



Circulación atmosférica y días con lluvia durante eventos significativos de sequía en el occidente de Cuba

Atmospheric circulation and rainy days during significant drought events in western Cuba

Iongel Durán Llacer[✉]

Facultad de Ciencias Ambientales (FCA) y centro EULA, Universidad de Concepción, Chile

Resumen

Las tendencias climáticas observadas en Meso América y el Caribe en las últimas décadas, asociadas al incremento de la variabilidad climática y el cambio climático muestran el aumento de la frecuencia e intensidad de la sequía, por lo que su eficaz conocimiento, resulta esencial para la reducción de los riesgos que le están asociados. En Cuba existe un estrecho vínculo entre el desarrollo de significativos eventos de sequía y el establecimiento de una persistente influencia de fuertes sistemas anticiclónicos sobre el área, desfavorables para el desarrollo de las lluvias. El estudio de este fenómeno multicausal resulta un empeño bien importante, como lo constituye el déficit de días con lluvia en períodos secos y su relación con las condiciones atmosféricas vinculadas a la sequía. Se examinó para la región, el comportamiento de las superficies geopotenciales en diferentes niveles troposféricos, las magnitudes de los movimientos verticales representados por la variable Omega, las gradaciones de la radiación de onda larga (OLR), la superficie de humedad relativa y la presencia de la vaguada de niveles medios en el mes de junio, asociados a los días con lluvia expresados en rango deciles. Los datos proceden del Laboratorio de Investigaciones del Sistema Tierra (ESRL) de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Los resultados confirmaron que el establecimiento de fuertes anomalías positivas en sistemas anticiclónicos dominantes, reveladas por las características de las variables climatológicas estudiadas, limitaron la convección y el contenido de humedad todo lo cual impidió que se produjera una normal presencia de los días con lluvia, resultando estrechamente relacionados con períodos significativos de sequías.

Palabras clave: sequía, geopotenciales, Omega, humedad relativa, vaguada, días con lluvia

[✉] Autor para correspondencia: *Iongel Durán Llacer*. E-mail: iongel.duran@gmail.com; ioduran@udec.cl

Recibido: 27/1/2017

Aceptado: 12/9/2017

Abstract

The climatic trends observed in Mesoamerica and the Caribbean in the last decades, associated to the increase of climatic variability and climate change show the increase of the frequency and intensity of the drought, reason why their effective knowledge is essential for the reduction the risks that are associated. In Cuba there is a close link between the development of significant drought events and the establishment of a persistent influence of strong anticyclonic systems on the area, unfavorable for the development of rains. The study of this multi-causal phenomenon is a very important endeavor, as is the deficit of days with rain in dry periods and their relation with the atmospheric conditions related to the drought. Was examined for the region, the behavior geopotential surfaces in different tropospheric levels, the magnitudes of the vertical movements represented by the Omega variable, gradations of longwave radiation (OLR), the surface of relative humidity and the presence of the medium level trough in the month of June, associated with the days with rain expressed in deciles rank. The data comes from the Earth System Research Laboratory (ESRL) of the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). The results confirmed that the establishment of strong positive anomalies in dominant anticyclonic systems, revealed by the characteristics of the studied climatological variables, limited the convection and the moisture content, which prevented a normal presence of rainy days, resulting closely related to significant periods of drought.

Keywords: drought, geopotential, Omega, relative humidity, trough, days with rain

Introducción

Las tendencias climáticas observadas en Meso América y el Caribe en las últimas décadas, asociadas al incremento de la variabilidad climática y el cambio climático a escala global, muestran el aumento de la frecuencia e intensidad de la sequía, por lo que el acertado conocimiento de sus características de manifestación en espacio y tiempo, resulta esencial para la reducción de los riesgos que le están asociados, incluyendo la posibilidad de proporcionar indicadores básicos que faciliten la detección y alerta temprana de cualquier evento, todo lo que deviene en una tarea de prioridad nacional y regional, en defensa de la población, el medioambiente y la economía de las áreas afectadas ([Cutié et al., 2013](#)).

En Cuba existe un estrecho vínculo entre el desarrollo de significativos eventos de sequía y el establecimiento de una persistente influencia de fuertes sistemas anticiclónicos sobre el área, procesos que en todo caso, no solamente

influyen en la frecuencia y trayectorias de los sistemas organizados productores de lluvia que transitan sobre el país, sino también, en el predominio de condiciones meteorológicas generales, desfavorables para el desarrollo de las lluvias de cualquier otra magnitud ([Lapinel et al., 2006](#)).

El estudio de fenómenos climáticos extremos, como la sequía, que constituye un fenómeno multicausal, resulta un empeño bien importante, así como de los días con lluvia, pues resulta conveniente saber cuánto llueve y con qué magnitud lo hace. La cantidad de días con lluvia de distinta magnitud constituye una temática de gran interés en investigaciones y aplicaciones de carácter climático vinculadas con la agricultura y otras ramas de la economía, incluida su relación con el cambio climático. Las investigaciones a nivel mundial y en Cuba sobre los días con lluvia son muy escasas, muchos de estos trabajos se basan en su comportamiento anual y la referencia es muy pequeña, tal es el caso de [Trusov et al. \(1983\)](#),

[Barcia & Fernández \(2006\)](#) y [Álvarez et al. \(2002\)](#), mientras que, en [Durán \(2016\)](#), se profundiza por primera vez sobre esta variable de carácter anual, mensual y por intervalos, vinculándola además a la sequía. La relación de esta variable con eventos significativos de sequía, resulta un tema muy novedoso y poco investigado, por ende el objetivo de este trabajo es relacionar los déficits de días con lluvia en períodos secos, con procesos atmosféricos asociados a la sequía.

Materiales y Métodos

Términos Meteorológicos de Referencia

La *sequía* es un fenómeno perjudicial y subrepticio que se produce a raíz de niveles de precipitación inferiores a lo esperado o a lo normal y que, cuando se prolonga durante una estación o durante períodos más largos, hace que las precipitaciones sean insuficientes para responder a las demandas de la sociedad y del medio ambiente ([OMM, 2006](#)).

