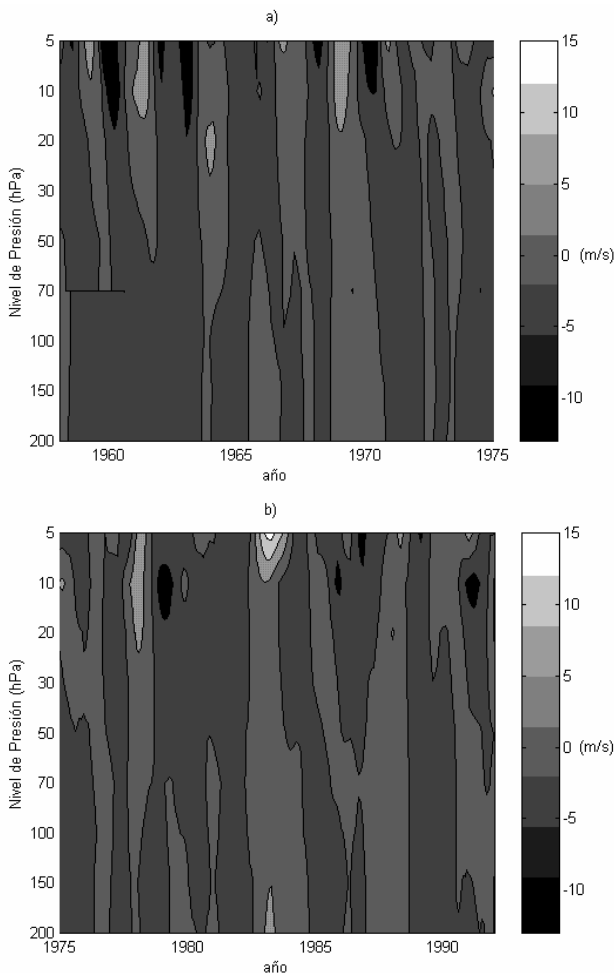


Figura 4. Anomalías del viento zonal para la Banda 3, a) 1958-1974 y b) 1975-1991.

Las características medias de la OCB durante el periodo 1958-1991, para los distintos niveles del viento zonal en las Bandas 1 y 2 se muestra en las Tablas 1 y 2, respectivamente los valores entre paréntesis indican la duración promedio en meses de las fases correspondientes. Se incluye además, el valor promedio de las amplitudes para la transición entre fases Este-Oeste y Oeste-Este (m/s) y la duración promedio en meses entre máximos de distintas fases; este último valor entre paréntesis. La velocidad promedio de descenso observada para la fase del oeste (este) en la Banda 1 fue 0.97 (1.03) km/mes y en la Banda 2 fue 0.89 (1.42) km/mes.

Del análisis de la Tabla 1 (correspondiente a la Banda 1), se observa que entre los 70 y 30 hPa la amplitud promedio de los máximos del oeste fue menor que aquellos del este, sin embargo las fases del oeste fueron de mayor duración que las del este, mientras que entre los 20 y 10 hPa, el comportamiento fue opuesto.

| Fase\Nivel(hPa) | 70 | 50 | 30 | 20 | 10 |
|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Este | -5.2 (12.6) | -10.8 (12.6) | -13.6 (14.0) | -14.2 (14.3) | -13.5 (14.1) |
| Oeste | 3.6 (16.6) | 8.2 (14.6) | 13.0 (13.2) | 16.0 (13.9) | 16.2 (14.1) |
| Este-Oeste | 8.8 (13.1) | 19.9 (12.1) | 27.6 (12.0) | 30.7 (12.1) | 29.8 (14.0) |
| Oeste-Este | 9.0 (16.1) | 19.7 (15.7) | 27.0 (15.7) | 30.1 (16.2) | 29.5 (14.3) |

Tabla 1. Amplitudes máximas promedio de las fases de la Oscilación Casi Bienal en los distintos niveles estratosféricos para la componente zonal del viento (m/s) en la Banda 1.

El rango de la transición entre fases del Este-Oeste fue ligeramente mayor para todos los niveles, excepto en el nivel de 70 hPa, donde la transición Oeste-Este tuvo un mayor rango, aunque para todos los niveles se observó una mayor duración, en meses, para la transición entre las fases Oeste-Este.

