

Eventos y patrones de precipitaciones extremas en la región central de Cuba

Antonio de Jesús Fernández García, *antoniodejesus_fernandezgarcia@yahoo.es*,
Guillermo Orbe Arencibia, *orbe@cmpcf.cu*, Sinaí Barcia Sardiñas, *sinai@cmpcf.cu*,
y Elio Núñez Mañá, Centro Meteorológico Provincial de Cienfuegos,
Cecilia González Pedroso, *cgoz@yahoo.com* y Miriam Teresita Llanes
Monteagudo, *miriam_tere@yahoo.com*, Centro de Pronósticos,
Instituto de Meteorología. Miguel García Ruiz,
Centro Meteorológico Provincial de Sancti Spiritus.

Resumen

En el trabajo se establece un criterio para definir las situaciones sinópticas que producen lluvias intensas en el territorio de las provincias centrales; para ello se empleó la muestra diaria de la red de telecorreo del Instituto de Recursos Hidráulicos y se diferenció de aquellas situaciones que producen lluvias fuertes y que llegan a ser intensas en localidades aisladas. Partiendo de los principios metodológicos de Lund (1963) y Kirchhof (1974), se aplica el método de las correlaciones entre los campos sinópticos de los eventos extremos seleccionados, para definir los patrones medios de la circulación atmosférica asociados a lluvias intensas. Para ello se consideró la relación entre el campo mesoescalar de las precipitaciones y el patrón de circulación, propuesta como enfoque al revés del *downscaling*, discutido por Yarnal *et al.* (2001). Se establecen y discuten los patrones de la circulación para el período lluvioso del año (mayo-octubre), y se establece el nexo entre los patrones mesoescales de precipitación en 24 horas y la variación temporal de los procesos, de acuerdo con la metodología de los PSO, de Fernández y Díaz (2005).

Introducción

De acuerdo con las acepciones concebidas por Yarnal *et al.* (2001), el desarrollo metodológico en el campo de la climatología sinóptica se concibe en cuatro direcciones principales. Una de las más importantes es la que clasifica la circulación de la atmósfera de algún modo, basada en la ubicación de los centros de presión que influyen en la configuración sinóptica dominante (Semple y Green, 1984).

La segunda es el establecimiento de la relación, al menos entre dos escalas: la vinculada a los procesos de la circulación a gran escala y las que caracterizan a los fenómenos de la superficie en la atmósfera, aspecto que hoy presenta gran actualidad y connotación en la realización y conexión de los procesos físicos entre los fenómenos atmosféricos (Turner *et al.*, 1989). En esta dirección han contribuido los estudios realizados por Harman y Winkler (1991), los cuales fundamentan el principio metodológico que establece el nexo en orden descendente entre escalas de los procesos.

La tercera dirección en común está relacionada con la identificación de las variaciones estacionales

e interanuales de la circulación atmosférica y su influencia en el medio ambiente; mientras que la cuarta enfoca la región como la entidad espacial fundamental, debido a que la escalas de los procesos que regulan la circulación atmosférica, se entrelazan entre sí y varían en dependencia del fenómeno específico de que se trate, pero la circulación de una manera u otra está siempre relacionada al entorno ambiental de una región.

A partir de las cuatro direcciones citadas, comienzan a manifestarse divergencias que caracterizan el método empleado en el procedimiento de la clasificación. El primero de ellos se puede enmarcar en el establecimiento del nexo existente entre el patrón de circulación y el comportamiento mesoescalar de las variables meteorológicas, partiendo de la tipificación previa en el proceso de circulación, mientras que el otro procedimiento parte de la estratificación de los campos mesoescales, y estudiar su nexo con los patrones de circulación.

El primero de ellos contiene un enfoque general, capaz de caracterizar los mecanismos de la circulación de la atmósfera que implican determi-

nados comportamientos mesoescalares y locales del estado del tiempo; el segundo, trata de vincular las consecuencias del proceso de la circulación con las causas que la genera, lo cual lo hace mucho más complejo y difícil de aplicar.

En Cuba han sido desarrollados ambos enfoques, en los que se han empleado tanto las manuales como las objetivas o automáticas. Las clasificaciones manuales de Howell (1953), Amaro (1984), Fernández (1987), Lapinel (1988) se hallan en el primer enfoque, y recientemente la clasificación automática creada por Fernández y Díaz (2005), fundamentada en la estratificación bimestral de los Procesos Sinópticos Objetivos (PSO). También Rubiera (1990) concibió un procedimiento de clasificación automática basado en el cálculo de las distancias euclidianas, mediante el cual caracterizó la relación entre patrones de la circulación en los niveles medios de la atmósfera y el comportamiento esperado de las precipitaciones en el período poco lluvioso del año.