El *geopotencial* de una superficie isobárica en cada punto suyo es el trabajo que debe invertirse al ir superando la gravedad, para elevar la unidad de masa desde el nivel del mar hasta el punto dado. De esta forma, en cualquier punto de la superficie isobárica, en una latitud dada, existe un geopotencial determinado, que es proporcional a la altura de dicho punto sobre el nivel del mar ([Jromov, 1983](#)). Los *mapas de superficies isobáricas* son mapas que representan las condiciones meteorológicas por niveles troposféricos, los cuales sirven de apoyo para el pronóstico del tiempo.

El movimiento vertical de las masas de aire en la troposfera se determina mediante la velocidad vertical de presión (*Omega*), expresado en Pascal por segundo (Pa/s). Sus magnitudes reflejan la influencia de los variados y principales procesos meteorológicos que tienen lugar en los diferentes niveles de la troposfera. Omega positivo indica movimientos

de descenso, lo que representa condiciones que desfavorecen los procesos de la lluvia y Omega negativo, movimientos de ascenso que la favorecen ([Centella, Lapinel & Solano, 2006](#)).

El *WaS* es un índice empírico cuantitativo, que expresa la suma algebraica de las áreas positivas y negativas contenidas en el perfil vertical de Omega, Omega -Área-Sumatoria (WaS), en una capa troposférica determinada, para un mes o período estacional seleccionado. Sus magnitudes son interpretadas como una expresión neta del predominio en la capa atmosférica analizada, de una determinada capacidad para efectuar movimientos verticales ascendentes o descendentes, favorables o no, respectivamente, al proceso de la lluvia y que proporciona de manera sencilla la posibilidad de apreciar dicha capacidad simultáneamente en toda la región estudiada, fundamentalmente cuando ocurren eventos extremos mínimos de la lluvia o sequías ([Lapinel, González & Cutié, 2011](#)).

La *radiación de onda larga (OLR)* es emitida por la Tierra, la atmósfera y las nubes, lo que fundamentalmente por la Tierra, se expresa en W/m^2 , y es también llamada radiación termal o infrarroja. Una vez que la superficie de la Tierra se calienta producto de la radiación solar, se convierte en una fuente de radiación de ondas largas y a pesar de que la atmósfera es casi transparente a la radiación de ondas cortas, fácilmente absorbe la radiación de ondas largas, lo que depende del vapor de agua, Ozono, CO_2 y de las nubes. Las fluctuaciones en la cantidad de radiación emitida por la Tierra que escapa directamente al espacio libre dependen de la cantidad de vapor de agua en la atmósfera, la temperatura del suelo y la nubosidad, y como las nubes absorben radiación en todas las longitudes de onda, la cantidad que escapa al espacio libre será mayor en las regiones poco nubosas ([AEMet, 2016](#)).

La **humedad relativa** es la humedad específica a humedad específica de saturación. La cantidad de vapor de agua comparada con la cantidad necesaria para la saturación a cierta temperatura y presión, según el [MetEd & COMET \(2016\)](#), del Servicio Meteorológico Nacional (National Weather Service) de la NOAA.

La **vaguada troposférica de niveles medios** es un término geomorfológico adoptado en el campo científico de la Meteorología, gracias a la gran semejanza presente entre el trazado de las curvas de nivel en el mapa topográfico y las isobaras en un mapa meteorológico. Constituye una zona inestable donde el aire mucho más húmedo y cálido que en las zonas anticiclónicas vecinas, asciende a lo largo de una zona alargada de bajas presiones. Esta condición existente genera la formación de nubes de gran desarrollo vertical y a las derivadas lluvias (Vila, 1960, citado en [González, 2010](#)). Esta suele presentarse solo a cierta altura, una de las alturas de mayor importancia para su desarrollo y estudio es la de niveles medios, o sea, la de 500 hPa, por lo que recibe el nombre de vaguada troposférica de niveles medios.

Definición del área de estudio

El área de estudio comprende la región occidental de Cuba desde el punto de vista político-administrativo e incluye las actuales provincias de Pinar del Río, Artemisa, Mayabeque, La Habana, Matanzas y el municipio especial Isla de la Juventud ([Figura 1](#)).

Se encuentra aproximadamente ubicada entre los 21° 30' y 23° 10' de latitud Norte y los 80° 30' y 84° 55' de longitud Oeste. Esta región presenta una extensión superficial de 29 160 km², su límite Norte lo constituye el estrecho de La Florida, el Este las provincias de Villa Clara y Cienfuegos, al Sur limita con el mar Caribe, y al Oeste con el estrecho de Yucatán. Su clima es tropical estacionalmente húmedo en el verano ([Acevedo, 1983](#)).

Fueron empleadas 20 estaciones meteorológicas del Instituto de Meteorología (INSMET), distribuidas en toda la región occidental, para recopilar datos de días con lluvia de alta calidad, desde 1981-2010, proporcionados por el Centro Nacional del Clima (CENCLIM). Para el estudio se escogió