Para la Tabla 2 (correspondiente a la Banda 2), se observa que, para todos los niveles, la amplitud promedio de los máximos del oeste fue mayor que aquellos del este, sin embargo las fases del oeste fueron de mayor duración que las del este entre los niveles de 70 y 50 hPa y menores entre los 30 y 10 hPa.

| Fase\Nivel(hPa) | 70 | 50 | 30 | 20 | 10 |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Este | -2.2 (11.8) | -4.3 (13.4) | -6.2 (14.9) | -7.5 (14.5) | -7.9 (15.1) |
| Oeste | 2.2 (15.5) | 4.4 (13.9) | 7.1 (12.3) | 8.8 (13.5) | 10.3 (13.1) |
| Este-Oeste | 4.6 (11.7) | 8.9 (11.0) | 13.8 (11.9) | 16.4 (12.9) | 18.2 (14.4) |
| Oeste-Este | 4.3 (16.1) | 8.7 (16.7) | 13.3 (15.7) | 16.3 (15.4) | 18.1 (14.1) |

Tabla 2. Amplitudes máximas promedio de las fases de la Oscilación Casi Bienal en los distintos niveles estratosféricos para la componente zonal del viento (m/s) en la Banda 2.

El valor de la transición entre fases del Este-Oeste fue ligeramente mayor para todos los niveles, sin embargo la transición Oeste-Este tuvo una mayor duración, en meses, que la transición entre las fases Este-Oeste, excepto para el nivel de 10 hPa donde fue menor.

Los valores calculados en este estudio muestran una correlación de 0.92 entre la serie de viento en 30 hPa de la Banda 1 y el índice de la OCB propuesto por Marquardt y Naujokat (1997), mientras que la correlación entre la serie de viento en 50 hPa de la misma banda y el índice de la OCB propuesto por Amador y Alfaro (1996) fue de 0.91. Los resultados anteriores permiten un alto grado de confianza en los procedimientos y estimaciones estadísticas realizadas en el presente trabajo.

En la Fig. 5 (a y b) se muestran los valores máximos del periodograma entre los periodos de 24 a 30 meses y de 3 a 7 años, respectivamente.

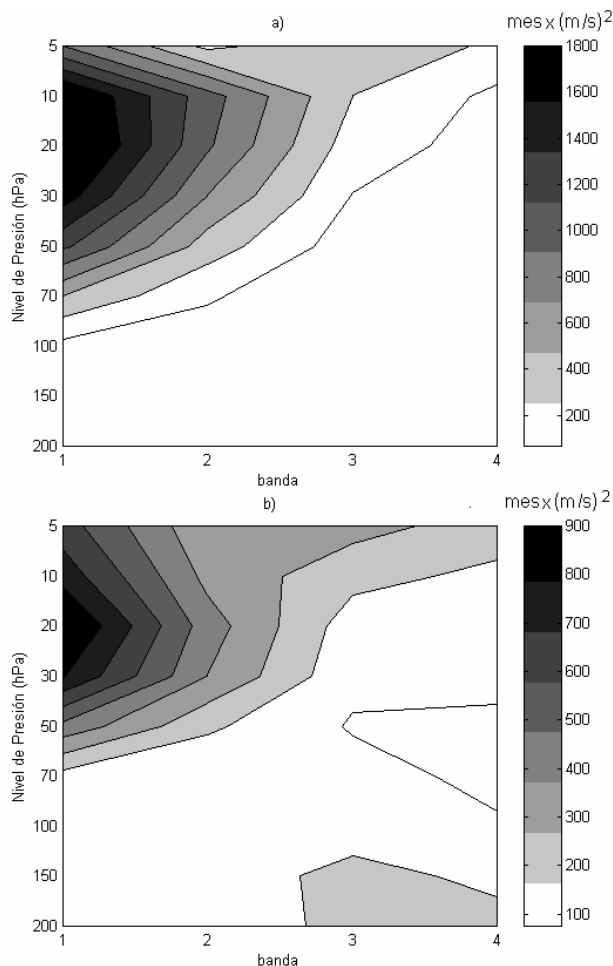


Figura 5. Valores máximos del periodograma entre los períodos de a) 24 a 30 meses y de b) 3 a 7 años, para las anomalías del viento zonal entre 1958 y 1991

Nótese en esta figura el marcado decaimiento de la potencia asociada a la OCB hacia niveles superiores e inferiores y hacia latitudes más altas partir de 20 hPa en la Banda 1.

Este nivel, mostrado en la Fig. 6, tiene la máxima energía asociada para los dos casos de la Fig. 4. Para dicho nivel sobre Mesoamérica, la oscilación más rápida (lenta) fue de 21 (34) meses entre los períodos del 08/1958 (01/1984) al 05/1960 (11/1986), mostrando un valor promedio de 28.4 meses y una desviación estandar de 3.8 meses.

Los valores anteriores concuerdan parcialmente con los resultados de Pawson et al. (1993), ya que para este análisis la oscilación más rápida (lenta) tuvo una duración ligeramente mayor (menor), estas disimilitudes pueden ser explicadas si se consideran las diferencias en la cobertura espacial de los datos entre ambos estudios.