Otros trabajos, como los realizados por Llanes (1999) y Hernández (1999), caracterizaron en los períodos lluviosos y poco lluviosos del año la circulación atmosférica asociada al régimen decenal de las precipitaciones, tomando grupos de años en que los totales decenales rebasaron la norma histórica y años en que los acumulados decenales por debajo de ella.

Los resultados de esos trabajos revelaron rasgos característicos en los patrones circulatorios y dieron respuesta al comportamiento por encima o por debajo del acumulado decenal de las precipitaciones. También González *et al.* (2004), han encontrado respuestas en los patrones de circulación del mes de abril, en relación con los años activos y poco activos de la temporada ciclónica que se avecina.

En el contexto del resultado científico: «Climatología Sinóptica de la distribución mesoescalar de las precipitaciones, en varios polígonos del territorio de Cuba», fueron estudiados los patrones mesoescalares de las precipitaciones en diferentes partes del territorio cubano, aspecto incluso que deberá consolidarse en la medida que se disponga de una base de datos diarios de lluvia en la escala mesobeta de Orlansky (1975). El procedimiento empleado en ese trabajo se fundamentó en la caracterización de los PSO en el período 1978-1999, y en él se detalló la gama de procesos atmosféricos que influyen en las diferentes épocas del año, así como quedó evidenciada la respuesta mesoescalar del comportamiento de las precipitaciones

en los polígonos analizados. Fue creado como parte adicional de este trabajo un sistema automatizado que relaciona los patrones con la distribución mesoescalar de los totales de precipitaciones diarios.

La metodología generada por el procedimiento de los PSO es capaz en muchos casos de excluir situaciones meteorológicas extremas, generadoras de episodios de lluvias fuertes y localmente intensas; sin embargo, el propio procedimiento de exclusión de los casos extremos no permitió la obtención de patrones que pudieran caracterizar mejor las particularidades de este proceso (Fernández y Díaz, 2005).

La problemática anterior no exime la posibilidad de que empleando otros umbrales de distancia, balanceando el peso de los nodos de la rejilla, etcétera, puedan ser obtenidos esquemas de la circulación que simulen patrones generadores de lluvias intensas, mediante técnicas objetivas las cuales aborden el problema en el orden descendente de escalas (*downscaling*); es decir, de los patrones de la circulación general de la atmósfera a la distribución mesoescalar del campo de las variables; sin embargo, esto no excluye la posibilidad de estudiar el comportamiento de eventos lluviosos productores de lluvias intensas de forma independiente y abogando por el enfoque inverso del problema: agrupar aquellas condiciones mesoescalares que reflejan eventos extremos de precipitaciones y analizar los mecanismos de la circulación atmosférica asociados a estos patrones mesoescalares.

Estudiar los patrones de la circulación generadores de eventos extremos de lluvia constituye un eslabón importante en los servicios de pronósticos a corto y mediano plazo, así como para el ajuste adecuado de los modelos de predicción climática. El conocimiento de los patrones de la circulación que incentivan la ocurrencia de lluvias intensas en Cuba, se adquiere a través de la experiencia de los meteorólogos sinópticos en el trabajo operativo. En la actualidad los modelos hidrodinámicos de alta resolución son capaces de pronosticar patrones extremos con anticipación.

Los sistemas de interpretación estadística basados en la climatología sinóptica, modelos estadísticos acoplados a la salida de los modelos hidrodinámicos, con el empleo del *Perfect Prog* o el *MOS*, Klein (1959) y Glahn y Lowry (1972), constituyen una herramienta adicional que permite ahondar sobre los procesos mesoescalares y las características específicas de estos patrones extremos de la circulación atmosférica.

El presente resultado científico aborda las particularidades para la región central de Cuba de estos episodios de precipitaciones extremas en el período lluvioso del año, y se describen los principales esquemas de la circulación que caracterizan estos patrones extremos productores de lluvias intensas.

Materiales y metodología científica

Materiales

Para realizar la presente investigación fue considerada la siguiente información:

1. Se tomó una red del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos formada por 196 pluviómetros, en el territorio comprendido por las provincias de Villa Clara, Cienfuegos y Sancti Spiritus (Fig. 1).



Fig. 1. Red de estaciones pluviométricas de la región central de Cuba, correspondiente a las provincias de Villa Clara, Cienfuegos y Sancti Spiritus.