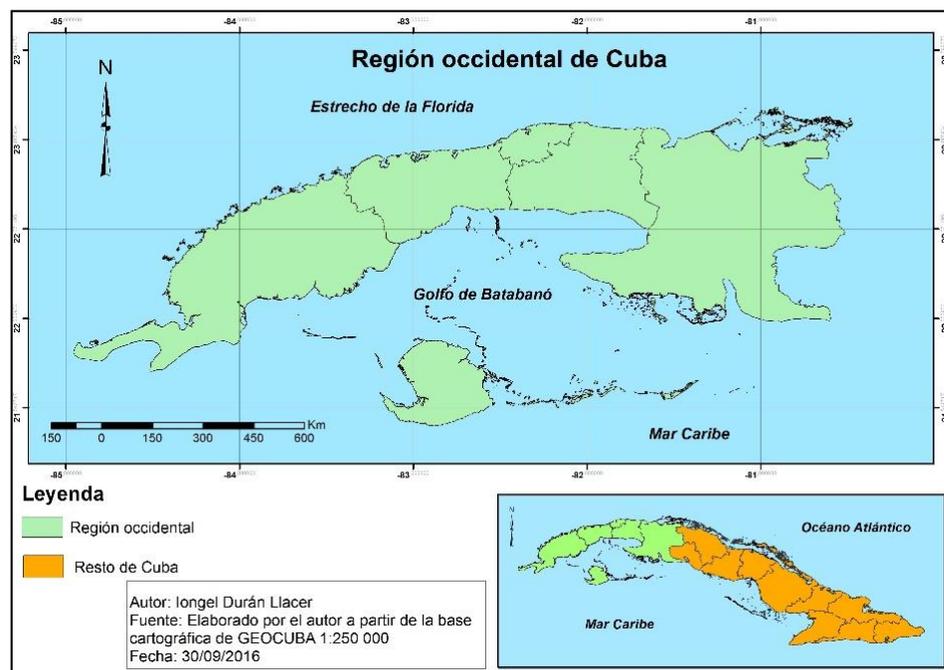


Figura 1. Ubicación geográfica de la región occidental de Cuba

el período lluvioso (mayo-octubre) porque en esta temporada ocurren los mayores acumulados anuales de las lluvias en Cuba y resulta más importante en su variabilidad espacial y temporal.

Se calcularon los promedios en la hoja de cálculo Excel de los días con lluvia total y por cinco intervalos. En una investigación reciente realizada por [Durán \(2016\)](#), se determinaron cuatro casos de estudio o períodos significativos de sequía, que fueron los períodos lluviosos de 1987, 2004, 2006 y 2009 y, sus meses más secos. Estos fueron escogidos, identificando los períodos más críticos por estación meteorológica y de afectación simultánea entre todas las estaciones, bajo el criterio días con lluvia menor igual del Decil 2 ($DcL1 \leq \text{Decil } 2$), y los meses también bajo este mismo criterio, utilizando la escala ajustada de [Gibbs & Maher \(1967\)](#). En la [tabla 1](#) se muestra este resultado. A partir de aquí para comprender y conocer mejor las causas de los déficits de días con lluvia, se examinaron determinadas variables climatológicas que resultan de interés durante la ocurrencia de eventos de sequías. Entre las variables seleccionadas estuvieron los mapas de superficies geopotenciales en

diferentes niveles troposféricos, Omega, el índice WaS, la radiación de onda larga (OLR) y la superficie de humedad relativa en los 1000 mb.

Los mapas de geopotenciales con los valores medios y las anomalías en los niveles troposféricos de 925, 825, 700, 500, 300 y 200 hPa fueron confeccionados para un área que comprende desde los 10° N-35° N y 55° W-110° W, así como los mapas de la superficie de los 1000 mb de la humedad relativa, tomados del sitio web del Laboratorio de Investigaciones del Sistema Tierra (ESRL) de la National Oceanic and Atmospheric Administration ([NOAA, 2013](#)). Las magnitudes medias de WaS para estos períodos, así como para la norma 1981-2010, se obtuvieron a partir de los valores calculados para las retículas 35, 36, 50 y 51 que comprenden la región occidental, en los trabajos de [Lapinel et al. \(2011\)](#), los cuales fueron graficados en Excel.

Los datos de Omega, OLR y humedad relativa también proceden de este sitio web de la NOAA, pero de la sección *timeseries*, que comprenden un área entre los 20°N-25°N y 75°W-80°W. De los valores de Omega se

Tabla 1. Rangos deciles de los días con lluvia en los meses más deficitarios de cada caso de estudio por intervalos

Períodos lluviosos	Meses	Intervalos (mm)				
		0.1 a 10	10 a 20	20 a 50	50 a 100	≥ 100
1987	Julio	3	3	1	6	6
1987	Agosto	1	5	3	1	5
2004	Mayo	2	1	1	3	4
2004	Junio	4	4	1	3	1
2004	Septiembre	1	2	1	4	9
2006	Mayo	1	2	3	8	1
2006	Septiembre	1	4	6	2	1
2009	Julio	2	1	3	1	1
2009	Septiembre	4	2	2	6	1
2009	Octubre	2	2	3	1	1

obtuvieron gráficos, comparando los perfiles medios históricos para el período lluvioso y meses respectivos, con los perfiles correspondientes afectados. Estos perfiles se basaron en los valores de Omega en las superficies de presión de 1000, 925, 850, 700, 600, 500, 400, 300, 250 y 200 hPa. El análisis de OLR permitió contrastar los valores de la misma en los períodos lluviosos afectados con su norma y presentar los resultados de forma gráfica. También se calcularon las distribuciones percentílicas requeridas y se determinaron los rangos deciles de los períodos lluviosos y meses comprendidos en los casos de estudio para establecer su relación con el déficit de días con lluvia. Además, se graficaron los valores de humedad relativa comparando los valores con sus respectivas normas. Por último, se comparó la presencia de la vaguada troposférica de niveles medios en el mes de junio (30 años) teniendo en cuenta los días con lluvia medios expresados en rango deciles, según el Grupo I definido por [González \(2010\)](#), que ubica esta vaguada al Oeste de la región occidental.

Resultados y Discusión

La cantidad de días con lluvia y su distribución por intervalos indica con claridad el carácter de la lluvia en la localidad; no basta saber cuánto llueve, sino también cómo llueve. Se determinó que el promedio de días con lluvia para el período lluvioso en 30 años es de 84

días, lo que representa un 46% de 184 días evaluados. La mayor cantidad de días con lluvia se registran en el primer intervalo de 0.1mm a 10 mm con 54 días, lo que representa un 64%. Es vital resaltar que en los próximos intervalos de 10 mm a 20 mm y de 20 mm a 50 mm, se presenta la misma cantidad de 13 días y que hasta los 20 mm se registran un 79.5% del total de días con lluvia. A partir de los 50 mm solo se presentan cuatro días y de esos el promedio para los valores superiores a los 100 mm es de un día con lluvia (4% y 1%, respectivamente), evidenciándose que de 0.1 mm hasta los 50 mm ocurren más del 95% de los días con lluvia, lo cual permite señalar que a partir de ese valor estas lluvias pueden considerarse en el rango de extremas ([Tabla 2](#)).

