

Cantidad de días con lluvia y eventos significativos de sequía en el centro de Cuba

Amount of rainy days and drought significant events in central Cuba



Dianelis García Rodríguez ^{1*}, Iongel Durán Llacer ², Braulio Lapinel Pedroso ³ <http://opn.to/a/x7C62>

¹Instituto de Geofísica y Astronomía, Cuba.

²Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Ambientales y Centro EULA-Chile, Departamento de Planificación Territorial, Chile.

³Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba.

RESUMEN: Las tendencias climáticas observadas en todo el Caribe durante las últimas décadas, indican un aumento en la frecuencia e intensidad de la sequía. En Cuba existe un estrecho vínculo entre los eventos de sequía significativos con la influencia de fuertes sistemas anticiclónicos, que actúan desfavorablemente en el desarrollo de las lluvias de cualquier magnitud. De ahí la importancia de investigar cuánto llueve y con qué frecuencia e intensidad lo hace. Por tales razones, el presente trabajo analiza el comportamiento de la cantidad de días con lluvia total y por intervalos en el centro de Cuba, así como su posible relación con la ocurrencia de eventos significativos de sequía desde 1981 al 2010. Se utilizaron los softwares estadísticos Statgraphics 5.1 y Microsoft Office Excel 2016 para la obtención de la tendencia y parámetros estadísticos de los días con lluvia en 19 estaciones meteorológicas. La distribución espacial se realizó mediante el Sistema de Información Geográfico ArcGIS (v 2.14). El método de los deciles fue empleado para analizar los períodos con mayor déficit de días con lluvia y se relacionaron con variables meteorológicas, que reflejan la influencia de procesos atmosféricos en el desarrollo de la sequía, como las superficies Geopotenciales y Omega. Los resultados confirmaron mayor distribución de días con lluvia hacia el interior y zonas montañosas, con mayor concentración en los intervalos menores de 50 mm de precipitación, una tendencia creciente pero solo estadísticamente significativa para el intervalo de 0.1 mm a 10 mm y una gran relación entre los días con lluvia con períodos significativos de sequía.

Palabras clave: días con lluvia, geopotenciales, Omega, sequía, Cuba.

ABSTRACT: The climatic trends observed throughout the Caribbean in the last decades show an increase in the frequency and intensity of the drought. In Cuba exists a close link between the significant drought events and the influence of strong anticyclonic systems, that acts against the development of any kind of rain amount. Therefore, the importance of researching how much it rains and how often and the intensity of it. This work analyzes the behavior of the amount of rainy days in total and by intervals in the central regions of Cuba, the possible relation with the occurrence of significant droughts events from 1981 to 2010. The statistical software Statgraphics 5.1 and Microsoft Office Excel 2016 were used to obtain the trend and statistical parameters of rainy days in 19 weather stations. The spatial distribution was made through the Geographic Information System ArcGIS (v 2.14). The decile method was used to analyze the highest deficit periods of rainy days and It were related to meteorological variables, that reflect the atmospheric processes influence in the drought's development, such as Geopotential surfaces and Omega. The results confirmed a greater distribution of rainy days in the interior and mountainous areas, with a greater concentration in the intervals less than 50 mm of precipitation, an increasing trend but only statistically significant about the 0.1 m to 10 mm and a great relationship between rainy days and significant periods of drought were found.

Key words: rainy days, geopotentials, omega, drought, Cuba.

*Autor para correspondencia: Dianelis García Rodríguez. E-mail: dianelis.garcia93@gmail.com; dianelis@iga.cu

Recibido: 16/04/2019

Aceptado: 27/05/2019

INTRODUCCIÓN

Las tendencias climáticas observadas en todo el Caribe en las últimas décadas indican un aumento en la frecuencia e intensidad de la sequía, vinculadas con el incremento de la variabilidad climática y el cambio climático, por tanto, conocer la manifestación en espacio y tiempo de este fenómeno, resulta de vital importancia para reducir los riesgos asociados y proveer una alerta temprana a nivel nacional y regional, que garantice la protección de las personas, la economía y el medioambiente ([Centella et al., 1997](#); [Cutié & Lapinel, 2013](#); [Lapinel & Planos, 2002](#)).

En Cuba existe un estrecho vínculo entre los eventos de sequía significativos y la influencia de fuertes sistemas anticiclónicos sobre el área, que influyen desfavorablemente en el desarrollo de las lluvias de cualquier magnitud ([Lapinel et al., 2006](#)), pero no solo es importante conocer cuánto llueve, sino con qué frecuencia e intensidad lo hace ([Trusov et al., 1983](#); [Durán, 2016](#)), por lo que estudiar la variable días con lluvia y su distribución por intervalos es de especial interés para resolver esta interrogante, así como su posible relación con los procesos de sequía.

La cantidad de días con lluvia constituye una temática de estudio en investigaciones de carácter climático, de impacto natural y social asociados a la agricultura y a otras ramas de la economía, que se vincula además al cambio climático ([Ordoñez et al., 2008](#); [Trusov et al., 1983](#)). Esta variable resulta de gran interés y beneficio en la planificación y distribución de las fuerzas productivas, en la representación de zonas de importancia para la intensificación de la producción agrícola y el riego, así como en la erosión de los suelos ([Trusov et al., 1983](#); [Durán, 2016, 2017](#)).

Resultan escasos los trabajos en el país que estudian esta temática. Generalmente, estas investigaciones se basan en los acumulados de lluvia y solo se hace una pequeña referencia a este tema ([Álvarez et al., 2002](#); [Barcia & Fernández, 2006](#); [González et al., 2017](#); [Trusov et al. 1983](#)). Un análisis de esta variable atendiendo a su carácter anual, mensual y por intervalos,

vinculándola además a la sequía en Cuba lo realizó [Durán \(2016, 2017\)](#), pero solo fue para el occidente del país. A nivel internacional, las referencias encontradas son limitadas, entre las que podemos citar a [Brown et al., \(2015\)](#); [De la Casa & Nasello \(2012\)](#); [Robledo & Penalba \(2009\)](#); [Seleshi & Zanke \(2004\)](#) y [Tood et al., \(1995\)](#). Por todo lo anteriormente planteado, el objetivo de este trabajo es examinar el comportamiento de la cantidad de días con lluvia total y por intervalos en el centro de Cuba, y su posible relación con la ocurrencia de eventos secos, en el período 1981-2010.

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 de aire 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. 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 ([Jromov, 1983](#)).

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). Omega positiva 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 et al., 2006](#); [Cutié & Lapinel, 2013](#)).