2. Fueron considerados los datos sinópticos de la base de datos del NCEP-NCAR en el período 1978-1999, para el horario de las 1200 UTC. Los campos empleados correspondieron con la presión atmosférica en la superficie del nivel medio del mar (P_{sup}) y la altura de los geopotenciales en los niveles de 500 y 200 hPa (H500 y H200) (Fig. 2).



Fig. 2. Área geográfica considerada.

Metodología científica

Criterio para la selección de los casos de lluvias intensas

Para la detección de los episodios de lluvias intensas fueron utilizadas las cartas digitales de la distribución espacial de las lluvias en las provincias de Villa Clara, Cienfuegos y Sancti Spiritus, para lo que se empleó el sistema para la mapeación del campo de las precipitaciones (MAPP) Durán *et al.* (inédito), basado en el proceso de interpolación generado por el procedimiento Kriging, con ajuste lineal y efecto de nodo cero, concebido en la versión 7,0 del SURFER.

Se adoptó el criterio de seleccionar aquella muestra de casos, para el período lluvioso del año, en la cual al menos se registraron en dos pluviómetros lluvias superiores a los 100 mm en 24 horas. Para filtrar las situaciones que correspondieron con episodios de lluvias intensas generalizados en el territorio central se elaboró la siguiente metodología:

- Se confeccionó un gráfico de dispersión donde se aprecia la relación entre la cobertura espacial de las precipitaciones expresada en por ciento y la intensidad media de las precipitaciones en el territorio de las tres provincias.
- El gráfico representativo del conjunto de casos en el que al menos dos equipos reportaron lluvias superiores a los 100 mm tuvo el siguiente tratamiento. Partiendo de los principios metodológicos formulados por la llamada función de Miller (1962) y dentro de ella el parámetro de Mahalanobis, Fernández y Díaz (2005), fueron calculadas las desviaciones INTER GRUPOS e INTRA GRUPOS, para la subdivisión de la muestra en dos grupos, con el objetivo de lograr que ambos discriminen al máximo entre sí.
- Se calculó S1 Y S2, como elementos integradores de la llamada función discriminante de Miller, mediante las fórmulas:

$$S1(x_p) = \sum_{g=1,G} \sum_{k=1,n_g} (x_{pgk} - x_{pg})^2 \quad (1)$$

$$S2(x_p) = \sum_{g=1,G} n_g (x_{pg} - x_p)^2 \quad (2)$$

Donde $(X_{pgk} - X_{pg})^2$ en la ecuación 1 representa las diferencias cuadráticas entre la media interior de cada grupo y cada uno de los valores observados de intensidad de precipitación. G es el número de grupos —en este caso 2— y S1(Xp) representa la suma total de las desviaciones intragrupos en relación con las medias de ambos grupos. El término $(x_{pg} - x_p)^2$

en la ecuación 2 representa las diferencias entre las «Grandes medias de los dos grupos seleccionados» y la media total de la muestra analizada, ponderada por el número de casos de cada grupo, mientras que S2 (Xp) da una medida de las desviaciones intergrupos.

- Se calculó el cociente S2(xp) / S1(xp), para todas las posibles variantes y se seleccionó aquella donde se maximiza ese cociente. De esa manera fueron discriminados al máximo los dos grupos considerados, conformando todas las posibles combinaciones para la agrupación de estos dos grupos. El valor para el cual se maximiza ese cociente definió la frontera entre ambos grupos, correspondiendo el de mayor magnitud —denominado como G1— y el de magnitud significativamente menor —nombrado como G2. El grupo formado por G1 definió el conjunto de episodios de lluvias intensas tratado en el presente trabajo.
- Se crearon los bancos de situaciones sinópticas correspondientes a situaciones extremas productoras de lluvias intensas en el período lluvioso del año (mayo-octubre).

Procedimiento para la generación de patrones de lluvias intensas

Partiendo de los conjuntos de casos seleccionados como «Grupo de situaciones de lluvias intensas», fueron creadas las muestras de datos a escala sinóptica que comprenden los campos de P_{sup}, H₅₀₀ y H₂₀₀ en el horario de las 1200 UTC. Se consideró la variabilidad temporal de cada situación en correspondencia con la metodología formulada por Fernández y Díaz (2005), para componer cada caso con la situación del día anterior (d-1) y el día posterior (d+1).