Características climatológicas de la troposfera en los casos de estudio

Las sequías constituyen una adversidad climática recurrente en vastas regiones y su duración e intensidad son causas de importantes pérdidas económicas y interrupciones en las actividades de las comunidades rurales y urbanas. Se considera factible, que en un futuro cercano las sequías se intensifiquen a raíz de los cambios climáticos experimentados en los últimos años (Ravelo *et al.*, (2016). En este trabajo se tuvo en cuenta los períodos lluviosos considerados como deficitarios y sus meses más críticos y, para comprender mejor las causas de los déficit de días con lluvia se analizaron las

Tabla 2. Promedio de días con lluvia total y por intervalos en el período lluvioso

Período lluvioso (184 días)	Días con lluvia	%
	84	46
Intervalos (mm)		
0.1 a 10	54	64
10 a 20	13	15.5
20 a 50	13	15.5
50 a 100	3	4
≥ 100	1	1

características de las alturas geopotenciales en diferentes superficies de presión, los perfiles verticales de la velocidad vertical de presión (Omega), incluyendo el índice WaS (suma del área bajo la curva), las magnitudes de radiación de onda larga (OLR) y la humedad relativa, variables todas con sensibilidad frente a situaciones meteorológicas específicas.

Geopotenciales

Al analizar los mapas correspondientes de los campos de geopotenciales relacionados con los períodos mayo-octubre y meses respectivos de mayores afectaciones en la región, se observa predominantemente la influencia de acentuados procesos anticiclónicos, principalmente los ubicados al Norte de las Antillas Mayores, sobre las Bahamas, en los niveles bajos y medios y el anticiclón mexicano en los niveles altos de la troposfera. Se observa un incremento de las anomalías positivas en las superficies geopotenciales sobre la región de manera general en todos los casos estudiados. La marcada influencia anticiclónica favorece el descenso de masa de aire desde los niveles troposféricos superiores a los inferiores, proceso que como se conoce, dificulta al desarrollo de la lluvia ([Figura 2](#)). Este análisis lo han desarrollado otros autores como [Centella et al. \(2006\)](#) y [Lapinel et al. \(2006\)](#), para evaluar las condiciones atmosféricas en períodos de sequías, resultando muy factible pero nunca considerando estos períodos por los déficits de días con lluvia.

Omega

Se evaluaron los perfiles verticales de omega sobre la región occidental de Cuba, entre 1000 y 200 h Pa, para los cuatro períodos lluviosos y 10 meses afectados, utilizando las experiencias de [Centella et al. \(2006\)](#), [Lapinel et al. \(2006\)](#) y [Cutié et al. \(2013\)](#), comprobándose que en la mayoría de los casos las magnitudes de Omega

negativas, fueron menos negativas y las positivas más positivas que sus valores normales. Estos cambios propician una inhibición de los movimientos convectivos ascendentes indispensables para el proceso de las lluvias y limitan o modifican las características de influencia de los sistemas organizados productores de las mismas (ondas, hondonadas, frentes, ciclones, etc.) y en consecuencia contribuyen sustancialmente al incremento de los procesos de sequía, tal y como se ha estado observando sobre esta región. Estos resultados demuestran la existencia de condiciones desfavorables para la lluvia que influyeron en los déficits observados en la cantidad promedio de días con lluvia, como se evidencia en los meses de mayo y junio, 2004 y julio, 2009 ([Figura 3](#)).

Índice WaS

El empleo de este índice permitió corroborar que todos estos períodos estacionales reflejaron valores menos negativos e incluso positivos, respecto a la norma. El 2009 fue el que invirtió su comportamiento y experimentó valores más positivos, lo que evidencia claramente la fuerte influencia de los movimientos verticales descendentes, que desfavorecen al proceso de la lluvia, lo que se corresponde plenamente con los déficits de días con lluvia encontrados y con las condiciones anticiclónicas reflejadas en los campos geopotenciales ([Figura 4](#)). El WaS es sin duda un índice muy eficiente en temas relacionados con las causas del fenómeno de la sequía y muy utilizado operacionalmente por el Sistema de Vigilancia de la Sequía Meteorológica en el CENCLIM por [Lapinel et al. \(2011\)](#) y [Cutié et al. \(2013\)](#). También revela la capacidad de este índice en integrar y reflejar mediante un solo valor resultante los variados procesos ocurridos en la estructura vertical de la variable omega.

