

Causas de la reciente sequía acaecida en la región oriental de Cuba

BRAULIO LAPINEL, ABEL CENTELLA, IDELMIS GONZÁLES, CECILIA FONSECA & VIRGEN CUTIE

Centro del Clima, Instituto de Meteorología, Habana 17, Cuba

braulio.lapinel@insmet.cu

Resumen Progresivas modificaciones en las características de la circulación atmosférica sobre el Caribe, acentuadas en los últimos años y coincidentes temporalmente con los graduales incrementos globales de la temperatura del aire en superficie y la persistencia de anomalías positivas de la temperatura del mar en la región trópico, han propiciado la incidencia de persistentes eventos de sequía en Cuba, principalmente en su región oriental. Se muestra cómo la mayor influencia simultánea del anticiclón oceánico del Atlántico en los niveles troposféricos bajos y medios y del anticiclón mexicano de verano, en interacción con un desplazamiento al oeste de la vaguada superior atlántica en los niveles altos, ha estado causando una fuerte subsidencia, desfavorable para el proceso de la lluvia. Son obtenidas funciones representativas del perfil Omega en diferentes condiciones relativas a la lluvia. Las tendencias de las magnitudes de Omega, señalan un decremento de las magnitudes negativas e incremento de las positivas, de modo significativo en todos los niveles troposféricos, con puntos de cambios a finales de los años 70.

Palabras claves Caribe; sequía meteorológica; velocidad vertical de presión

Causes of the recent droughts in western Cuba

Abstract Progressive modifications in the characteristics of the atmospheric circulation of the Caribbean, have become accentuated in recent years and coincided, at least temporarily, with the gradual global increase of surface air temperatures and the persistence of positive anomalies of sea surface temperature in the tropical region. These have produced persistent drought events in Cuba, mainly in the western region. The Atlantic anticyclone influence in the low and medium levels of the troposphere, together with the influence of the Mexican anticyclone in summer, in combination with a displacement to the west of the Atlantic superior Tropical Upper Tropospheric Trough at high levels, have caused a strong descending movement, which is very unfavourable for precipitation. Representative functions of the “Omega” vertical distribution were obtained under different relative precipitation conditions. The trends of Omega indicate a decrease of the negative magnitudes and an increase of the positive ones, in a significant manner, at all tropospheric levels, with remarkable trend changes at the end of the seventies.

Key words Caribbean; meteorological drought; vertical speed of pressure

INTRODUCCIÓN

El clima de Cuba en las últimas décadas ha experimentado notables alteraciones, como consecuencia de “un elevado nivel de respuesta de la circulación atmosférica regional a los principales cambios del Sistema Climático ocurridos a escala global” (Centella *et al.*, 1997).

Brenes (1994) y Naranjo (1999), detectaron importantes variaciones en las características de la influencia anticiclónica sobre la región durante las últimas décadas, producto de la intensificación de la dorsal anticiclónica del Atlántico, proceso consistente con un paulatino incremento en la intensidad de la corriente zonal del Este vinculada al régimen alisio, el cual sobre Cuba desfavorece los mecanismos productores de precipitación, principalmente en el período estacional lluvioso.

Los principales cambios en las características de la influencia anticiclónica en el área, se han detectado desde mediados de la década de los años 70, fecha plenamente coincidente con las importantes modificaciones de carácter global que se han venido produciendo en las temperaturas del aire en superficie y del mar, observándose una mayor penetración de la cuña anticiclónica oceánica sobre el archipiélago cubano en este último período (Fonseca, 2001).

Dado que las condiciones marcadamente secas o húmedas sobre Cuba, se relacionan estrechamente con la posición, morfología e intensidad del anticiclón oceánico en la troposfera baja y media y el anticiclón mexicano en la troposfera media y alta (Lapinel *et al.*, 2001), en interacción con la posición y estructura de la vaguada troposférica superior tropical (TUTT) del Atlántico, los cambios anteriormente señalados resultan del mayor interés respecto al comportamiento de las lluvias y específicamente la sequía.