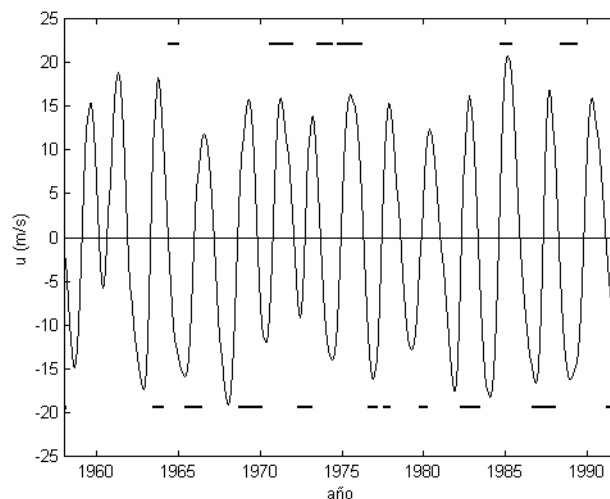


Figura 6. Anomalías del viento zonal en 20 hPa para la Banda 1. Las líneas horizontales a trazos superior e inferior representan la ocurrencia temporal aproximada los eventos de La Niña y El Niño respectivamente definidos por Trenberth (1997).

Para la Banda 1, en el nivel de 20 hPa, se encontró que la fase del este más corta (larga) fue de 7 (20) meses entre el 02/1960 (05/1964) y el 08/1960 (12/1965). La menor (mayor) amplitud para esta fase fue de -5.8 (-19.1) m/s el 05/1960 (01/1968). Once meses fue la menor duración para una fase del oeste y se encontró para los períodos del 10/1972 al 08/1973 y del 05/1987 al 03/1988. La menor (mayor) amplitud para esta misma fase fue de 11.85 (20.74) m/s el 07/1966 (03/1985) y la fase del oeste de mayor duración fue de 17 meses entre el 12/1974 y el 04/1976.

En la Fig. 6, las líneas horizontales a trazos superior e inferior representan la duración temporal aproximada de los eventos de La Niña y El Niño respectivamente de acuerdo a Trenberth (1997), con el fin de analizar su posible influencia sobre la amplitud y con la duración de las fases del este y del oeste de la OCB posteriores al evento o fase del ENOS. Del análisis anterior se encontró que los eventos de La Niña poseen una correlación positiva con la duración de las fases del oeste y otra negativa con la duración de las fases del este, respectivamente, ambas estadísticamente significativas. En este estudio, para la totalidad de los meses de los eventos de La Niña (El Niño), el 42.6% (45.9%) ocurrieron durante fases del este y el 57.4% (54.1%) ocurrieron durante fases del oeste.

La relación entre los eventos ENOS y las duraciones de las fases este y oeste de la OCB puede ser entendida por medio del siguiente modelo conceptual. Hay una fuente continua de energía, asociada a procesos convectivos, desde la tropósfera hacia la estratósfera en la región ecuatorial (Asnani, 1993). Por otra parte estudios teóricos y de observación han confirmado que esta energía es transportada hacia arriba de la estratósfera por medio de la propagación vertical de las ondas Rossby-gravitacionales y Kelvin, las

cuales transportan momento del este y del oeste respectivamente (Holton, 1992). Las ondas Kelvin pueden penetrar flujo del este pero son absorbidas por los oestees cerca de la zona de transición, mientras que las ondas Rossby-gravitacionales penetran los oestees y son absorbidas por los estes. Esta penetración de las ondas en la estratósfera esta limitada en su parte superior por la existencia de una oscilación semianual del flujo zonal en la estratósfera alta, la cual provee una alternancia entre estes y oestees. Si la oscilación semianual alrededor de los 35 km está en una fase que no puede absorber la onda que arriba de niveles inferiores, esta onda simplemente continúa propagándose hacia niveles superiores, hasta que la oscilación semianual se encuentre en una fase que le permita absorberla. Como resultado de este proceso la absorción de las ondas Kelvin (Rossby-gravitacionales) contribuye a la formación de las fases del oeste (este) y su gradual descenso hacia la tropopausa (Asnani, 1993). Durante las fases del ENOS, Alfaro y Cid (1999) y Enfield (1996), han demostrado que se perturban los procesos de convección profunda en la región mesoamericana, por lo que estos eventos del ENOS podrían afectar a ambas fases de la OCB al perturbar el transporte de energía, en forma de perturbaciones ondulatorias, desde la tropósfera alta hacia la estratósfera.

Al analizar la relación entre el número de ciclones tropicales en el Caribe y la OCB se encontró que, en promedio, durante el segundo semestre del año, se producen más ciclones tropicales en esta región oceánica cuando la OCB se encuentra en una transición, de una fase del oeste a una del este, lo anterior concuerda parcialmente con Gray (1984a; b), el cual encontró una mayor frecuencia de huracanes en el Caribe, cuando la OCB presenta una fase del oeste en los meses de agosto y setiembre, debido a una disminución en la cortante vertical del viento. Para el Pacífico Tropical Noreste se encontró un comportamiento similar, pues se observó una mayor producción de ciclones tropicales al estar la OCB en una fase del oeste.