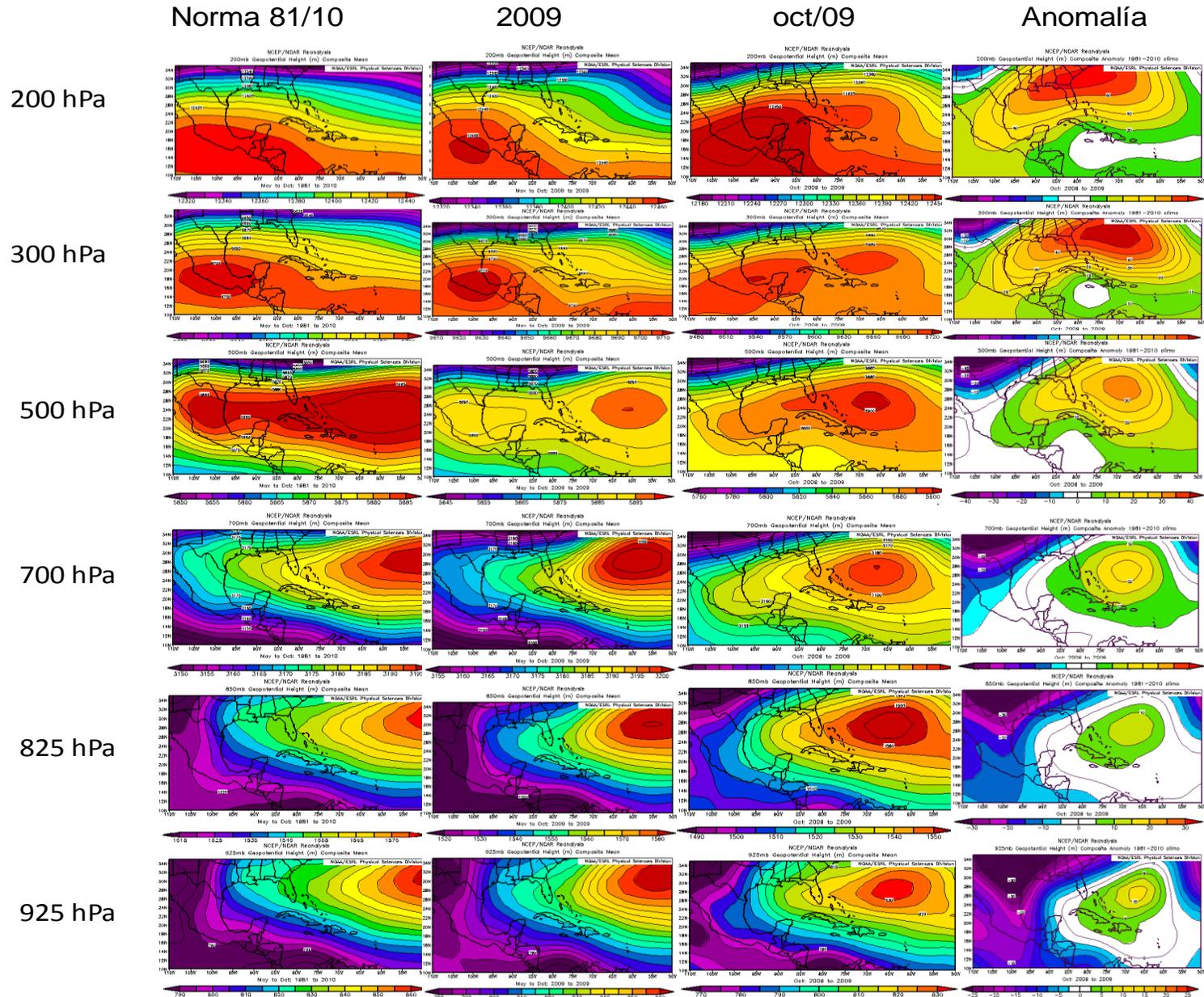


Figura 2. Mapas medios mensuales de las alturas geopotenciales en diferentes superficies de presión en el período mayo-octubre del 2009, el mes de octubre y sus respectivas anomalías

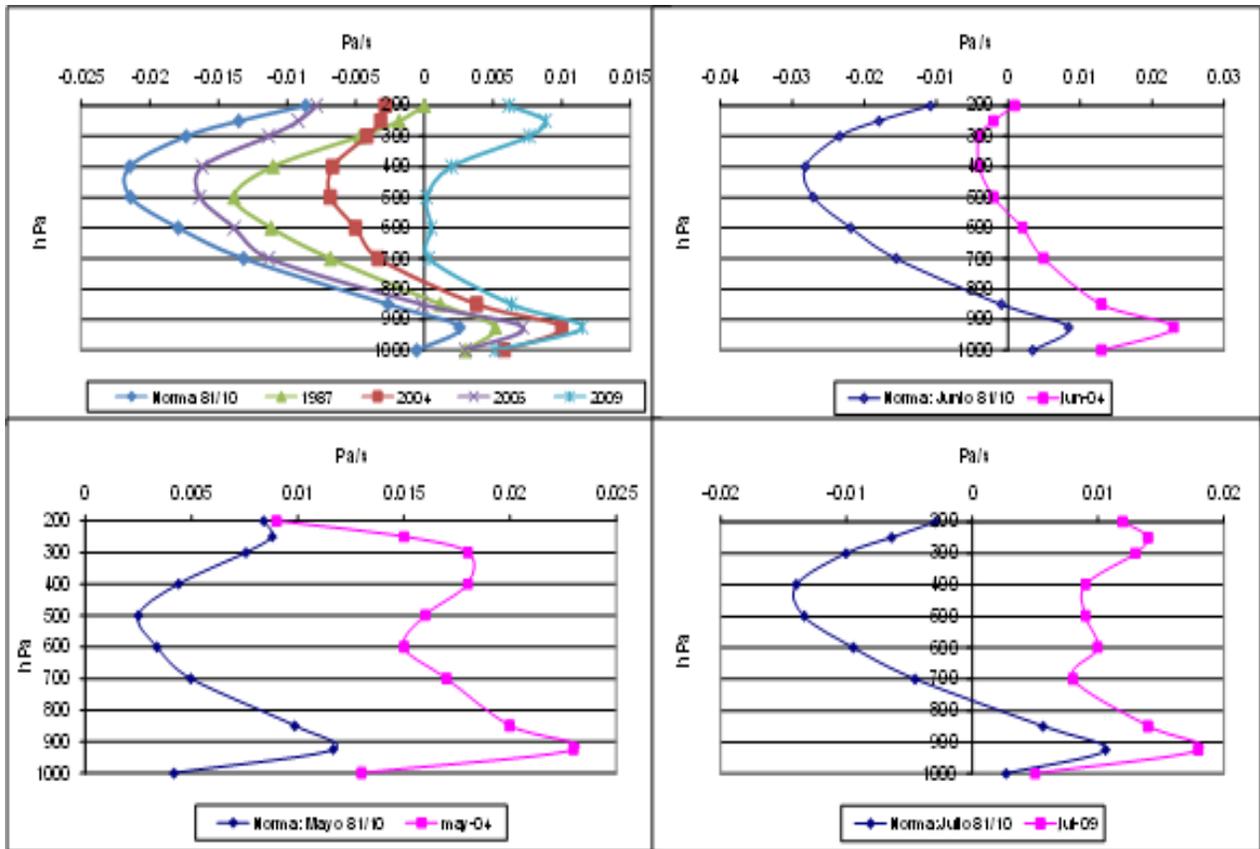


Figura 3. Perfil vertical de Omega en los períodos mayo-octubre de 1987, 2004, 2006 y 2009, julio del 2009, junio del 2004, mayo del 2004 y julio del 2009