DATOS

La información principal empleada procede de las bases de datos de aire superior del NCEP-NCAR Reanalysis Project (CDAS) del Centro de Predicción Climática (CPC) (<http://wesley.ncep.noaa.gov/reanalysis.html>), y las facilidades de cálculo del Centro de Diagnósticos (CDC), Climate Diagnostics Center de la NOAA-CIRES (<http://www.cdc.noaa.gov/cgi-bin/Composites/printpage.pl>), ambos de los Estados Unidos de Norteamérica, así como de las bases de datos de lluvia de los Institutos de Recursos Hidráulicos (INRH) y Meteorología (INSTMET) de Cuba. Las variables analizadas fueron los geopotenciales, la velocidad vertical de presión (Vvel) y los acumulados mensuales de las lluvias.

MÉTODOS

La definición detallada Vvel (Omega), se presenta en el RUC13update en el RUC/MAPS del CPC. El signo negativo se interpreta como movimientos ascendentes e inversamente descendentes.

La evaluación de las tendencias de las magnitudes de la velocidad vertical de presión se efectuaron mediante los test estadísticos de Spearman, Kendall - Mann y Pettit, que comprueban el nivel de significación y la existencia de puntos de cambio en las series.

El área básica utilizada corresponde a la situada entre 20–25°N y entre 75–80°W y los perfiles verticales principales se computaron en las alturas de 925, 850, 700, 600, 500, 400, 300, 250 y 200 hPa en 22.5°N y 77.5°W. El período de estudio abarcó desde 1948 al 2005. La Norma para la lluvia correspondió al período 1971–2000.

RESULTADOS

Cambios en las alturas geopotenciales y morfología de las superficies de presión en la región geográfica de Cuba. Mes de junio y estación lluviosa (mayo–octubre)

Período 1948–2004

El incremento progresivo y significativo de las alturas geopotenciales de las superficies de presión sobre el área, la mayor intrusión de la cuña anticiclónica oceánica hacia el Oeste, sobre Las Antillas Mayores y en consecuencia un corrimiento en esta misma dirección de la vaguada, se aprecia en la troposfera media (500 hPa) del mes de junio, evaluada por décadas desde 1951–1960 hasta 1991–2000 y el quinquenio 2001–2005 en la superficie de 500 hPa (Fig. 1).

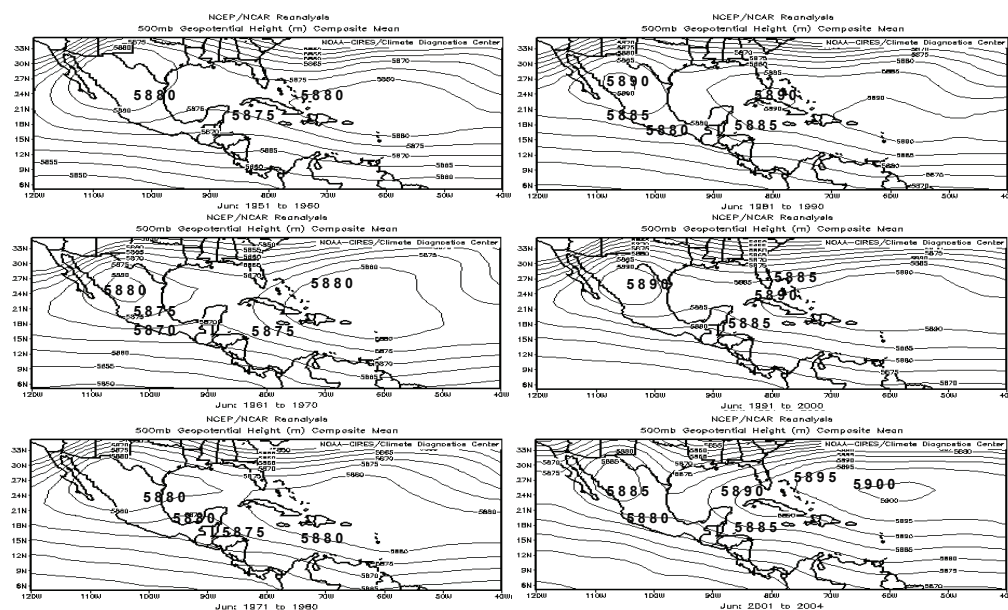


Fig. 1 Alturas de las superficies de presión de 500 hPa durante los meses de junio de las décadas 1951–1960, 1961–1970, 1971–1980, 1981–1990 y 1991–2000, así como en el cuatrienio 2001–2004.