En la Fig. 7 se muestra el gráfico de anomalías de temperatura para la Banda 1. Esta banda fue la única que presentó evidencia de un tipo de Oscilación Cuasi Biental, mostrando fases positivas y negativas relativamente bien definidas. Las características promedio para las anomalías de la temperatura se resumen en la Tabla 3.

| Fase\Nivel(hPa) | 70 | 50 | 30 | 20 | 10 |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Negativa | -1.2 (14.4) | -1.1 (15.6) | -1.4 (15.1) | -1.3 (15.5) | -1.4 (12.2) |
| Positiva | 1.2 (12.1) | 1.3 (11.6) | 1.5 (12.1) | 1.6 (12.5) | 1.4 (15.1) |
| Neg.-Pos. | 2.4 (13.5) | 2.4 (13.8) | 2.9 (12.6) | 2.8 (14.4) | 2.7 (15.5) |
| Pos.-Neg. | 2.4 (13.5) | 2.5 (13.8) | 3.0 (15.4) | 2.9 (14.0) | 2.8 (12.4) |

Tabla 3. Amplitudes máximas promedio de las fases de la Oscilación Casi Biental en los distintos niveles estratosféricos para la temperatura (°C) en la Banda 1. Los valores entre paréntesis indican la duración promedio en meses de las fases correspondientes.

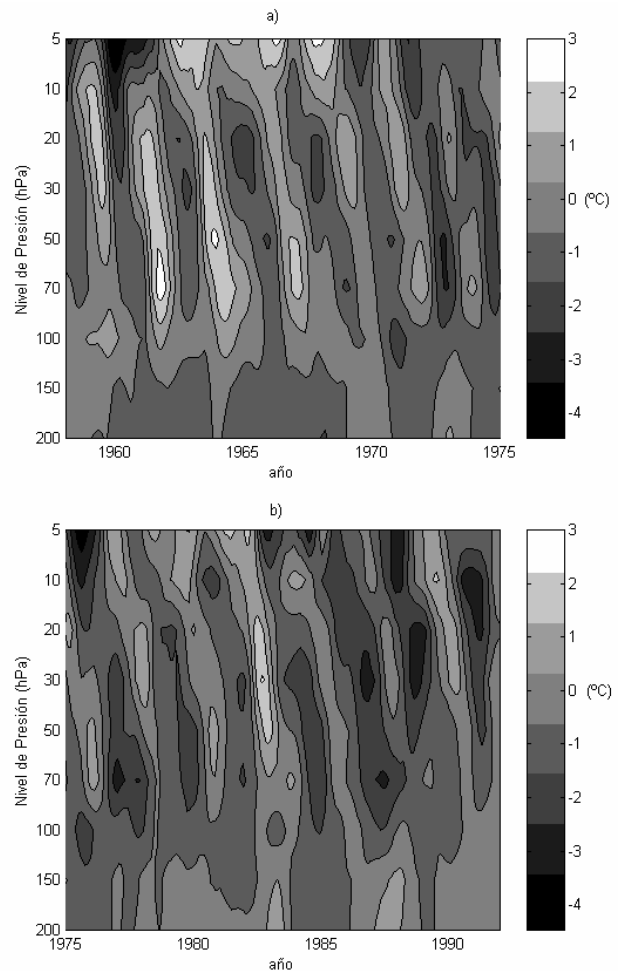


Figura 7. Anomalías de temperatura para la Banda 1, a) 1958-1974 y b) 1975-1991.

La velocidad promedio de descenso observada para la fase positiva (negativa) fue 0.92 (0.96) km/mes. Los valores máximos del periodograma entre los periodos de 24 a 30 meses, ver Fig. 8, identificó el nivel de 30 hPa de la Banda 1 como el de máxima energía asociada entre este rango de periodos (Fig. 9), sin embargo, los rangos de potencia asociados a la OCB de la temperatura son de aproximadamente un 10 %, al compararlos con los observados en el viento zonal (comparar Figs. 3a y 6). Para el nivel de 30 hPa en la Banda 1 de la temperatura, la oscilación más rápida fue de 23 meses entre el 09/1986 y el 08/1988 y la más lenta fue de 31 meses para los periodos del 03/1960 al 10/1962 y del 04/1962 al 11/1967, mostrando un valor promedio de 28.3 meses y una desviación estandar de 2.4 meses. Adicionalmente, en la Fig. 8, se observó un máximo secundario, con rangos de potencia comparables al descrito anteriormente, para el nivel de 5 hPa en la Banda 3.