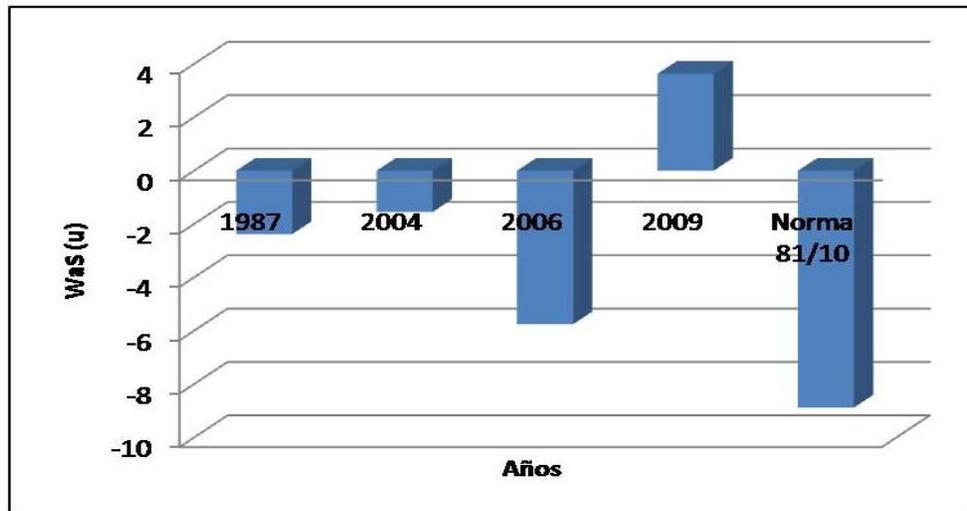


Figura 4. Características de WaS en los períodos mayo-octubre de 1987, 2004, 2006 y 2009

Radiación de onda larga (OLR)

Al conocer que la radiación de onda larga (OLR) o radiación de salida, se asocia a la

ausencia de nubes y ésta a ausencia de lluvias, se evaluó el comportamiento de los valores de OLR en cada período y mes deficitario para buscar una posible relación con el

comportamiento de los días con lluvia, nexo ya encontrado en los análisis efectuados anteriormente. El análisis reflejó que los valores de radiación de onda larga fueron superiores y muy superiores a la norma empleada en cada período y mes de estudio. En el período de 2009 se registró el valor más alto como en el mes de julio de ese mismo año. Ya en 1987 el mes más alto lo presentó agosto, mientras que los menores valores fueron en el 2006. Se observa claramente altos valores de OLR, resultado que evidencia condiciones desfavorables para la lluvia y su estrecha relación con los déficits de días con lluvia (Figura 5).

En la tabla 3 se encuentran los valores de los deciles correspondientes a los valores de OLR. Los mismos muestran valores altos en sus distribuciones percentílicas correspondientes (períodos mayo-octubre y meses estudiados), lo que contribuye a corroborar la relación de este índice con la lluvia y que los valores altos de esta radiación se asocian a pocos días con

lluvia. En otros estudios se han empleado las magnitudes de la radiación de onda larga para analizar las características troposféricas en períodos de sequía significativos, como en Cutié *et al.* (2013), pero nunca se utilizó el método de los deciles para relacionar los valores de OLR con los déficits de las lluvias y los días con lluvia.

Humedad relativa

Al analizar los mapas de la superficie 1000 mb de la humedad relativa se observa los bajos valores de esta variable en los meses de los casos de estudio, afirmando que los días con lluvia resultaron deficitarios, evidenciándose en el escaso contenido de humedad (Figura 6 a, b). También se comprobó que sus valores fueron inferiores y muy inferiores a la norma, como en los períodos 2006 y 2009 (Figura 6 c, d). Es importante resaltar que todos estos períodos lluviosos deficitarios en la cantidad de días con lluvia coincidieron ser secos según otros estudios realizados por el CENCLIM.

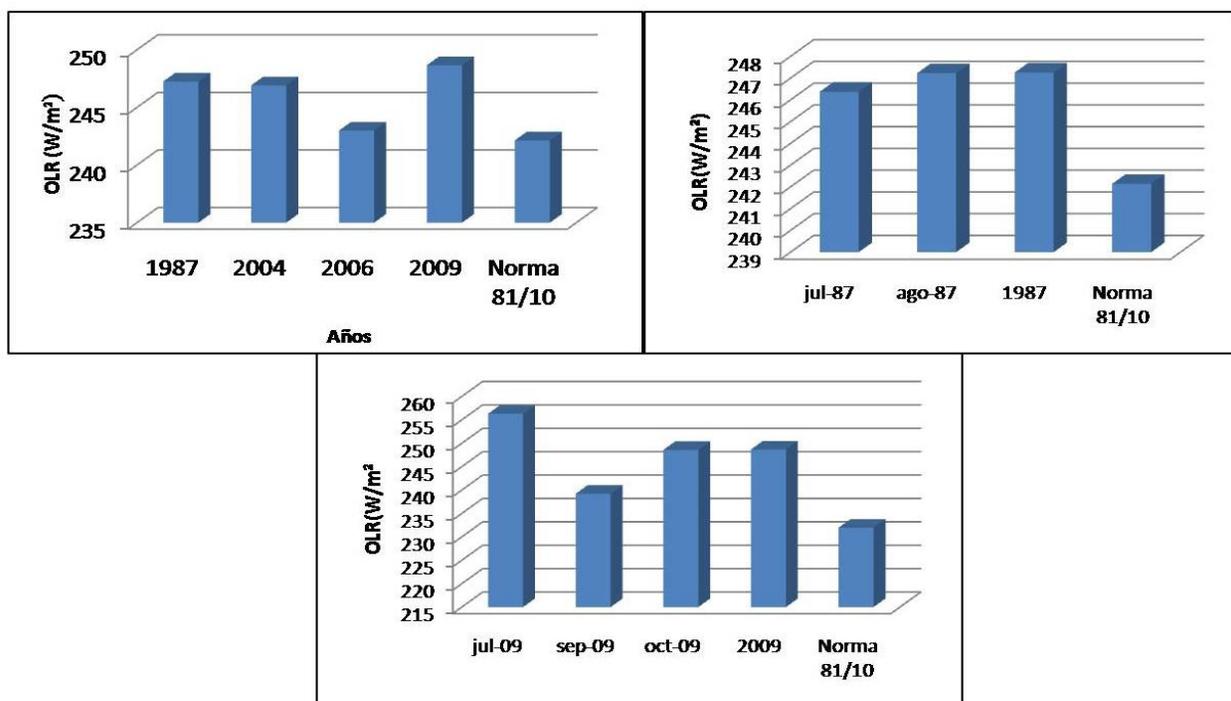


Figura 5. Características de OLR en los períodos mayo-octubre de 1987, 2004, 2006 y 2009, período 1987 y 2009 y meses afectados