Similar proceso se advierte a este nivel, al evaluar el período lluvioso en su conjunto (mayo–octubre), conjuntamente con la troposfera alta (300 y 200 hPa) durante este mismo período estacional, donde se aprecia la ganancia en altura del anticiclón mexicano y el aumento de la curvatura anticiclónica sobre Cuba, al comparar los períodos 1948–1976, 1977–2005 y 1998–2005 (Lapinel *et al.*, 2006). Por otra parte, al comparar el comportamiento del período 1948–2005 y los años 2003 y 2004 reveló esos mismos procesos fuertemente amplificadas (Fig. 2).

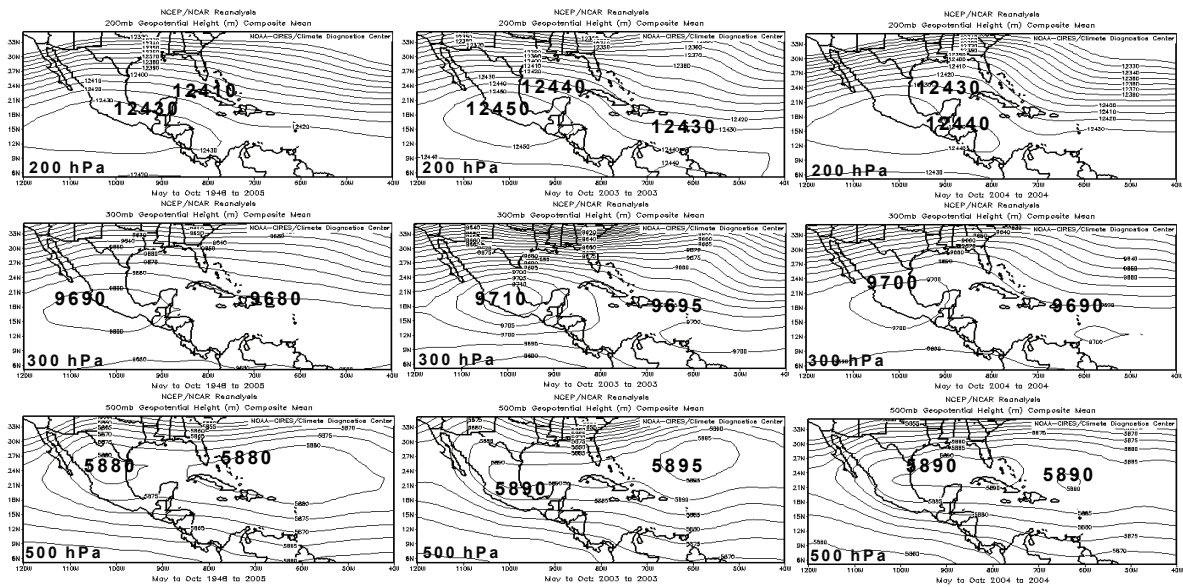


Fig. 2 Alturas de las superficies de presión de 200, 300 y 500 hPa durante los períodos lluviosos (mayo–octubre) de 1948–2005, 2003 y 2004.

Valoración espacial de las modificaciones de Omega sobre Cuba en el curso del período 1948–2005

Consistentemente con lo anteriormente visto, sobre la mitad oriental de Cuba, en la atmósfera alta y media, las magnitudes de Omega negativas en el período estacional lluvioso de 1977 al 2004, han disminuido respecto al anterior período 1948–1976 (Fig. 3), mientras que en la atmósfera baja se han incrementado las positivas.