Se procedió a aplicar la técnica de clasificación automática u objetiva, propuesta por Lund (1963). Esta clasificación es una de las técnicas objetivas empleadas en Climatología Sinóptica para la clasificación de los patrones de la circulación atmosférica. Metodológicamente se utilizan dos técnicas para esta clasificación. La primera desarrollada por Lund (1963) usa el coeficiente de correlación de Pearson (r_{xy}) para establecer el grado de similitud entre pares de mapas. Yarnal (1993), a partir de la fórmula:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^N [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\left[\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \right]^{1/2}}, \text{ donde:} \quad (3)$$

x_i : representa la variable de cada uno de los N puntos del primer mapa,
 y_i : representa la variable de cada uno de los N puntos del segundo mapa,

\bar{x} y \bar{y} : representan la media de los N puntos de la rejilla.

Kirchhofer (1974) más adelante introduce el segundo método, el cual usa como algoritmo la suma de cuadrados para computar la correspondencia entre los mapas del tiempo.

$$S = \sum_{i=1}^N (z_{xi} - z_{yi})^2 \quad (4), \text{ donde:}$$

S: Kirchhofer store

z_{xi} : Valor normalizado de rejilla del punto i en el día x,
 z_{yi} : Valor normalizado de rejilla del punto i en el día y
 N: Número de puntos.

El procedimiento empleado implicó el cálculo de situaciones sinópticas de mayor longitud de casos, partiendo de un umbral del coeficiente de correlación de Pearson superior a 0,85. Aquel grupo de situaciones donde maximizó el promedio del coeficiente de correlación corresponde con el primer grupo. Con el resto de las situaciones no seleccionadas se procedió de igual manera, para buscar el grupo de casos de la segunda cadena que mayor coeficiente de correlación generará, hasta que el umbral del coeficiente de correlación fue inferior a 0,70, a partir del cual no se consideró significativo, y de esta manera no formaron parte de un patrón en específico.

Fueron conformados cada uno de los grupos y se obtuvo el mapa de circulación promedio en los niveles de P_{sup}, H₅₀₀ y H₂₀₀ que corresponde con cada uno de los patrones obtenidos. Las particularidades, características y rasgos de cada uno de los patrones obtenidos por la técnica objetiva considerada fueron discutidas en el desarrollo del trabajo.

Análisis de los resultados

Resultados que avalan el criterio de definición de episodio de lluvias intensas

La figura 3 muestra el diagrama de dispersión que ilustra la relación entre la cobertura espacial de las precipitaciones expresada en por ciento y la intensidad media de las precipitaciones en la superficie

del territorio de las tres provincias centrales: Villa Clara, Cienfuegos y Sancti Spíritus.

En el gráfico se muestra la línea divisoria que separa al grupo de situaciones de lluvias intensas en relación con el resto de la muestra en que se han producido lluvias localmente intensas, en al menos dos localidades del territorio analizado. El grupo 1 caracteriza la familia de situaciones asociadas a las lluvias intensas, donde el valor límite umbral de 23,1 mm. En el período lluvioso del año quedaron referidos 62 casos, con precipitaciones promedios en el territorio analizado de 45,2 mm.

En el ejemplo brindado para el período lluvioso del año (Tabla 1), la relación entre S2/S1 fue de 1,46, lo cual maximiza el cociente entre las desviaciones intergrupos e intragrupos de las diferentes variantes de los dos grupos analizados. En este caso el valor medio de precipitación —en el Grupo 1— asociado a los casos de lluvias intensas fue de 45,2 mm, con un promedio de 24 pluviómetros que reportaron lluvias superiores a 100 mm. Mientras que el grupo 2 tuvo un promedio en la región analizada de 13,2 mm, con un reporte promedio de tres pluviómetros con precipitaciones superiores a 100 mm.

Como se aprecia entre ambos grupos existen diferencias muy significativas, que distinguen el comportamiento entre un conjunto de situaciones productoras de lluvias intensas que abarcan un porcentaje de cobertura espacial significativo a un segundo grupo que se caracteriza por lluvias fuertes y con reportes de algunas localidades de *lluvias localmente intensas*.

Aquí se quiere significar la diferencia entre ambos estadios, ya que en el grupo 1 se agrupan situaciones sinópticas que producen lluvias intensas significativas más generalizadas, con un umbral de intensidad medio por encima de los 23,1 mm y un promedio de precipitaciones a nivel de territorio de 45,2 mm. En el segundo grupo, evidentemente, se agrupan situaciones que propician lluvias fuertes, que producen lluvias localmente intensas en lugares específicos, pero que no abarcan una cobertura espacial significativa en la región de estudio. Tal es el caso de situaciones típicas del período lluvioso, asociadas incluso a bajas frías de la troposfera alta que estimulan la ocurrencia de Tormentas Locales Severas (TLS) y precipitaciones intensas en localidades muy aisladas, las cuales fueron examinadas en estudios detallados de caso por Alfonso *et al.* (1990).