MATERIALES Y MÉTODOS

Definición del área de estudio

El área de estudio se encuentra aproximadamente entre los 21° 15' y 23° 06' de latitud Norte y los 80° 30' y 76° 15' de longitud Oeste en el centro de Cuba. Limita al Norte con el Océano Atlántico, al Este con la provincia de Las Tunas, al Sur con el mar Caribe, y al Oeste con la provincia de Matanzas (Figura 1). Ocupa las provincias de Cienfuegos, Villa Clara, Sancti Spiritus, Ciego de Ávila y Camagüey, desde el punto de vista de la división político administrativo (Gutiérrez & Rivero, 1999; Sánchez, 1989).

Metodología

Fueron empleadas 19 estaciones meteorológicas del Instituto de Meteorología (INSMET), distribuidas en toda la región central, tanto en zonas interiores como cercanas a la costa, para obtener datos de días con lluvia de alta calidad desde 1981 hasta el 2010, proporcionados por el Centro Nacional del Clima (CENCLIM) a partir de los acumulados diarios de lluvia en 24 horas,

clasificados por intervalos (Figura 1). Se escogieron cinco intervalos (0.1 a 10 mm, 10 a 20 mm, 20 a 50 mm, 50 a 100 mm y ≥ 100 mm) a partir de los registros de las Tablas de asentamiento de las Observaciones Meteorológicas del CENCLIM y por referencia de otros trabajos relacionados con esta variable.

El procesamiento y validación de los datos de los periodos lluvioso (comprende los meses desde mayo a octubre) y poco lluvioso (abril hasta noviembre) se realizó mediante el software Microsoft Office Excel 2016 donde se calcularon los promedios de los días con lluvia total y por intervalos. Además, se realizó el mismo procedimiento y el estudio de las distribuciones percentílicas por estaciones, meses y decenios del periodo lluvioso, así como el cálculo de los coeficientes de variación del valor medio de días con lluvia. Se concentró el estudio en esta temporada porque los mayores acumulados anuales de las lluvias en Cuba ocurren en estos meses y resulta más importante en su variabilidad espacial y temporal (Lecha *et al.*, 1994).

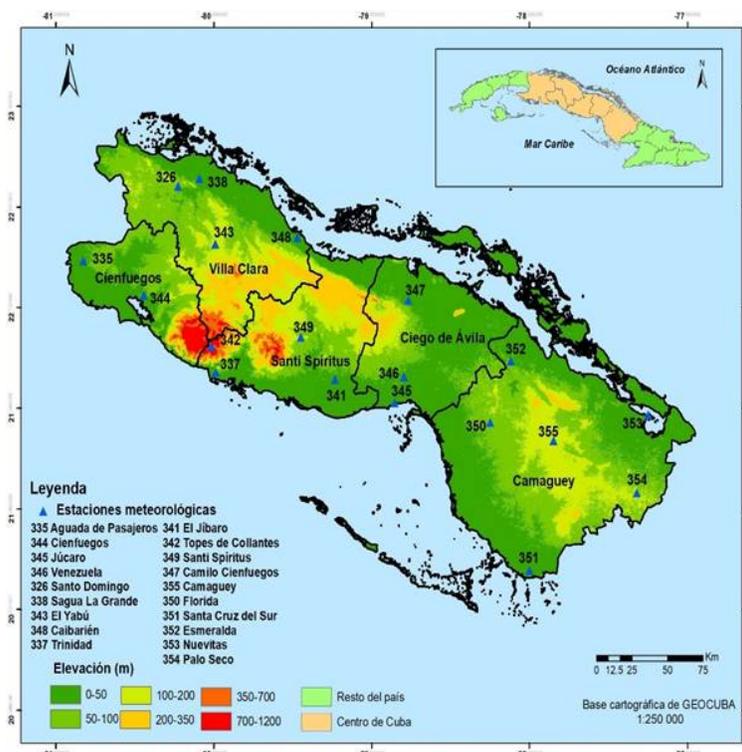


Figura 1. Ubicación del centro de Cuba, sus provincias y de las estaciones meteorológicas utilizadas en la investigación

Los mapas de distribución espacial fueron procesados mediante el Sistema de Información Geográfico (SIG) QGIS v 2.14, sobre la base cartográfica de GEOCUBA y con la proyección Cónica Conforme de Lambert, así como el mapa de ubicación. En este último, se utilizaron imágenes del satélite ALOS-PALSAR (12.5 m de resolución) para confeccionar el modelo digital de elevación, obtenidas del sitio Earth Data de la NASA (National Aeronautics and Space Administration). Con el software estadístico Statgraphics v 5.1 se calculó la tendencia en los meses e intervalos del periodo lluvioso.

Para relacionar los días con lluvia y los eventos de sequía se identificaron aquellos periodos mayo-octubre más afectados en el área de estudio, tomados a partir de aquellos que presentaron mayores días deficitarios en cada estación y la mayor frecuencia de afectación simultánea entre todas las estaciones meteorológicas. También se detectaron los meses más deficitarios dentro de cada periodo, todo mediante el método de los deciles y bajo el criterio de días lluviosos igual o por debajo del rango Decil 2, según la escala de [Gibbs & Maher \(1967\)](#) ([Tabla 1](#)). Para la investigación detallada de cada periodo deficitario encontrado, se establecieron los llamados casos de estudio: 1989, 1993, 1994 y 2004. Asimismo, para cada mes identificado como más afectado se determinó la distribución de días con lluvia por intervalos, expresada en rangos deciles.

En vista de comprender y conocer mejor las causas del déficit de días con lluvia, se examinaron determinadas variables climatológicas que son de interés durante la ocurrencia de eventos de sequías. Entre las variables seleccionadas estuvieron los mapas de superficies geopotenciales y la velocidad

vertical de presión Omega. 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 a 30° N y 260° W a 300° W, tomados a partir del Laboratorio de Investigaciones del Sistema Tierra (ESRL) de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Los datos de Omega proceden de este mismo sitio, pero del área que cubre los 20° N a 22.5° N y 280° W a 282.5° W. De estos valores se obtuvieron gráficos mediante el Excel, comparando los perfiles medios históricos para el periodo 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, 200, 150 y 100 hPa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Promedio de días con lluvia en los períodos lluvioso y poco lluvioso y su distribución por intervalos

Para el periodo lluvioso se definió un promedio de 85 días con lluvia, que representa un 46 % de los 184 días evaluados para este periodo; mientras que en el poco lluvioso se obtuvieron solamente 38 días de los 181 correspondientes, lo que significa un 21 %. Esto confirma el gran contraste de días con lluvia de una temporada respecto a la otra, en una proporción de 2.2 veces más días en el periodo lluvioso. Al examinar este comportamiento por intervalos, se percibe que, en ambos periodos estacionales, la mayor cantidad de días con lluvia promedio se registran en el intervalo de 0.1 a 10 mm, alcanzando 56 días (66 %) en el periodo lluvioso y 30 días (79 %) en el poco lluvioso. Es de

Tabla 1. Escala ajustada del rango de deciles

Muy por encima de la norma	superior a 90	10
Bastante por encima de la norma	90 a 80	9
Por encima de la norma	70 a 80	8
En la norma	30 a 70	4 a 7
Por debajo de la norma	20 a 30	3
Bastante por debajo de la norma	10 a 20	2
Muy por debajo de la norma	inferior a 10	1

interés destacar que para el período lluvioso y el poco lluvioso, hasta los 50 mm se acumulen el 94 % y 98 % respectivamente. Estos valores representan la casi totalidad de los días con lluvia. A partir de los 50 mm y en adelante solo ocurre como promedio 5 y 1 días en cada período antes mencionado. Todo lo cual evidencia la escasa ocurrencia de días con lluvia con estas últimas magnitudes de lluvia (Tabla 2). Estos resultados tienen concordancia con lo investigado en Durán (2016) para el occidente de Cuba.