Estos cambios han propiciado, de manera general, una inhibición progresiva de los movimientos convectivos ascendentes indispensables para el proceso de las lluvias y limitado o modificado las características de influencia de los sistemas organizados productores de las mismas (ondas, hondonadas, frentes, ciclones, etc.) y en consecuencia han estado contribuyendo sustancialmente al incremento de los procesos de sequía, tal y como se ha estado observando sobre esta región.

Omega durante condiciones, secas y húmedas medias, así como secas y húmedas medias extremas durante período estacional lluvioso de la mitad oriental de Cuba

La excelente relación entre las características de Omega y el comportamiento de la lluvia, se revelan en las magnitudes que manifiesta el perfil vertical de la primera, entre 925 y 200 hPa, durante las siguientes condiciones de lluvias: Medias (todo los casos), Secas Medias (deciles 5, 4, 3 y 2), Húmedas Medias (deciles 6, 7, 8 y 9), Extremas Secas Medios (deciles 1) y Extremas Húmedas Medias (deciles 10); véase la Fig. 4.

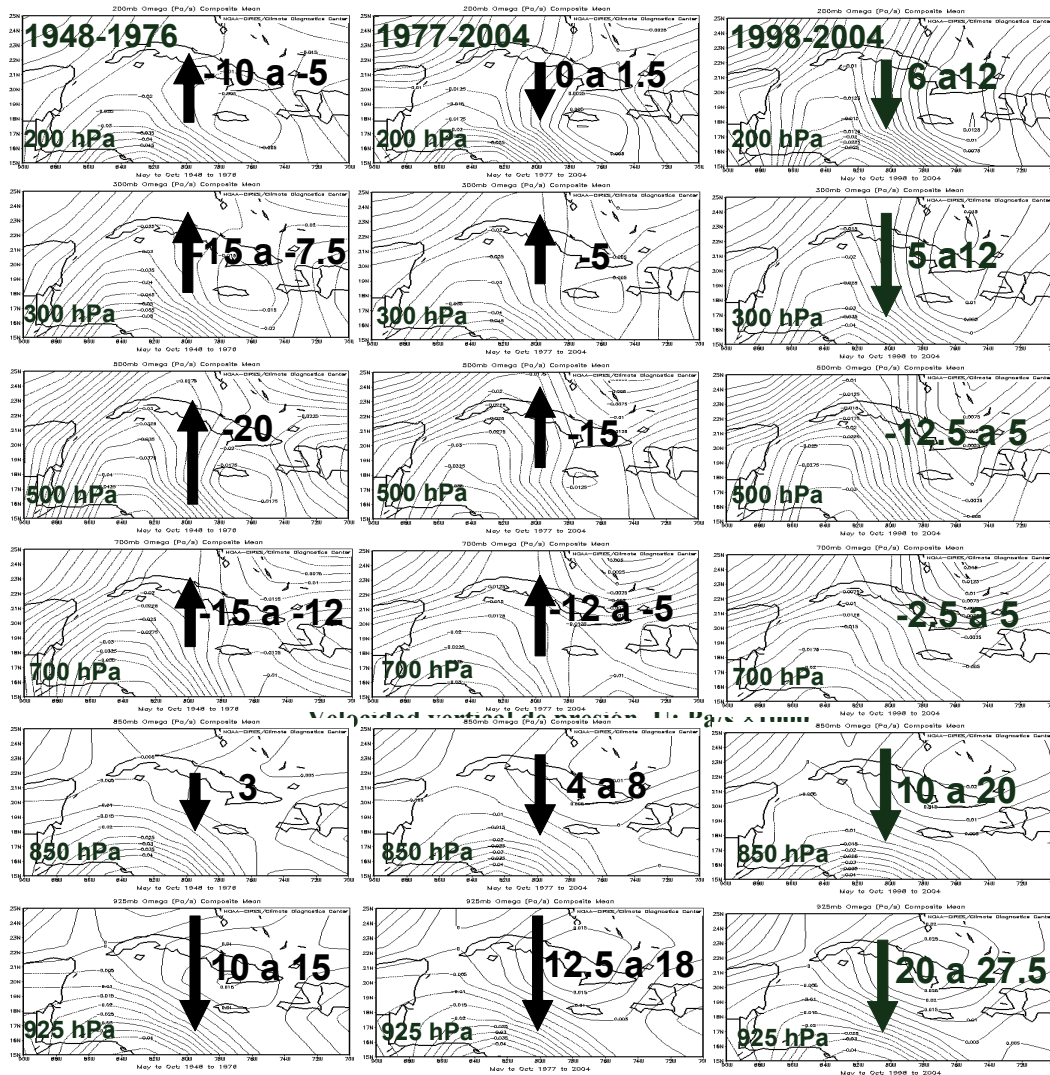


Fig. 3 Omega sobre la región geográfica de Cuba durante los períodos 1948–1976, 1977–2004 y 1998–2004. Superficies de presión de 200, 300, 500, 700, 850 y 925 hPa.

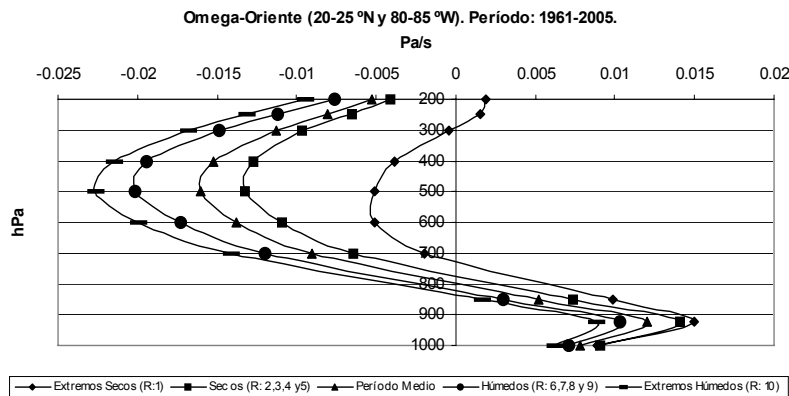


Fig. 4 Perfiles verticales de Omega entre 925 y 200 hPa en diferentes condiciones medias relativas a las lluvias durante el período lluvioso.