Tabla 3. Distribución percentílica en rangos deciles de las magnitudes de OLR en los casos de estudio

Períodos lluviosos	Deciles (OLR)	Meses	Deciles (OLR)
1987	9	Julio	7
		Agosto	9
		Mayo	4
2004	9	Junio	8
		Septiembre	7
		Mayo	6
2006	6	Septiembre	9
		Julio	10
2009	10	Septiembre	8
		Octubre	7

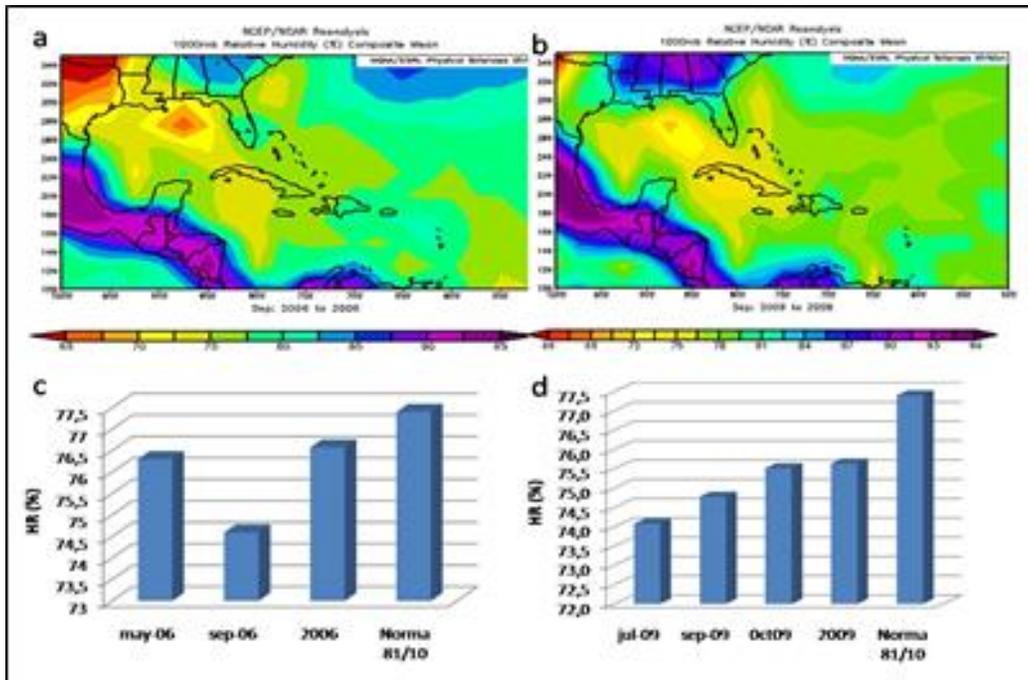


Figura 6. Mapas de superficies isobáricas en 1000 mb de humedad relativa del mes de septiembre del 2006 (a) y 2009 (b). Características de humedad relativa de los períodos mayo-octubre 2006 (c) y 2009 (d) con meses más afectados

La vaguada de niveles medios en el mes de junio y la cantidad promedio de días con lluvia

Dada la importancia que tiene la vaguada de niveles medios en la primera fase del período lluvioso relacionado al comportamiento de la

lluvia sobre la región occidental de Cuba y especialmente en el mes de junio, se realizó un estudio de los días con lluvia ocurridos en este mes asociándolo a la presencia o no de este proceso atmosférico. Según el Grupo I definido por [González \(2010\)](#), que ubica a la vaguada al

Oeste de la región occidental, los acumulados de la lluvia fueron abundantes debido a una mayor influencia de la misma y con ello el incremento en la actividad de lluvias. Contrariamente los casos en que hubo una menor influencia de la vaguada sobre dicha región la lluvia estuvo por lo general como deficitaria en correspondencia a una menor cantidad de los días con lluvia.

De los 30 meses de junio estudiados, 18 no reflejaron la vaguada Grupo I en la escala del mes. De ellos, 12 casos (2/3 partes), mostraron una cantidad de días con lluvia inferiores o iguales al Decil 5 de la distribución percentilica correspondiente a los días con lluvia del mes de junio en el período de análisis, y de los seis restantes, en cuatro ocasiones (1981, 1986, 1991 y 2003) la cantidad de días con lluvia por encima del Decil 5 se justifica claramente por procesos ocurridos en la tercera decena del mes, ya sea vinculados a la propia vaguada

influyendo en algunos días de la misma o a situaciones ciclónicas tales como el huracán Bonnie (1986) y la tormenta tropical Ana (1991). Los otros dos casos (2008 y 2009) fueron influidos también por procesos atmosféricos como ondas u hondonadas que originaron lluvias abundantes. Estos elementos están contenidos en los Boletines de la Vigilancia del Clima del [CENCLIM \(2008, 2009\)](#), relacionados con las fechas referidas. Se destaca el déficit de días con lluvia en junio del 2004 (mes y período comprendido en uno de los casos de estudio), asociado a la ausencia de la vaguada y que alcanza solamente el Decil 2 ([Tabla 4](#)). En los estudios realizados por [Cutié et al. \(2013\)](#), se relaciona la vaguada con el comportamiento de omega y los geopotenciales, asociados a la lluvia, pero este nexo con la disminución de los días con lluvia resulta un tema novedoso.