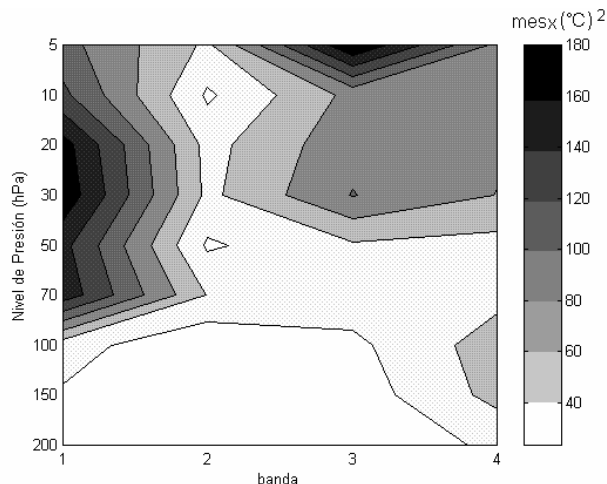


Figura 8. Valores máximos del periodograma entre los períodos de 24 a 30 meses, para las anomalías de la temperatura entre 1958 y 1991.

Para el nivel de 30 hPa de la Banda 1, se encontró que la fase positiva más corta fue de 4 meses entre el 12/1972 y el 03/1973, mostrando también la menor amplitud para una fase positiva, la cual fue de 0.3 °C el 02/1973. Por otro lado, la fase positiva de mayor duración fue de 21 meses entre el 07/1960 y el 03/1962, sin embargo la mayor amplitud para una fase positiva fue de 3.1 °C el 08/1982. Veinticuatro (siete) meses fue la mayor (menor) duración para una fase negativa y se encontró para el período del 06/1985 (12/1959) al 05/1987 (06/1960). La mayor (menor) amplitud para esta misma fase fue de -2.4 °C (-0.8 °C) el 08/1988 (02/1958).

Al igual que en la Fig. 6, las líneas horizontales a trazos superior e inferior de la Fig. 9 representan los eventos de La Niña y El Niño respectivamente de acuerdo con Trenberth (1997).

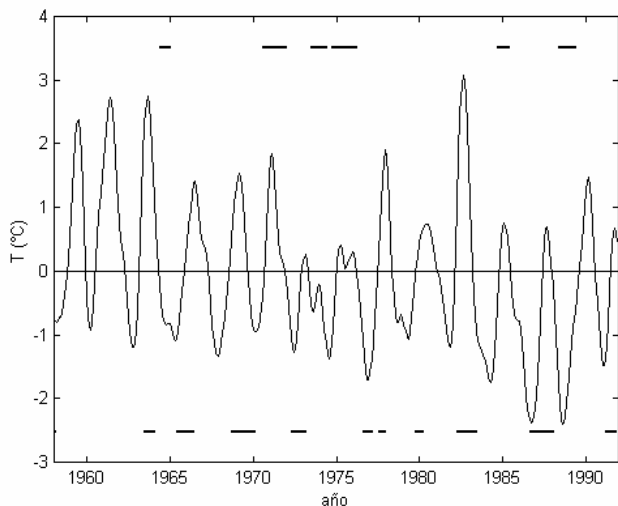


Figura 9. Anomalías de la temperatura en 30 hPa para la Banda 1. Las líneas horizontales a trazos superior e inferior representan los eventos de La Niña y El Niño respectivamente definidos por Trenberth (1997).

Este análisis mostró cierta relación entre la duración de los eventos de La Niña, a través de una correlación negativa estadísticamente significativa, con la duración de las fases negativas de la temperatura y una correlación positiva, aunque no estadísticamente significativa, con las fases positivas. Los resultados anteriores son consistentes con los encontrados para el viento zonal. Para la totalidad de los meses de los eventos de La Niña (El Niño), el 41.2% (58.2%) ocurrieron durante fases positivas y el 58.8% (41.8%) ocurrieron durante fases negativas.

En la Banda 1, la función de correlación cruzada entre las anomalías del viento zonal en 20 hPa y las de la temperatura en 30 hPa mostraron una correlación positiva máxima de 0.8, precediendo por un mes el viento zonal a la temperatura. Reed (1965), propuso el siguiente modelo para explicar esta relación entre el viento zonal y la temperatura estratosférica. Cerca de latitudes ecuatoriales, este autor observó que al tener un núcleo de estes en la estratósfera baja y un núcleo de oestes en la estratósfera alta se produce un movimiento vertical descendente entre ellos lo que provoca un calentamiento en dicha región asociado a la fase positiva de la OCB en la temperatura. Posteriormente el núcleo de oestes desciende, reemplaza los estes en la estratósfera baja y comienza una fase del este en la estratósfera superior, observándose un movimiento vertical ascendente entre la estratósfera baja y alta con el correspondiente enfriamiento entre estas dos capas, lo que provoca la fase negativa de la OCB en la temperatura.