Distribución espacial del promedio de días con lluvia en los periodos lluvioso y poco lluvioso

Aunque para el periodo lluvioso existe un promedio de 85 días con lluvia, existen zonas que pueden superar los 100 días, como ocurre en Tope de Collantes, con aproximadamente 114 días lluviosos como promedio. En las costas se presentan zonas con la menor cantidad de días con lluvia alcanzando apenas los 72 e incluso 64 días, como se aprecia en Nuevitas. Hay un fuerte contraste entre el este y el oeste del área de estudio, siendo mínimas hacia la costa norte de Camagüey, y mayores en las áreas montañosas al suroeste de la región, que comprende el sur de las provincias Cienfuegos, Sancti Spíritus y Ciego de Ávila (Figura 2 a).

Para el periodo poco lluvioso la norma es encontrar los mayores valores promedio de días con lluvia en la costa norte, para ir disminuyendo hasta alcanzar los valores mínimos en la costa sur. Existen zonas que pueden superar los 50 días,

como ocurre en Sagua la Grande y Nuevitas. En las costas sur se presentan zonas con la menor cantidad de días con lluvia alcanzando apenas los 29 días, como se aprecia en Trinidad (Figura 2 b).

Distribución espacial del promedio de días con lluvia por intervalos en el periodo lluvioso

En el intervalo entre 0.1 y 10 mm, se alcanzan en la región como promedio 56 días con lluvia. En el mismo se concentra el mayor número de días con lluvia. Si bien en la región Montañas de Trinidad se alcanza hasta 74 días con lluvia, en la parte Norte y costera de Camagüey no sobrepasan los 50 días, disminuyendo incluso, hasta 46 días con lluvia (Figura 3 a).

El promedio entre 10 y 20 mm para la región es de 12 días con lluvia, predominando la mayor cantidad de días hacia el interior y la costa sur del territorio, destacándose áreas localizadas en la zona de Trinidad y El Jíbaro. Valores inferiores se presentan hacia las costas norte, como es el caso de Nuevitas (Figura 3 b).

El intervalo entre 20 y 50 mm, al igual que en el anterior, el promedio que se alcanza en la región es de 12 días con lluvia, localizándose la mayor cantidad de días hacia el interior y la costa sur del territorio. Por lo general en las zonas costeras disminuyen los días con lluvia promedio, más acentuadamente al Norte y Sur de Camagüey (Figura 3 c). Los mapas correspondientes a los intervalos 50-100 mm y 100 no se elaboraron porque la cantidad de días no ofrece resultado relevante. No obstante, se encontró que el valor

Tabla 2. Promedio de días con lluvia en los períodos estacionales lluvioso y poco lluvioso y su distribución por intervalos

Estaciones	Período lluvioso(184 días)			Período poco lluvioso(181 días)		
	Días con lluvia	%		Días con lluvia	%	
	85	46		38	21	
	Lluvia en días con lluvia			Lluvia en días con lluvia		
Intervalos(mm)	Valor absoluto	%	% Acumulado	Valor absoluto	%	% Acumulado
0.1 a 10	56	66	80	30	79	90
10 a 20	12	14		4	11	
20 a 50	12	14	18	3	8	10
50 a 100	3	4		1	2	
≥100	2	2	2	0	0	0

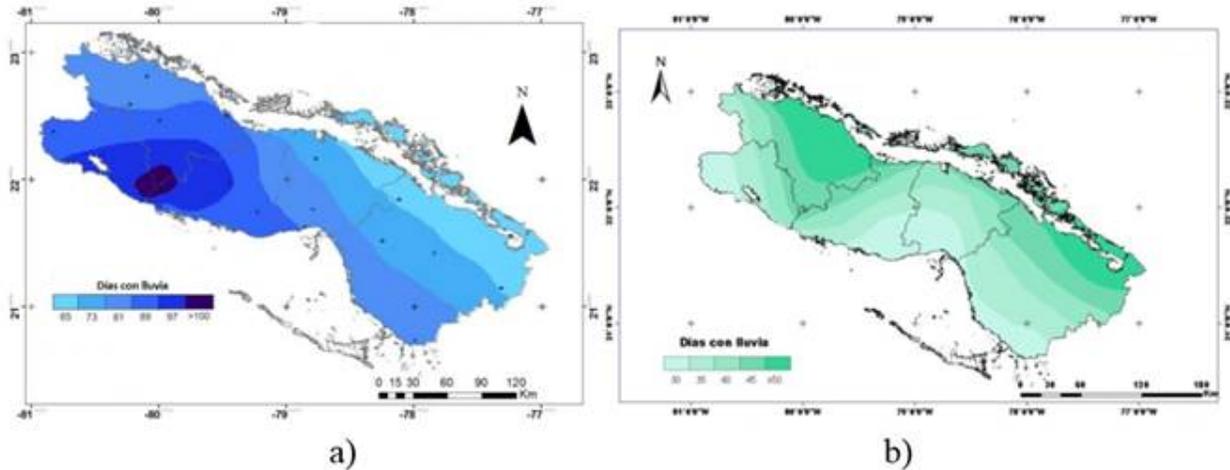


Figura 2. Distribución espacial del total de días con lluvia para a) Periodo lluvioso y b) Periodo poco lluvioso

promedio entre 50-100 fue de 3 días, representando solo un 4 % del total y a partir de este intervalo podemos considerar las lluvias como extremas. En el último rango solo se encontró dos días promedios y en ambos casos fueron mayores en las zonas montañosas de la región.

Comportamiento de la tendencia de la cantidad de días con lluvia del período lluvioso

Al analizar la tendencia de los meses lluviosos, se evidenció que, la misma tiende ligeramente al aumento para los meses desde junio a octubre, excepto mayo que no manifestó un comportamiento específico, pero la tendencia no resultó ser estadísticamente significativa.