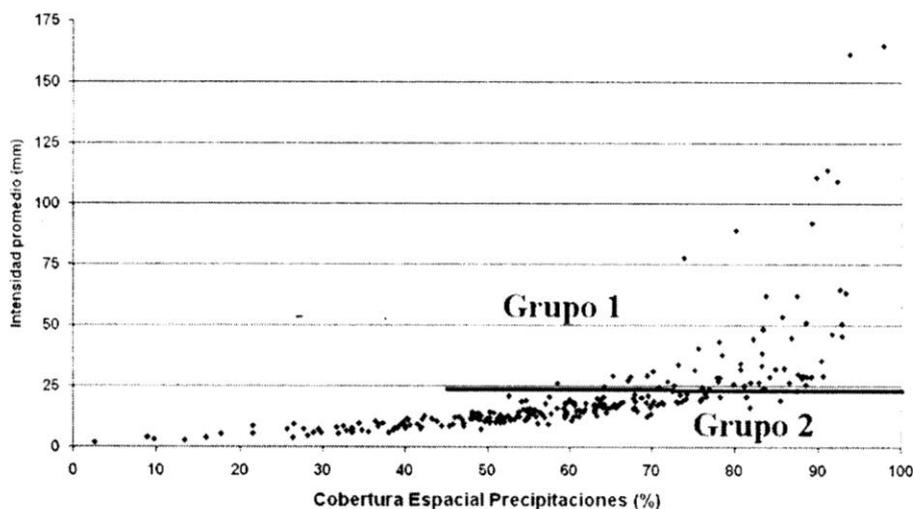


Fig. 3. Diagrama de dispersión que muestra la relación entre la cobertura espacial de las precipitaciones y la intensidad media de ellas en el período lluvioso. Línea divisoria de 23,1 mm (promedio a nivel de territorio) que subdivide al grupo de lluvias intensas (Grupo 1) del resto de la muestra. Período lluvioso (Grupo 2).

Tabla 1. Procedimiento de cálculo para la selección el grupo de casos de lluvias intensas en los meses del período lluvioso, donde quedaron registradas 62 situaciones sinópticas

Num. casos Grupo 1	Num. casos Grupo 2	Intensidad Media Grupo 1	Intensidad Media Grupo 2	Valor S2	Valor S1	Relación S2/S1	Valor Limitrofe
82	170	39.2	12.4	2963.2	2133.6	1.385	19.1
81	171	39.5	12.4	2978.1	2131.8	1.397	19.4
80	172	39.7	12.4	2984.4	2126.1	1.404	19.5
79	173	40	12.5	2980.9	2123.7	1.404	19.7
78	174	40.2	12.5	2986.2	2117.7	1.41	19.8
77	175	40.5	12.6	2981.3	2114.9	1.41	20.0
76	176	40.8	12.6	2993.2	2112.2	1.417	20.1
75	177	41	12.6	2997	2106.2	1.423	20.4
74	178	41.3	12.7	2990	2103.2	1.422	20.5
73	179	41.6	12.7	3000.1	2099.8	1.429	20.6
72	180	41.9	12.8	2991.6	2096.0	1.427	20.8
71	181	42.2	12.8	3000.4	2091.7	1.434	20.9
70	182	42.5	12.9	2990.4	2086.9	1.433	20.9
69	183	42.8	12.9	2997.9	2081.4	1.44	20.9
68	184	43.1	13	2986.4	2075.4	1.439	20.9
67	185	43.4	13	2992.6	2069.6	1.446	21.4
66	186	43.8	13	3004.8	2066.1	1.454	21.4
65	187	44.1	13.1	2991	2060.6	1.452	21.8
64	188	44.5	13.1	3001.6	2056.8	1.459	21.8
63	189	44.8	13.2	2986.2	2053.0	1.455	22.9
62	190	45.2	13.2	2995.2	2051.5	1.46	23.1
61	191	45.5	13.3	2978.2	2048.2	1.454	23.6
60	192	45.9	13.4	2966.4	2047.4	1.449	24.0
59	193	46.2	13.4	2967	2044.6	1.451	24.5
58	194	46.6	13.5	2953.4	2044.3	1.445	24.5

Patrones de la circulación atmosférica a escala sinóptica, asociados a las lluvias intensas en el período lluvioso del año

La mejor conformación de patrones representativos de los procesos de intensas lluvias en el período lluvioso del año fue obtenida con la presión atmosférica en superficie y la altura de los geopotenciales en el nivel de 200 hPa, tal y como se aprecia en la Tabla 2. En general, el coeficiente de correlación de Pearson para los patrones alcanzó niveles significativos, principalmente en los primeros tres procesos; fue algo inferior en los patrones 4, 5 y 6, donde llegó a un orden superior a 0,70.