Los perfiles de cada una de estas condiciones, pueden ser representados mediante ecuaciones específicas:

Extremos Secos Medios

$$y = -0.027939771 + 0.00032532016X - 1.1153376e^{-006}X^2 + 1.4160991e^{-009}X^3 - 5.721018e^{-013}X^4$$

$$R = 0.99711350 \quad S = 0.00083958$$

Secos Medios

$$y = -0.0087219536 + 9.6400122e^{-005}X - 5.2648229e^{-007}X^2 + 8.17857e^{-010}X^3 - 3.5033344e^{-013}X^4$$

$$R = 0.99920430 \quad S = 0.00063412$$

Medias

$$y = -0.010356031 + 0.00011183504X - 6.2076325e^{-007}X^2 + 9.653146e^{-010}X^3 - 4.2037162e^{-013}X^4$$

$$R = 0.99939977 \quad S = 0.00055602$$

Húmedos Medios

$$y = -0.002142397 + 2.2329412e^{-005}X - 4.1848853e^{-007}X^2 + 7.7788152e^{-010}X^3 - 3.5477294e^{-013}X^4$$

$$R = 0.99953989 \quad S = 0.00053805$$

Extremos Húmedos Medios

$$y = -0.015014751 + 0.00014159127X - 8.0947449e^{-007}X^2 + 1.2890058e^{-009}X^3 - 5.8566543e^{-013}X^4$$

$$R = 0.99972280 \quad S = 0.00041645$$

Tendencias y puntos de cambio de las series Omega en el período lluvioso

La visión conjunta de la evolución de Omega desde 1948 al 2004 evaluada para los períodos estacionales lluvioso y poco lluvioso, confirma el progresivo decremento de los valores negativos e incremento de los positivos, hasta llegar al crítico período de 1998 al 2004 donde las magnitudes alcanzan niveles altamente significativos (Fig. 5).