El análisis de este parámetro para el caso de los intervalos indicó que, en los intervalos de 0.1 a 10 mm, de 20 a 50 mm, de 50 a 100 mm y por encima de los 100 mm existe una ligera tendencia al aumento, solo estadísticamente significativa para el rango de 0.1 a 10 mm con un p-valor menor a 0.05 (Figura 4). Todo ello tiene relevancia si se tiene en cuenta que en este rango se acumula el 66% del total de días con lluvia. Sin embargo, el incremento en este intervalo no representa un aporte significativo al acumulado total de lluvias.

Promedio de días con lluvia en los meses del período lluvioso y su distribución por intervalos

Al analizar el comportamiento del promedio total de días con lluvia por meses se obtuvo a

septiembre con el mayor promedio, 16 días, seguido de agosto con 15 días y comparando estos resultados con el comportamiento de la lluvia en la región coincide con el mes de septiembre pero no con agosto, puesto que junio resulta el otro mes de mayor precipitación, pero en este caso es agosto, lo que puede ser consecuencia de eventos generadores de fuertes lluvias como ciclones tropicales y la vaguada de niveles medios que provocan grandes acumulados en pocas horas, mientras en agosto se generarían más días con lluvia de menor intensidad y lluvias menos intensas. El mes de menor promedio de días con lluvia es mayo, aún en tránsito hacia el período lluvioso y julio, coincide con el período intraestival o canícula, que es la etapa donde disminuyen las precipitaciones durante la época lluviosa respecto a su promedio y que coincide normalmente con una fuerte influencia anticiclónica (Figura 5).

Mientras, al calcular la cantidad de días con lluvia por intervalos se reflejó un comportamiento similar que el anterior pero solo en los primeros intervalos (0.1 a 10 mm y 10 a 20 mm), mientras en los intervalos superiores a los 20 mm, el mes de junio resultó ser el de mayor cantidad de días con lluvia al igual que septiembre. Esto indica que hay mayores días con lluvia y mayor frecuencia de lluvias por debajo de los 20 mm, pero superior a este valor los días con lluvia aumentan o las lluvias son más intensas, o sea, menos intensidad y mayor frecuencia hasta los 20 mm, luego la frecuencia

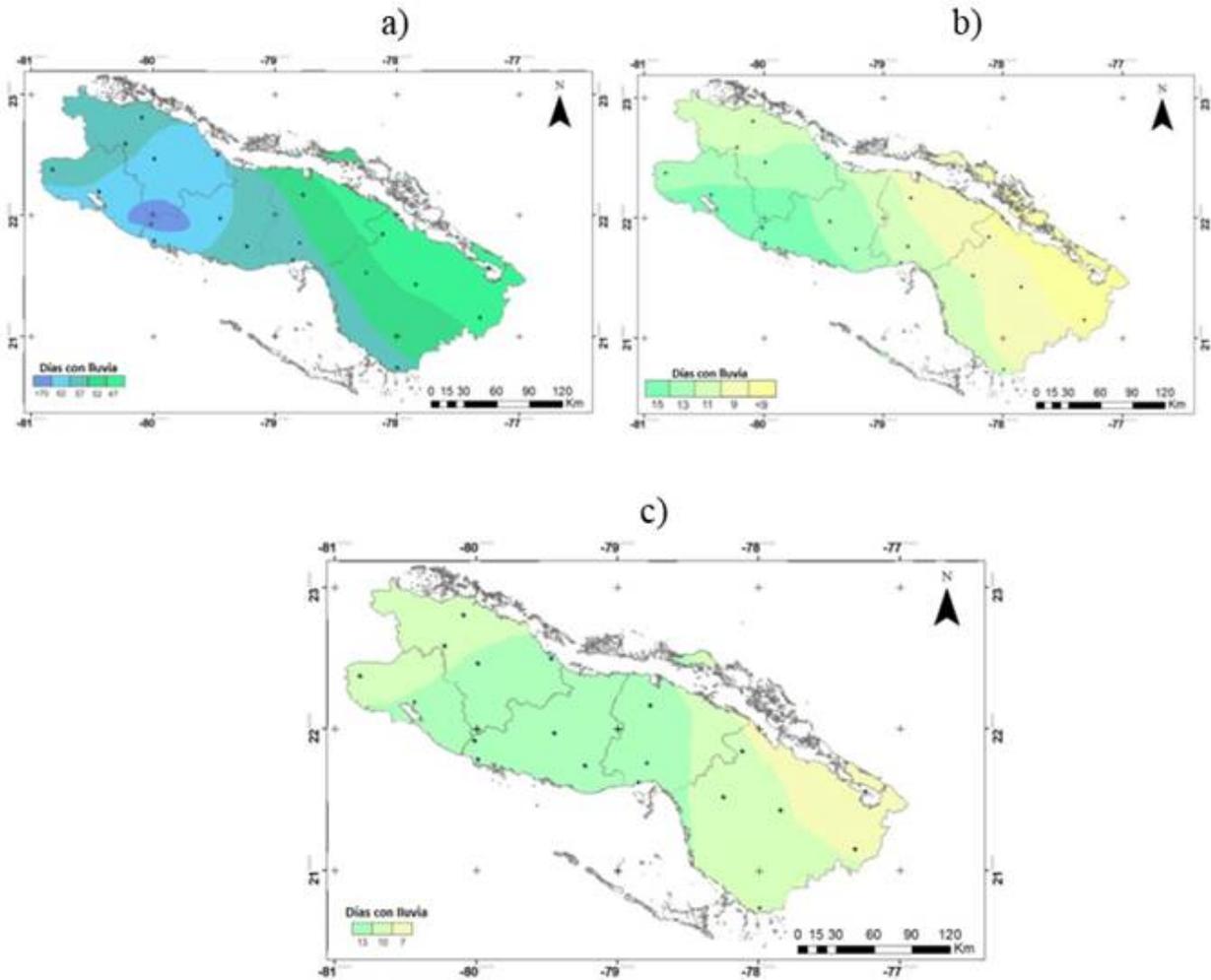


Figura 3. Distribución espacial de los días con lluvia por intervalos del periodo lluvioso: a) 0.1-10 mm b) 10-20 mm y c) 20-50 mm