La figura 4 muestra las cartas promedios de P_{sup} , H_{500} y H_{200} del patrón 1 del período lluvioso, así como la distribución espacial de las precipitaciones asociadas a este patrón de circulación, visto en su evolución desde el d-1 hasta el d+1. Tal y

como se aprecia este proceso está asociado a la formación de una zona de bajas presiones en el noroeste del Mar Caribe, la cual se mueve lentamente al este e interactúa con una onda corta en la circulación de los oestes, extendida sobre las inmediaciones de Yucatán.

En 200 hPa se aprecia un patrón difluente que garantiza el proceso de divergencia superior. El proceso establece en superficie marcadas corrientes de componente sur, que arrastran un flujo húmedo del Caribe occidental el cual se superpone al sector oriental de la onda corta en los oestes, lo que estimula el proceso de convección profunda. La distribución espacial de las precipitaciones muestra la influencia de lluvias intensas a lo largo de la costa sur y zona montañosa de la región central de Cuba. El episodio lluvioso de las precipitaciones intensas del 1 de junio de 1988, entró en la composición de este patrón extremo.

Tabla 2. Número de patrones seleccionados, cantidad de casos y valor medio del coeficiente de correlación de Pearson encontrados para cada patrón

Niveles empleados en el procedimiento	Presión atmosférica al nivel medio del mar y la altura de los geopotenciales en los niveles de 500 y 200 hPa. Combinación de mejores resultados: SUP-200hPa	
	NÚMERO DE PATRONES	NÚMERO DE CASOS
1	16	0.89
2	7	0.85
3	13	0.81
4	6	0.71
5	10	0.71
6	3	0.75
Total de casos aislados, SIN PATRONES	7	
Total	62 casos	-

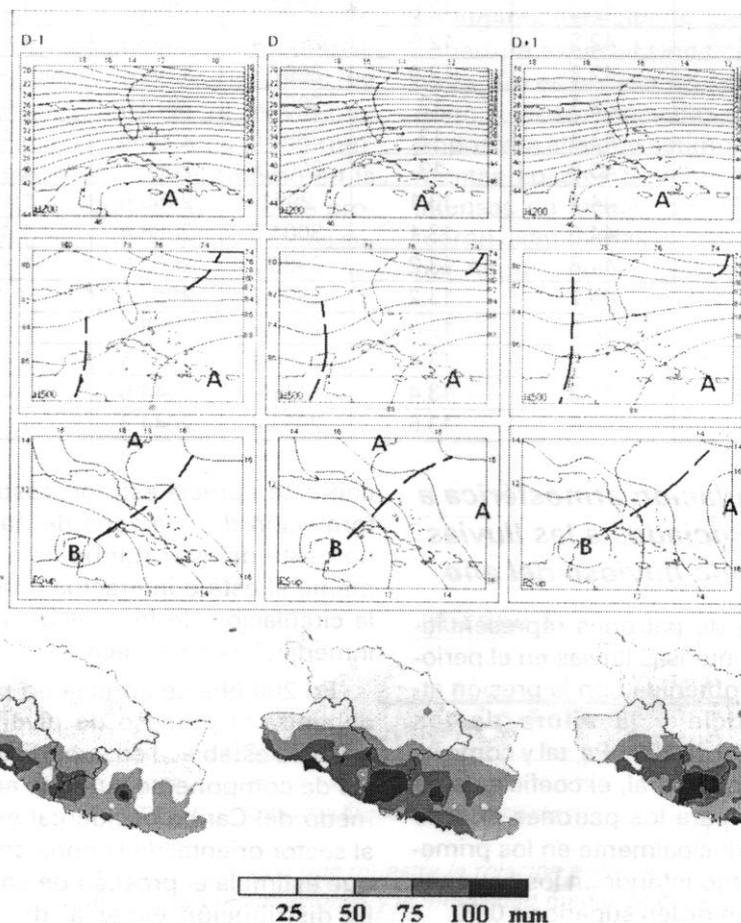


Fig. 4. Patrón de circulación medio no. 1 del período lluvioso del año, asociado a 16 eventos lluviosos ocurridos entre 1978 y 1999.