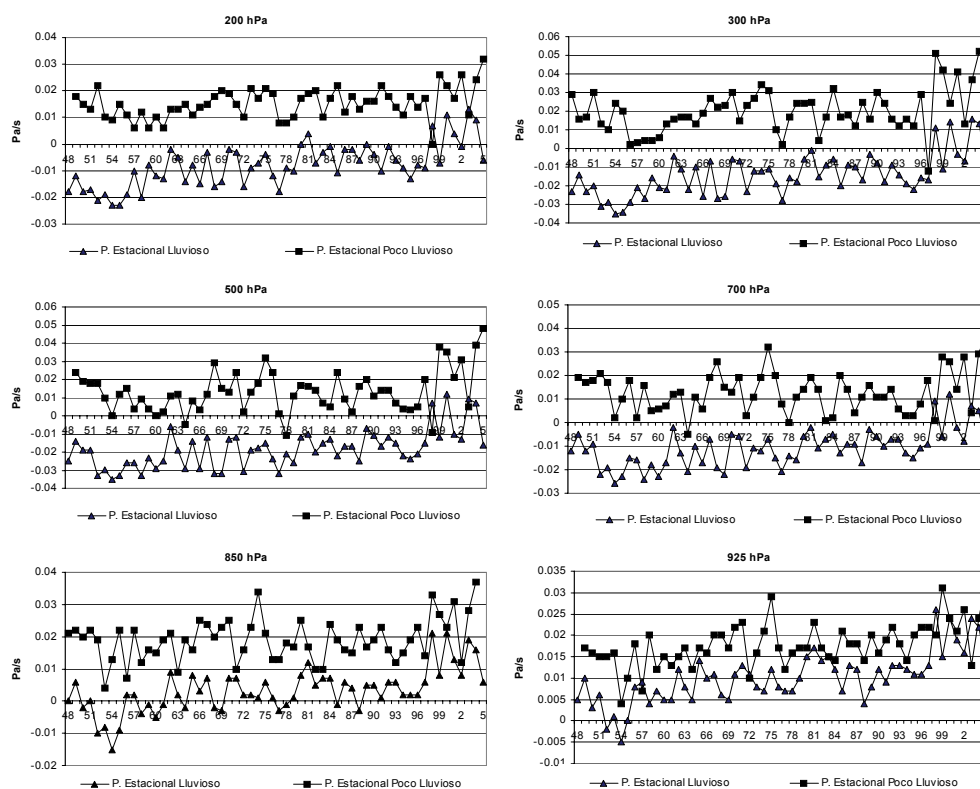


Fig. 5 Tendencias de las magnitudes de Omega en los períodos estacionales lluvioso y poco lluvioso de los años 1948 al 2005 en la tropósfera alta, media y baja sobre la mitad oriental de Cuba (20–25°N y 75–80°W).

Tabla 1 I: Estadígrafo de Spearman, II: Nivel de significación calculado para el estadígrafo de Spearman, III: Valor del estadígrafo de Mann Kendall, IV: Nivel de significación calculado para el estadígrafo de Mann Kendall, V: Número de cortes entre las series directa y retrógrada del estadígrafo de Mann Kendall, VI: Valor de la abscisa correspondiente al corte entre las series directa y retrógrada del estadígrafo de Mann Kendall (en caso de ser uno), VII: Valor extremo del estadígrafo de Pettit, VIII: Nivel de significación calculado para el estadígrafo de Pettit, y IX: Valor de la abscisa correspondiente al valor extremo del estadígrafo de Pettit.