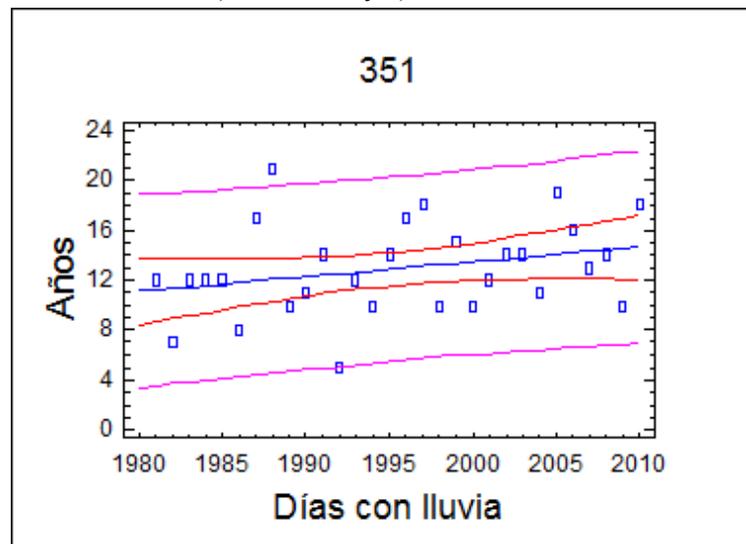


Figura 4. Comportamiento de la tendencia para el intervalo 0.1 a 10 mm

disminuye, pero aumenta la intensidad. Mayo presentó menos valores hasta los 20 mm y luego aumentan respecto a otros meses, lo que puede ser consecuencia de la vaguada de niveles medios que aparece a fines de este mes. Julio siempre refleja la llamada sequía intraestival, mientras octubre desde los 20 a los 100 mm, es el de menor cantidad de días lluviosos, lo que puede estar condicionado por la transición de la temporada lluviosa a la poco lluviosa.

Se obtuvo el mayor por ciento promedios de días con lluvia en el intervalo de 0,1 a 10 mm, con un 63% aproximadamente. Los meses de agosto y septiembre están por encima de estos valores, mientras que mayo tiene el menor valor. Los intervalos de 10 a 20 mm y de 20 a 50 mm tienen menor porcentaje de días con lluvia con respecto al primer intervalo, con 14% y 13% respectivamente. En cuanto a los días con lluvia de 50 a 100 mm el por ciento es de 7%, pero los meses julio, agosto y octubre se mantienen por debajo de esta cifra. Sin embargo, para los días con lluvia >100 mm el promedio es 3%, aproximadamente, es decir que el

97% de días con lluvia promedio se encuentra en el rango de 0,1 a 100 mm. Esto indica que, a pesar de mayor cantidad de días con lluvia el acumulado de precipitaciones no es óptimo, es decir, mayor intensidad no coincide con mayor frecuencia (Tabla 3).

Promedio de días con lluvia en los decenios 1981- 1990, 1991- 2000, 2001-2010

A través del cálculo de los valores medios de días con lluvia y el coeficiente de variación en el período 1981-2010 y también por decenios, se comprobó que la mayor variabilidad se presenta precisamente en los meses de tránsito estacional mayo y octubre, con valores correspondientes a 0.32 y 0.31, respectivamente. La menor variación pertenece a septiembre (0.1) y agosto (0.14). De manera general, el coeficiente fluctúa entre 0.10 a 0.32. En mayo y octubre, el coeficiente ha aumentado en el último decenio, a diferencia de junio, julio y agosto que ha disminuido (Tabla 4). Los días con lluvia de cada decenio en los diferentes meses, se mantienen constantes en mayo y en junio, el resto de los meses varían en el orden

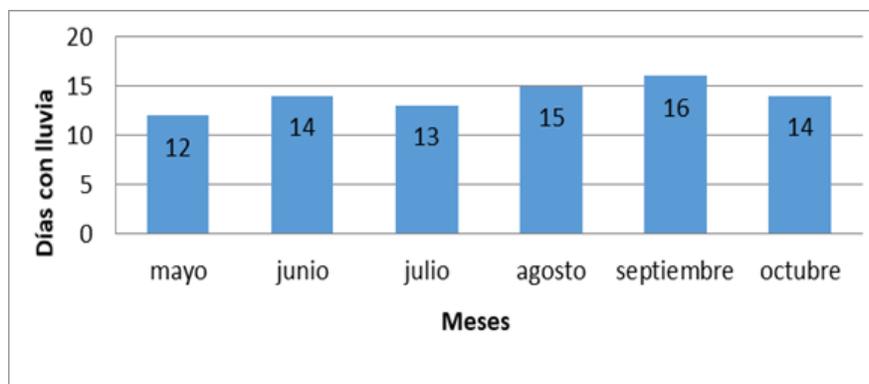


Figura 5. Comportamiento promedio de los días con lluvia para los meses del período lluvioso (1981-2010)

Tabla 3. Distribución promedio de los días con lluvia por intervalos en los meses del periodo lluvioso (1981-2010)

Intervalo/ Meses	Mayo	junio	Julio	agosto	septiembre	octubre	Promedio	Por ciento
0.1 a 10	7,4	9,1	9,1	9,9	11,0	9,6	9,2	63
10 a 20	1,8	2,0	1,9	2,2	2,3	1,8	2,0	14
20 a 50	1,9	2,3	1,7	2,1	2,2	1,5	1,9	13
50 a 100	0,5	0,6	0,3	0,5	0,5	0,4	1,0	7
> 100	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,4	3

de un día con lluvia, principalmente aumentando en el tercer decenio, lo que puede estar indicando un aumento de días lluviosos hacia los últimos años. Estos resultados coinciden con los encontrados por Durán (2016) en el occidente del país.

Periodos lluviosos (mayo-octubre) de mayor déficit de días con lluvia por estaciones e intervalos

Se seleccionaron los periodos lluviosos de cada estación que estuviera por debajo de la mediana (Decil 5) y el decil 2 que se toma como criterio crítico (ver Tabla 1). Esta comparación, tomando en cuenta la distribución percentilica, resulta conveniente, pues para el análisis de la lluvia como elemento meteorológico, el uso de la media aritmética es inapropiado. Los mayores déficits de días con lluvia se localizan en las estaciones de Tope de Collantes (27 días) y Camagüey (21 días); los menores en las estaciones Cienfuegos y Caibarién, ambas con 10 días. En cuanto a su distribución espacial, los mayores déficits responden a zonas del interior del área de estudio y viceversa (Figura 6).

En los casos de periodos lluviosos con déficit significativos ($Decil \leq 2$) en el total de días con lluvia por intervalos, se aprecia que, en cada intervalo, la mayoría de las estaciones reflejan déficit de días con lluvia. La clase de 0.1 a 10 mm es evidente que es la más afectada ya que 18 de las 19 estaciones de estudio presentan déficit entre los deciles 1 y 3. En los otros intervalos, algunas estaciones reflejan valores que superan el Decil 5. Los intervalos de 50 a 100 y ≥ 100 mm, son los menos afectados, este último con solo una estación en el Decil 1 (Tabla 5).