El patrón de circulación medio no. 2 (Figura 5) describe el típico proceso de vaguada extendida en los oestes en niveles medios, combinado a una profunda hondonada en superficie en las inmediaciones de la Península de Yucatán. La hondonada incentiva una marcada componente del viento de

región sudeste, húmeda e inestable, la cual interactúa con la vaguada extendida en los oestes, y establece marcadas corrientes de componente suroeste sobre la mitad occidental del archipiélago cubano.

En el nivel de 200 hpa —al igual que en el primer patrón— prevalece la difluencia superior, activada por la lengua de la dorsal anticiclónica que se extiende sobre el Caribe central, e interactúa con la rama derecha de la onda en los oestes. Las lluvias fuertes e intensas asociadas a él se concentran hacia el sur del territorio, con los máximos en la provincia de Sancti Spiritus y en el macizo de Guamuhaya conformado por las Alturas de Trinidad y Sancti Spiritus.

El patrón referido en el párrafo anterior está incentivado por fuerte difluencia en la troposfera superior, asociado a corrientes de componente suroeste, las cuales entrelazan su circulación con el sector derecho de la vaguada extendida en niveles medios, tal y como se aprecia en la figura 5. La profunda hondonada en superficie se mantiene con poco movimiento, incentivando el flujo de componente sursureste sobre la mitad occidental de Cuba y en el noroeste del Mar Caribe. Según Arnaldo Alfonso: «[...] estos procesos de vaguada extendida en niveles medios ocasionan lluvias in-

tensas a lo largo del país» (comunicación personal), lo cual se corrobora en los rasgos de este patrón de la circulación atmosférica objetivo delimitado por el proceso de la investigación.

La figura 6 describe las particularidades del patrón no. 3, evidentemente conformado por la presencia de un organismo tropical ciclónico que se desplaza por el noroeste del Mar Caribe y el Canal de Yucatán. En niveles medios se aprecia la estructura de una profunda vaguada en los estes, en cuyo seno se refleja un centro de bajas presiones. El rasgo más característico que ilustra el comportamiento tridimensional del proceso es la celda anticiclónica en el nivel de 200 hPa, la cual garantiza la divergencia superior necesaria para el mantenimiento de la circulación en superficie.

El campo de precipitaciones máximas se concentra también hacia la costa sur de las provincias centrales, incluyendo la parte montañosa de las Alturas de Trinidad y Sancti Spiritus. La circulación del organismo tropical produce el arribo de conglomerados nubosos convectivos, asociados a los