Tabla 4. Ausencia de la vaguada en el mes de junio y rango deciles del promedio de días con lluvia

Años (vaguada ausente)	DcLl (rango decil)	> decil 5
1981	7	x
1982	4	
1984	2	
1985	1	
1986	8	x
1987	5	
1989	3	
1990	1	
1991	9	x
1993	3	
1994	3	
1998	1	
2000	5	
2001	1	
2003	10	x
2004	2	
2008	7	x
2009	7	x

Conclusiones

La cantidad de días con lluvia resultó ser una variable estrechamente relacionada con períodos significativos de sequía, demostrándose a través del comportamiento de todas las variables atmosféricas empleadas en esta investigación, muy sensibles frente a situaciones meteorológicas desfavorables para los procesos convectivos. Se observó una marcada influencia anticiclónica desde los niveles troposféricos superiores a los inferiores en los campos de geopotenciales seleccionados, principalmente los ubicados al Norte de las Antillas Mayores, sobre las Bahamas, en los niveles bajos y medios y el anticiclón mexicano en los niveles altos de la troposfera. En general, en todas las temporadas mayo-octubre y meses estudiados, las magnitudes de Omega negativas, fueron menos negativas y las positivas más positivas que sus valores normales, igualmente el índice WaS reflejó este comportamiento, lo que demuestra claramente la fuerte influencia de los movimientos verticales descendentes y el déficit de días con lluvia. Los valores de radiación de onda larga fueron superiores y muy superiores a la norma en y sus distribuciones percentílicas fueron muy altas, lo que relaciona claramente la OLR con el comportamiento de los días con lluvia. Los mapas de la superficie isobárica de 1000 mb y los valores de humedad relativa evidenciaron poca humedad, evidenciando su nexos con condiciones desfavorables para la lluvia y con el déficit de días con lluvia. Por último, se logró asociar la ausencia de la vaguada de niveles medios en la región con el déficit de lluvia y de días con lluvia en el mes de junio, lo que resultó muy favorable, pues las 2/3 partes de los 18 meses estudiados mostraron una cantidad de días con lluvia inferiores o iguales al Decil 5.

Referencias

- ACEVEDO, M. (1983). *Geografía Física de Cuba*, 2 tomos. Editorial Pueblo y Educación, La Habana, Cuba, 383 pp.
- AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA (AEMet). (2016). *Interpretación: Radiación Solar, Índice Ultravioleta y Capa de Ozono*, España. Disponible en: www.aemet.es. Consultado el 20 de diciembre, 2016.
- ÁLVAREZ, L., ÁLVAREZ, R. Y BORRAJERO, I. (2002). *Caracterización de las precipitaciones en la estación meteorológica de Camagüey y su tendencia*. Centro de Física de la Atmósfera. Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba, 14 pp.
- BARCIA, S. Y FERNÁNDEZ, A.J. (2006). *Tendencia de los patrones de circulación y su influencia en las precipitaciones en Cienfuegos en el bimestre mayo-junio*. Centro Meteorológico Provincial de Cienfuegos, Cienfuegos, Cuba, 17 pp.
- CENTELLA, A., LAPINEL, B. Y SOLANO, O. (2006). *La sequía meteorológica y agrícola en la República de Cuba y la República Dominicana*, La Habana, Cuba, 174 pp.
- CENTRO NACIONAL DEL CLIMA. (CENCLIM). (2008). *Boletín de la vigilancia del clima*. Instituto de Meteorología, Cuba, v. 20, n.6, 8 pp.
- CENTRO NACIONAL DEL CLIMA. (CENCLIM) (2009). *Boletín de la vigilancia del clima*. Instituto de Meteorología, v. 21, n.6, 10 pp.
- CUTIÉ, V. et al., (2013). *La sequía en Cuba, un texto de referencia*. Monografía, Proyecto 1/OP-15/GEF. Instituto de Meteorología. 358 p.
- DURÁN, I. (2016). *Cantidad de días con lluvia y su distribución por intervalos en condiciones normales y de sequía severa en el occidente de Cuba*, Revista Cubana de Meteorología, Cuba, v. 22, n.1, pp. 51-65.

- GIBBS, W. & MAHER, J. (1967). *Rainfall deciles as drought indicators*, Bureau of Meteorology Bulletin, Commonwealth of Australia, Melbourne, 48 pp.
- GONZÁLEZ, N. D. (2010). *La vaguada de niveles medios y su conexión con la lluvia en la región occidental de Cuba*. Trabajo de diploma, Facultad de Geografía, Universidad de la Habana, 76 pp.
- JROMOV, S.P. (1983). *Meteorología y Climatología*. Traducido del ruso. Vneshtorgizdat, Moscú, URSS, 536 pp.
- LAPINEL, B & PLANOS, E. (2002). *Visión de la sequía en Mesoamérica y el Caribe: Diagnóstico, impactos y mitigación*, Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba. Disponible en: www.met.inf.cu/sequia/contribuciones/feria1.htm. Consultado el 10 de septiembre, 2016.
- LAPINEL, B., CENTELLA, A., GONZÁLEZ, I., FONSECA, C. & CUTIÉ, V. (2006). *Causas de la reciente sequía acaecida en la región oriental de Cuba*. Climate Variability and Change-Hydrological Impacts (Proceedings of the Fifth FRIEND World Conference held at Havana, IAH, 308, pp. 304-309.
- LAPINEL, B., GONZÁLEZ, I. & CUTIÉ, V. (2011). *Extremos de precipitaciones mensuales en Mesoamérica y el Caribe: causas y balance hídrico climático*. Monografía. Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba, 300 pp.
- METEOROLOGY EDUCATION AND TRAINING (MetEd) y THE COMET® PROGRAM. (2016). *Introducción a la Meteorología Tropical. Capítulo 5: Distribución de la humedad y precipitación*. Disponible en: <https://www.meted.ucar.edu>. Consultado el 25 de octubre, 2016.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). (2013). *Heath System Research Laboratory: Monthly/Seasonal Climate Composite*. Disponible en: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgibin/data/composites/printpage.pl>. Consultado el 30 de sept. 2016, 1 pp.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA) (2013). *Heath System Research Laboratory: Create a monthly or seasonal time series of climate variable*. Disponible en: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/timeseries>. Consultado el 30 de sept. 2016, 1 pp.
- ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (OMM). (2006). *Vigilancia y alerta temprana de la sequía: conceptos, progresos y desafíos futuros*. N° 1006, Ginebra, Suiza. 28 pp.
- RAVELO, A.C. et al., (2016). *Monitoreo y Evaluación de las Sequías en América Central*. Joint Research Centre, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 55 pp.
- TRUSOV, I.I, IZQUIERDO, A. Y DÍAZ, L.R. (1983). *Características espaciales y temporales de las precipitaciones atmosféricas en Cuba*. Editorial Academia. Instituto de Geografía, La Habana, Cuba, 150 pp.