Respecto a la primera clase se evidencia claramente el nivel de afectación de los días con lluvia promedio en relación con los periodos deficitarios en todas las estaciones meteorológicas. En el grupo de 10 a 20 mm, se observa una mayor diferencia de días con lluvia en las estaciones costeras. De 20 a 50 mm, en todo el territorio los días con lluvia de los periodos deficitarios son menores respecto a los históricos; a partir de los 50 hasta los 100 mm, el mayor déficit se registra en la estación Caibarién, no obstante, en la estación Cienfuegos el promedio del periodo deficitario es

Tabla 4. Pomedio (\bar{X}), desviación típica y coeficiente de variación de días con lluvia (≥ 0.1 mm) y sus valores por decenios (1981-2010)

Años	1981-2010			1981-1990			1991-2000			2001-2010		
	\bar{X}	S	Cv									
Mayo	12	3,83	0,32	12	2,82	0,24	12	3,27	0,28	12	3,83	0,32
Junio	14	2,05	0,14	14	2,87	0,21	14	3,01	0,2	14	2,04	0,14
Julio	14	2,13	0,15	13	2,18	0,17	13	2,22	0,17	14	2,13	0,15
Agosto	15	2,16	0,14	14	2,3	0,16	15	2,19	0,14	15	2,16	0,14
Septiembre	17	1,8	0,1	15	1,72	0,11	17	1,54	0,09	17	1,8	0,1
Octubre	14	4,43	0,31	13	2,85	0,21	13	2,85	0,21	14	4,43	0,31

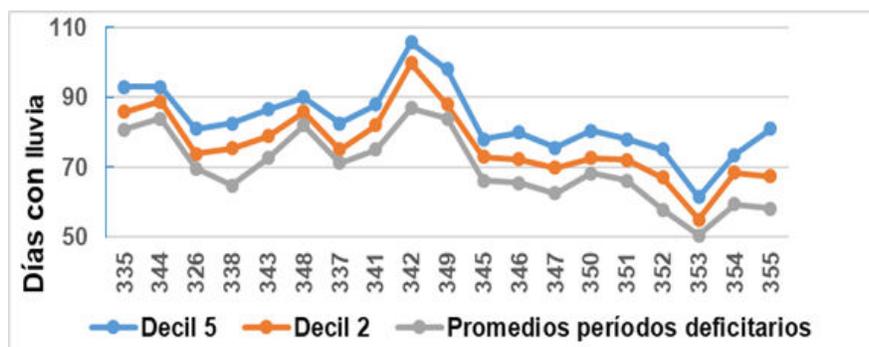


Figura 6. Promedio de los días con lluvia en los periodos deficitarios y deciles 2 y 5 de la distribución de cada estación (1981-2010)

Tabla 5. Días con lluvia por intervalos en los periodos deficitarios expresados en rango deciles

Estaciones	Intervalos (mm)				
	0.1 a 10	10 a 20	20 a 50	50 a 100	≥ 100
335	1	4	2	4	6
344	3	6	4	6	7
326	2	4	2	5	6
338	2	3	3	6	8
343	3	4	1	3	8
348	2	3	4	2	7
337	1	3	3	4	4
341	2	6	4	4	5
342	1	1	1	1	1
349	2	4	3	4	4
345	2	3	2	5	6
346	2	3	2	4	5
347	2	2	3	4	6
350	2	2	2	7	6
351	4	1	2	4	6
352	1	3	3	6	8
353	1	4	4	6	7
354	1	4	5	3	7
355	1	4	2	4	7

superior al histórico. En el caso de lluvias superiores a 100 mm las diferencias son muy pocas en toda la región, señalando únicamente a la estación Tope de Collantes como la única afectada. En las estaciones con promedios de días con lluvia en los periodos deficitarios superiores al histórico, pueden haber sido el resultado de procesos atmosféricos que han perturbado la lluvia y por ende a los días con lluvia en diferentes zonas, durante el período de estudio de 30 años ([Tabla 5](#)).

En resumen, salvo el intervalo superior a los 100 mm, todos presentan déficit en los periodos lluviosos escogidos, lo que confirma que los eventos de sequía no solamente están relacionados con los intervalos superiores a los 40 mm de acumulado de lluvia, como afirmaba [Burlustky \(1982\)](#) y que coincide con lo expuesto por [Durán \(2016, 2017\)](#).

Períodos lluviosos (mayo-octubre) y meses respectivos de mayores afectaciones en el centro de Cuba

Para identificar los periodos más afectados o *casos de estudio*, se tomaron en cuenta los que presentaron mayores días deficitarios en cada estación y los periodos lluviosos de mayor frecuencia de afectación simultánea entre todas las estaciones meteorológicas, correspondientes a los años 1989, 1993, 1994 y 2004. En los mismos, las zonas con déficit de días con lluvia se mostraron comunes, tanto en los periodos mayo-octubre, como en los meses más afectados. En los meses de los periodos lluviosos más deficitarios los días con lluvia por intervalos indican que todos son influenciados por los procesos de sequía significativos, los déficits en la cantidad de días con lluvia no dejan de manifestarse en cualquier

intervalo. Por tanto, se deduce que la carencia de días con lluvia en los intervalos superiores no son los que únicamente contribuyen a estos procesos (Tabla 6).

Características climatológicas de la tropósfera en los casos de estudio

Para comprender mejor las causas del déficit de días con lluvia se analizaron las características de las alturas geopotenciales en diferentes superficies de presión y los perfiles verticales de la velocidad vertical de presión (Omega), debido a que estas variables son sensibles frente a situaciones meteorológicas específicas. El período 1994 resultó ser un período contradictorio ya que en ocasiones las variables e índices empleados no reflejaron un comportamiento homogéneo en el mismo, ni en cada uno de sus meses deficitarios en días con lluvia. Esto se profundizó en el análisis por decenas y se comprobó que existieron varios días que aportaron gran cantidad de lluvia, pero en el mes en general los días con lluvia fueron pocos. Por lo que este caso de estudio no se aborda, ya que amerita un análisis más profundo y específico.

Geopotenciales

En los mapas que corresponden a 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. La marcada influencia del Anticiclón del Atlántico Norte y el Anticiclón mexicano favorecen el descenso de las masas de aire desde los niveles troposféricos superiores a los inferiores, proceso que dificulta al desarrollo de la lluvia. Septiembre de 2004 presentó una marcada influencia anticiclónica solamente en los niveles superiores de la tropósfera (300 y 200 hPa), no siendo así en los niveles bajos y medios (Figura 7).

Omega

Fueron evaluados los perfiles verticales de Omega sobre la región central, entre 1000 y 200 hPa, para los casos de estudio (3 períodos lluviosos y 9 meses afectados). Se comprobó que, en la mayoría de estos casos de estudio, las magnitudes de Omega positivas son mayores con respecto a la norma, es decir, más positivas que sus valores normales, resultados que demuestran la existencia de condiciones desfavorables para la lluvia y el déficit observados en la cantidad promedio de días con lluvia (Figura 8).