Niveles	Spearman		Kendall - Mann			Pettit			
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
200	5.178247	0.0000	5.396938	0.0000	3		-592.0	0.0000	1979
300	4.519916	0.0000	4.619063	0.0000	3		-509.0	0.0003	1979
500	4.328080	0.0000	4.467618	0.0000	1	1987	-523.0	0.0002	1979
700	4.118176	0.0000	4.247335	0.0000	3		-523.0	0.0002	1979
850	4.390530	0.0000	4.474502	0.0000	5		-492.0	0.0004	1979
925	5.435686	0.0000	5.851272	0.0000	1	1978	-607.0	0.0000	1979

Los test estadísticos confirman una tendencia creciente altamente significativa en las series de Omega en 925, 850, 700, 500, 300 y 200 hPa. El estadígrafo de Pettit señala un punto de ruptura en el año 1979 en todos los niveles, siendo altamente significativo en 925 hPa (Tabla 1). Estos puntos de cambio, si bien pudieran estar asociados a modificaciones en los sistemas observacionales (Kistler *et al.*, 2001), las tendencias evaluadas por períodos independientes (1958–1978, 1979–2005, 1991–2005 y 1998–2005) confirman la existencia real de los progresivos cambios encontrados.

En resumen, durante el período de estudio se ha producido una modificación sostenida de las características de la circulación atmosférica sobre Cuba, que puede ser advertida a través de los cambios en la morfología y alturas geopotenciales de las superficies de presión sobre el área, así como en las magnitudes de los movimientos verticales medios que les están asociados. Tales cambios, muy acrecentados desde finales de los años 90 del pasado siglo hasta el presente, han estado generando condiciones meteorológicas desfavorables para el desarrollo de las lluvias y con ello el establecimiento de la sequía, principalmente en la región oriental del país.

Las tendencias observadas, probablemente relacionadas con variaciones decadales, propias del sistema climático, también son consistentes con las proyecciones de cambio climático regionales más plausibles, los cuales aunque presentan determinados niveles de incertidumbre, proyectan la expansión de los procesos de aridez y sequía, particularmente en su mitad oriental.

REFERENCIAS

- Centella, A., Naranjo, L. & Paz, L. R. (1997) *Variaciones y cambios del clima en Cuba*. Centro Nacional del Clima, Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba.
- Pike, D. (1993) Una revisión del análisis isentrópico con aplicación al PCGRIDS. Western Region Technical Attachment no. 93-14, de mayo 18, 1993.
- Fonseca, C. (2001) Cambios en la posición e intensidad del Anticiclón del Atlántico y modificación del régimen de las lluvias en la región del Caribe. Tesis en opción al título de Master en Ciencias Meteorológicas, Cuba.
- IPCC (2001) Cambio climático: La base científica. Resúmenes del Grupo de Trabajo I.
- Kistler, R., Kalnay, E., Collins, W., Saha, S., White, G., Woolen, J., Chelliah, M., Ebisuzaki, W., Kanamitsu, M., Kousky, V., Dool, H., Jenne, R. & Fiorino, M. (2001) The NCEP-NCAR 50-year reanalysis: monthly jeans CD-ROM and documentation. *Bull. Am. Met. Soc.* **82**, 247–268.
- Lapinel, B., Centella, A., Fonseca, C., Cutié, V., Rodríguez, C., Pérez, A., Boquet, A., Portelles, R. & Téllez, M. (2006) Sequía, aridez y desertificación en la mitad oriental de Cuba. Un estudio de caso. In: *Proceeding of the International Scientific Conference on Desertification and Drylands Research Commemorating 50 Years of Drylands Research*
- Mellado, E & Borrajo, I. (1997) Software Winstat (Programa para el cálculo de índices de tendencia en series temporales, versión 2.0-beta). Instituto de Meteorología, La Habana (comunicación personal).
- Naranjo, L. & Centella, A. (1999) Mecanismos de Circulación de la Atmósfera en la América Tropical. Informe científico. Centro del Clima INSMET, Cuba.
- Sneyers, R. (1990) On the statistical analysis of series of observations. Technical Note no.143, WMO no.145. Geneva, Switzerland.