Del análisis de la Tabla 3 (correspondiente a la Banda 1 en la temperatura), se observa que entre los 50 y 20 hPa la amplitud promedio de los máximos de las fases positivas fueron ligeramente mayores que aquellas de las fases negativas, e iguales para los niveles 70 y 10 hPa, además las fases negativas presentaron una mayor duración, en meses, que las positivas excepto para el nivel de 10 hPa. El rango de la amplitud para la transición entre fases Negativa-Positiva fue ligeramente menor para todos casi todos los niveles, excepto en 70 y 10 hPa, donde la transición Positiva-Negativa fue igual y mayor respectivamente. Para los niveles de 70 y 50 hPa se observó una duración igual, en meses, para la transición entre las fases y una duración mayor, en meses, para la transición entre fases Negativa-Positiva (Positiva-Negativa) para los niveles de 20 y 10 hPa (30 hPa).

En la Fig. 10 (a y b) se muestran las anomalías de Ozono Total para las cuatro bandas. Al analizar la FCC entre las series de Ozono Total para las Bandas 1 y 2 y las anomalías del viento zonal en 20 hPa para la Banda 1, se encontraron correlaciones positivas de 0.5 y 0.6, para resagos en el viento zonal de 58 y 45 meses, respectivamente, mientras que para las Bandas 3 y 4 se encontraron unas correlaciones negativas de -0.8 y -0.7, para resagos en el viento zonal de 59 meses en ambas. Estas relaciones, aunque significativas estadísticamente al 95%, presentan resagos muy grandes por lo que se sugiere un estudio futuro de causalidad.

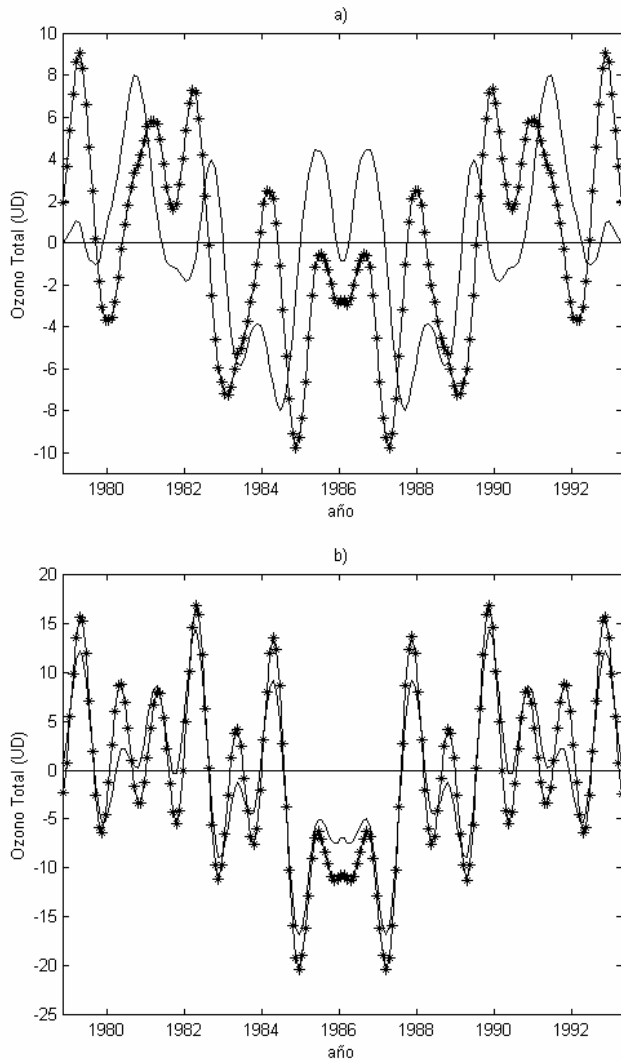


Figura 10. Anomalías de Ozono Total para a) las Bandas 1 (línea continua) y 2 (línea con asteriscos) y b) las Bandas 3 (línea continua) y 4 (línea con asteriscos).

El análisis de la FCC entre las series de Ozono Total en las cuatro Bandas y las anomalías de Temperatura en 30 hPa para la Banda 1 no mostró ninguna relación significativa. Figura 11. Valores máximos del periodograma entre los periodos de 24 a 30 meses (línea continua) y de 3 a 7 años (línea con asteriscos) para las cuatro bandas.

En la Fig. 11 se muestran los valores máximos del periodograma entre los periodos de 24 a 30 meses y de 3 a 7 años. De esta figura se nota que en las Bandas 1 y 2 dominan las oscilaciones con potencia asociada a periodos entre los 3 y 7 años y en las Bandas 3 y 4 las oscilaciones con potencia asociada a periodos entre los 24 y 30 meses, lo cual podría estar relacionado con el máximo observado en 5 hPa para la Banda 3 del periodograma de la temperatura (ver Fig. 8).