Tabla 6. Rango deciles de los días con lluvia en los casos de estudio por intervalos

Períodos lluviosos	Meses con mayores déficits	Intervalos (mm)				
		0.1 a 10	10 a 20	20 a 50	50 a 100	≥ 100
1989	Junio	1	1	1	1	1
	Octubre	1	1	2	3	1
1993	Junio	3	3	3	1	1
	Julio	1	1	1	3	7
	agosto	1	1	1	1	1
1994	Junio	2	1	1	1	1
	Julio	2	2	1	1	1
	agosto	3	1	2	2	1
2004	Mayo	1	1	1	1	1
	agosto	2	2	3	7	1
	Septiembre	4	1	1	3	1

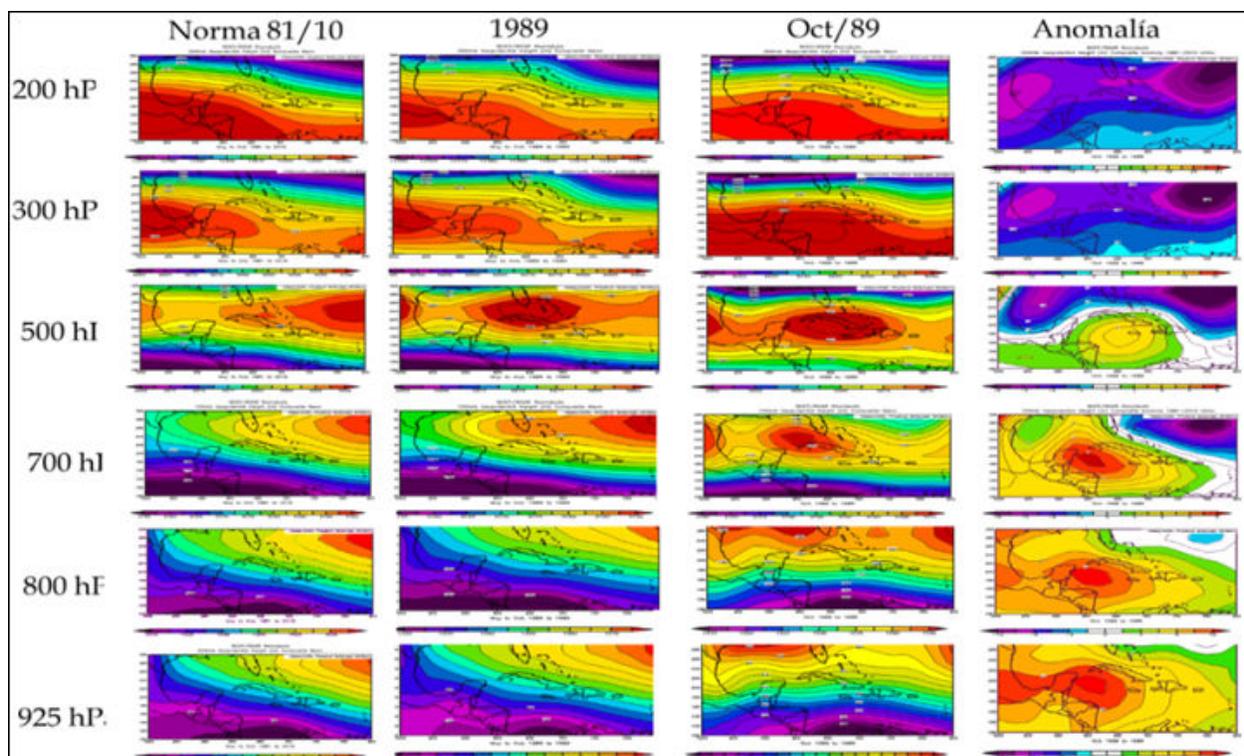


Figura 7. Mapas medios mensuales de las alturas geopotenciales en diferentes superficies de presión en el periodo mayo-octubre de 1989, el mes de octubre y respectivas anomalías

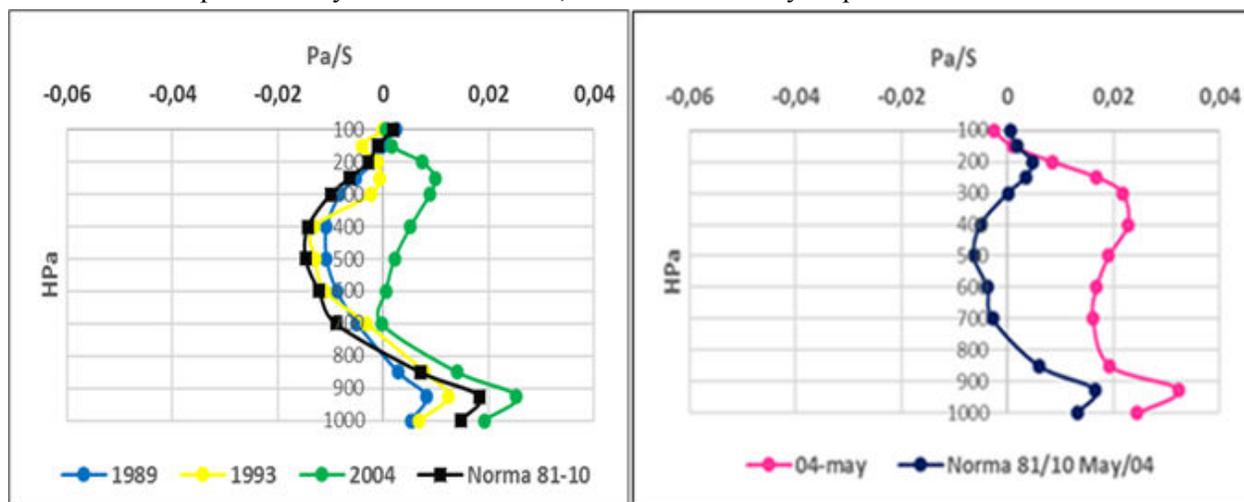


Figura 8. Perfil de Omega en los periodos mayo-octubre de 1989, 1993 y 2004, y en mayo, 2004. Norma 1981-2010

CONCLUSIONES

- La distribución espacial en el período lluvioso corrobora que, en zonas montañosas, de modo predominante, se presentan la mayor cantidad de días con lluvia, disminuyendo por lo general hacia las zonas llanas costeras.
- La tendencia de la cantidad de días con lluvia en el período lluvioso solo presenta un comportamiento creciente estadísticamente significativo en el intervalo de 0.1 a 10 mm.
- La cantidad de días con lluvia promedio en los meses del período lluvioso fueron máximos en septiembre y agosto, y mínimo en mayo.