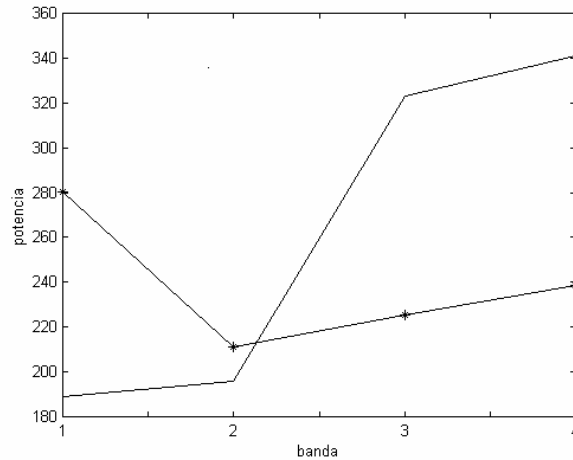


Figura 11. Valores máximos del periodograma entre los periodos de 24 a 30 meses (línea continua) y de 3 a 7 años (línea con asteriscos) para las cuatro bandas.

En la Fig. 12 se muestra la tendencia encontrada para la temperatura. Se destaca el hecho de una tendencia negativa en prácticamente toda la estratósfera y positiva en los niveles troposféricos altos.

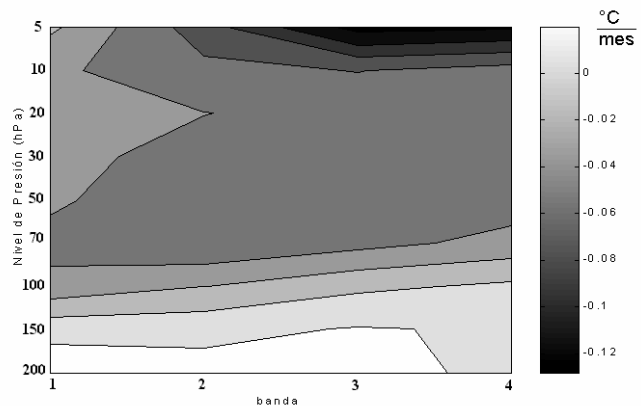


Figura 12. Tendencia lineal de las series de anomalías de temperatura, significativas al 95%.

Este resultado es consistente con la idea del calentamiento global troposférico propuesto por Mann (1999) ya que se esperaría un balance en la estratósfera debido a un calentamiento en la tropósfera. Por último, el análisis temporal y espectral del viento meridional, no mostró ninguna señal importante que destacar.

4. Conclusiones

Se concluye del análisis del viento zonal y de la temperatura sobre Mesoamérica, en niveles estratosféricos y bajas latitudes, que los valores máximos de energía se encuentran asociados a frecuencias con períodos entre los 24 y 30 meses y con velocidades de descenso de aproximadamente 1 km/mes, lo cual define una señal asociada a la Oscilación Cuasi Bienal que se identifica claramente entre los niveles de 10 y 70 hPa, para las Bandas 1 y 2, notándose un marcado decaimiento hacia niveles superiores e inferiores y hacia latitudes más altas.

Para el viento zonal, se encontró un máximo de energía en los 20 hPa de la Banda 1, con una amplitud promedio de 30 m/s, la cual decae a 16 m/s en la Banda 2, siendo además la transición, en meses, entre fases del este y oeste más rápida que entre fases del oeste y este. Además de lo anterior, se notó que los períodos con cortante este (oeste) en el viento zonal coinciden con fases frías (calientes) en la temperatura. Esta última variable presentó una amplitud máxima de 2.9 °C, para la Banda 1 en el nivel de 30 hPa. Por último, la OCB en el Ozono Total domina hacia latitudes medias, especialmente en las Bandas 3 y 4, ya que en las Bandas 1 y 2 dominaron las señales con períodos entre los 3 y 7 años.

5. Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por la Universidad de Costa Rica (proyectos VI 805-94-204, 805-98-506 y 112-99-305) y por el Inter-American Institute for Global Change (IAI) bajo las iniciativas ISP 3-030, CRN-73 y CRN-TC3.

RESUMEN

Usando las variables de viento y temperatura de 94 estaciones aerológicas del conjunto de datos Comprehensive Aerological Reference Data Set (CARDS) se estimaron estadísticos relativos a la Oscilación Cuasi Bienal (OCB) en cuatro bandas latitudinales sobre Mesoamérica para el período comprendido entre el 01/1958 y el 12/1991. Las bandas usadas fueron: 1° S-10° N, 11° - 17° N, 18° - 26° N y 27° - 33° N. Los niveles utilizados para el estudio incluyen 200, 150, 100, 70, 50, 30, 20, 10 y 5 hPa. Para el viento zonal, la señal con mayor potencia se encontró en los 20 hPa de la banda más ecuatorial, notándose un marcado decaimiento desde esta capa hacia niveles superiores e inferiores y hacia latitudes más altas. En la misma banda latitudinal, la potencia de la señal de la temperatura fue no es tan marcada si se compara con la del viento zonal y su nivel de máxima potencia se ubicó en los 30 hPa. La variable del viento meridional no mostró ninguna señal importante en este rango de frecuencias. Por último, se identificó una señal Cuasi Bienal en el Ozono Total pero en las bandas ubicadas hacia latitudes medias.

6. Referencias

Alfaro, E. y J. A. Amador, 1996: El Niño-Oscilación del Sur y algunas series de temperatura máxima y brillo solar en Costa Rica. *Top. Meteor. Oceanogr.*, **3**(1), 19-26.

Alfaro, E. y L. Cid, 1999. Ajuste de un modelo VARMA para los campos de anomalías de precipitación en Centroamérica y los índices de los océanos Pacífico y Atlántico Tropical. *Atmósfera*, **12**(4), 205-222.

Amador, J.A. y Alfaro, E., 1996: La Oscilación Cuasi-bienal, ENOS y acoplamiento de algunos parámetros superficiales y

estratosféricos sobre Costa Rica. *Top. Meteor. Oceanogr.*, **3**(1), 45-53.

Asnani, G., 1993: Tropical meteorology, vol. 2. Noble Printers, 1202 pp.

Ebdon, R. A., 1960. Notes on the wind flow at 50 mb in tropical and subtropical regions in January 1957 and January 1958. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **86**, 322-331.

Enfield, D., 1996. Relationships of inter-American rainfall to tropical Atlantic and Pacific SST variability. *Geophys. Res. Lett.*, **23**(23), 3305-3308.

Gray, W., 1984 a. Atlantic seasonal hurricane frequency. Part I: El Niño and 30 mb Quasi-Biennial Oscillation Influences. *Mon. Weather Rev.*, **112**, 1649-1668.

Gray, W., 1984 b. Atlantic seasonal hurricane frequency. Part II: Forecasting its variability. *Mon. Weather Rev.*, **112**, 1669-1683.

Holton, J.R., and R. S., Lindzen, 1972. An updated theory for the quasi-biennial oscillation of the tropical stratosphere. *J. Atmos. Sci.*, **29**, 1076-180.

Holton, J., 1992: An introduction to dynamic meteorology. Academic Press, 3 ed., 511 pp.

Lindzen, R. and J. Holton, 1968. A theory of the quasi-biennial oscillation. *J. Atmos. Sci.*, **25**, 1095-1107.

Mann, M., 1999: Global temperature 1856-1998. *Tiempo Bulletin*, **31**, 25.

National Climatic Data Center, 1996: Comprehensive aerological reference data set. Upper air data for the Caribbean area. Mid - 1940's - 1992. National Oceanic and Atmospheric Administration.

McIntyre, M.E., 1993. The Quasi-Biennial Oscillation (QBO): Some points about the terrestrial QBO and the possibility of related phenomena in the solar interior. *Proc. NATO Adv. Res. Workshop ARW 920946*, Paris, October 1993, The solar engine and its influence on the terrestrial atmosphere and climate, ed. E. Nesme-Ribes, Springer Verlag 1994 (Vol. 25 of NATO ASI Subseries I, Global Environmental Change, 3-540-58417-X,I/25)

Naujokat, B., 1986. An updated of the observed quasi-biennial oscillation of the stratospheric winds over the tropics. *J. Atmos. Sci.*, **43**, 1873-1877.

Marquardt, C., and B. Naujokat, 1997: An update of the equatorial QBO and its variability. 1st SPARC Gen. Assemb., Melbourne Australia, WMO/TD-No. 814, Vol. 1, 87-90.

Pawson, S., K. Labitzke, R. Lenschow, B. Naujokat, B. Rajewski, M. Weisner, and R. Wohlfahrt, 1993. Climatology of the Northern Hemisphere stratosphere derived from Berlin analysis. Part 1: Monthly means. *Meteorologische abhandlungen (Neue Folge)*, Verlag von Dietrich Reimer, 141 pp.

Reed, R., 1965: The present status of the 26-month oscillation. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **46**, 374-387.

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

Thacker, B., 1996: TOMS version 7. En: Gridded O3 data: 1978-1993. R. McPeters and E. Beach, Eds. NASA Goddard Space Flight Center.

Trenberth, K., 1997. The definition of El Niño. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **78**(12), 2771-2777.