- Los días con lluvia, evaluados entre los decenios demuestran que solo han aumentado en mayo y octubre, dado a que estos meses son los extremos del periodo lluvioso y están más susceptibles a cambios.
- En los períodos lluviosos considerados como deficitarios en cada una de las estaciones, el déficit en la cantidad de días con lluvia, en los intervalos estudiados (salvo el superior a 100 mm), fue acentuado, siendo el de 0.1 a 10 mm el que presentó el déficit más agudo.
- El comportamiento por intervalos en los meses de los casos de estudio, indica que todos son influenciados por procesos de sequía significativos y las variables climatológicas estudiadas, reflejaron condiciones que beneficiaron sobre la región el descenso acentuado de las masas de aire, proceso que limita la lluvia y en este caso, la cantidad de días con lluvia.

REFERENCIAS

- Álvarez, L.; Álvarez, R. & 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 p.
- Barcia, S. & 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, INSMET, Cuba, Available: http://www.iga.cu/Publicaciones/revista/cte_11/Art.../art_8_11c.html , [Consulted: abril 24, 2018].
- Brown, O.; Gallardo, Y.; Correa, A. & Barrios, S. 2015. “El cambio climático y sus evidencias en las precipitaciones”. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, XXXVI (1), pp. 88-101, ISSN 1815-591X.
- Burlustky, R. F. 1982. “Large scale atmospheric circulation with respect to tropical droughts”. *Mausam*, 33 (1), pp. 309-316, ISSN: 0252-9416.
- Centella, A.; Naranjo, L. R. & Paz, L. R. 1997. *Variaciones y cambios del clima en Cuba*. Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba, 55 p.
- Centella, A., Lapinel, B. & Solano, O. 2006. *La sequía meteorológica y agrícola en la República de Cuba y la República Dominicana*, La Habana, Cuba, 174 pp.
- Cutié, V. & Lapinel, B. 2013. *La sequía en cuba, un texto de referencia. Monografía, Proyecto I/OP-15/GEF*. Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba, 358 p.
- De la Casa, A. & Nasello, O. 2012. “Tendencias parciales de los días de lluvia y la intensidad media anual en la provincia de Córdoba, Argentina”. *Meteorológica*, 37 (2), pp. 67-77.
- 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*, 22 (1), pp. 51-65, ISSN: 0864-151X.
- Durán, I. 2017. “Circulación atmosférica y días con lluvia durante eventos significativos de sequía en el occidente de Cuba”. *Revista Cubana de Meteorología* , 23 (3), pp. 349-362, ISSN: 0864-151X.
- Gibbs, W. & Maher, J. 1967. *Rainfall deciles as drought indicators*, Bureau of Meteorology Bulletin, Commonwealth of Australia, Melbourne, 48 p.
- González, I. T.; Barcia, S. & Hernández, D. 2017. “Comportamiento de Indicadores de extremos climáticos en la Isla de la Juventud”. *Revista Cubana de Meteorología* , 23 (2), pp. 217-225. ISSN: 0864-151X.
- Gutiérrez, R. & Rivero, M. 1999. *Regiones naturales de Cuba*. La Habana, Cuba: Editorial Científico-Técnico, 145 p.
- JAXA/METI. 2019. *PALSAR_Radiometric_Terrain_Corrected_high_res*, Available: <https://www.asf.alaska.edu> , [Consulted: February 20, 2019].
- Jromov, S.P. 1983. *Meteorología y Climatología*. Traducido del ruso. Moscú, URSS: Vneshtorgizadat, 536 p.
- Lapinel, B. & Planos, E. 2002. *Visión de la sequía en Mesoamérica y el Caribe: Diagnóstico*,

- impactos y mitigación*. Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba, Available: Available: <http://www.met.inf.cu/sequia/contribuciones/ferial.htm> , [Consulted: abril 19, 2018].
- 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, pp. 304-309.
- Lecha, L.P.; Paz, L.R. & Lapinel, B. 1994. *El clima de Cuba*. Editorial Academia: La Habana, Cuba, 186 p.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 2013. *Hearth System Research Laboratory. Monthly/Seasonal Climate Composite*, Available: Available: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgibin/data/composites/printpage.pl> , [Consulted: abril 30, 2018].
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 2013. *Hearth System Research Laboratory. Create a monthly or seasonal time series of climate variable*, Available: Available: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/timeseries> , [Consulted: abril 30, 2018].
- Ordóñez, P. P.; Ceacero, R. C. J.; Mesas, R. A. I.; Méndez, J. J. M. & Barba, S. R. 2008. *Análisis del estado del clima en Andalucía mediante índices climáticos atmosféricos*. In: IX Congreso Nacional del Medio Ambiente, Madrid, España: Fundación CONAMA, Available: Available: http://www.conama9.conama.org/conama9/download/files/CTs/2671_POOrd%F3%F1ez.pdf , [Consulted: Octubre 27, 2017].
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). 2006. *Vigilancia y alerta temprana de la sequía: conceptos, progresos y desafíos futuros*, Ginebra, Suiza, (1006), 28 p.
- Robledo, F.A. & Penalba, O.C. 2009. “Análisis estacional de la frecuencia diaria y la intensidad de los extremos de precipitación sobre el sudeste de Sudamérica”. *Meteorológica*, 32 (1), pp. 31-49, ISSN 1850-468X. Available: Available: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1850...script=sci_arttext . [Consulted: octubre 20, 2017].
- Sánchez, H.E.A. 1989. *Nuevo atlas nacional de Cuba*. 1st ed., La Habana, Cuba: Instituto de Geografía de la Academia de Ciencia de Cuba-Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía, ISBN: 978-84-7819-007-2, Available: Available: <https://www.amazon.com/Nuevo-atlas-nacional-Cuba-Spanish/dp/8478190074> , [Consulted: October 27, 2018].
- Seleshia, Y. & Zankeb, U. 2004. “Recent changes in rainfall and rainy days in Ethiopia”. *International Journal of Climatology*, 24 (1), pp. 973-983, DOI: 10.1002/joc.1052.
- Todd, M. C.; Barrett, E. C. & Beaumont, M. J. 1995. “Satellite Identification of Rain Days over the Upper Nile River Basin Using an Optimum Infrared Rain/No Rain Threshold Temperature Model”. *Journal of Applied Meteorology*, 34 (1), 12 p.
- Trusov, I.I, Izquierdo, A. & Díaz, L.R. 1983. *Características espaciales y temporales de las precipitaciones atmosféricas en Cuba*. La Habana, Cuba: Editorial Academia, Instituto de Geografía, 150 p.

Dianelis García Rodríguez. Instituto de Geofísica y Astronomía, Cuba. E-mail: dianelis.garcia93@gmail.com; dianelis@iga.cu

Iongel Durán Llacer. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Ambientales y Centro EULA-Chile, Departamento de Planificación Territorial, Chile. E-mail: iongel.duran@udec.cl; iongel.duran@gmail.com

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Los autores de este trabajo declaran presentar una participación igualitaria en la concepción, ejecución y escritura de la investigación.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)