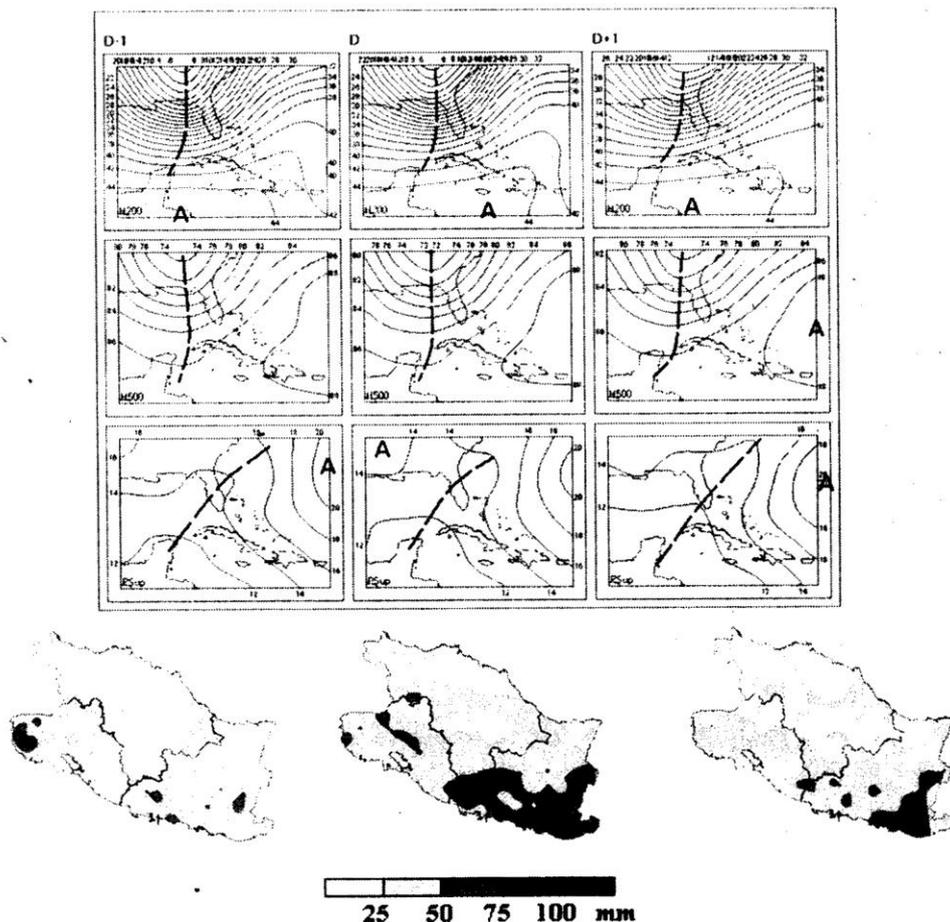


Fig. 5. Patrón de circulación medio no. 2 del período lluvioso del año, asociado a 7 eventos lluviosos.

vientos de componente sur del semicírculo derecho de ese sistema, el cual produce lluvias fuertes e intensas, que desfogan en zonas próximas al litoral y la vertiente sur del macizo montañoso.

El patrón no. 4 del período lluvioso describe un proceso característico del período del otoño (Figura 7). Aquí se aprecia una zona de bajas presiones en la península de Yucatán, la cual comienza un proceso gradual de interacción con una onda corta en niveles medios que se desprende de la circulación de los oestes.

A diferencia del anterior aquí se aprecia que la base de los oestes tienen una latitud mucho más baja, característico de los períodos de comienzo y de final del período lluvioso. La amplia circulación de la zona de bajas presiones produce un flujo de componente sur penetrante, el cual interactúa con el arrastre también del sur de la profunda vaguada de niveles medios. Se producen lluvias fuertes e intensas en la parte montañosa de la región central de Cuba.

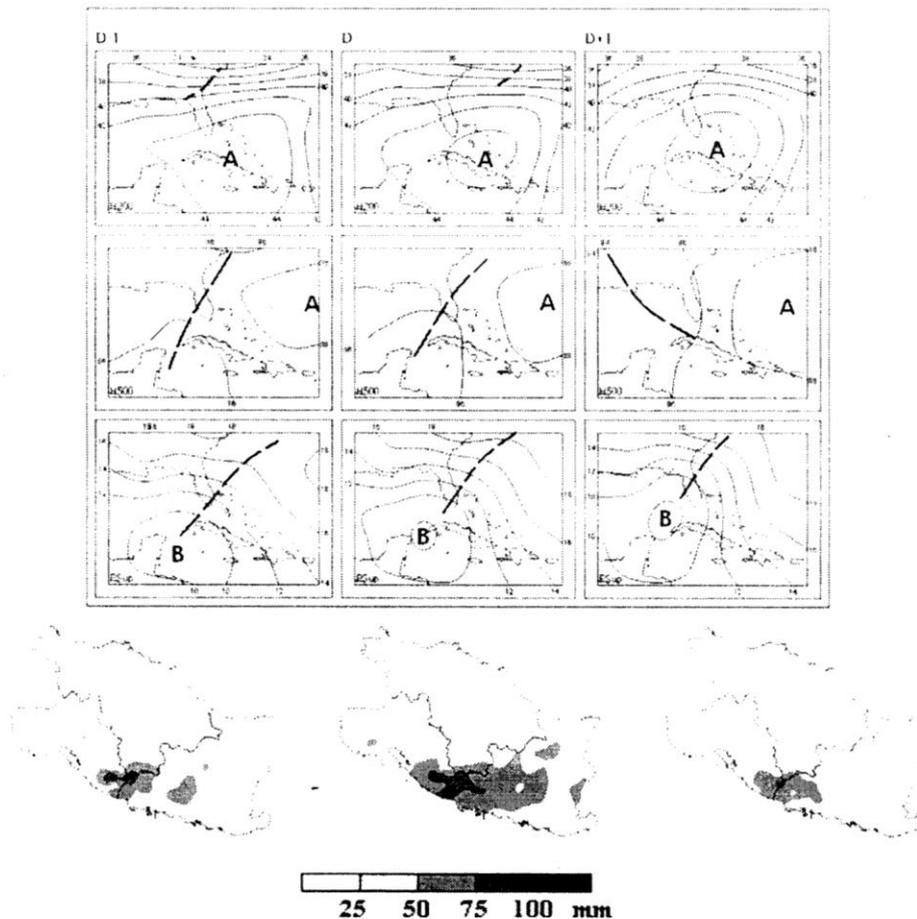


Fig. 6. Patrón de circulación medio no. 3 del período lluvioso del año, asociado a 13 eventos lluviosos ocurridos entre 1978 y 1999.

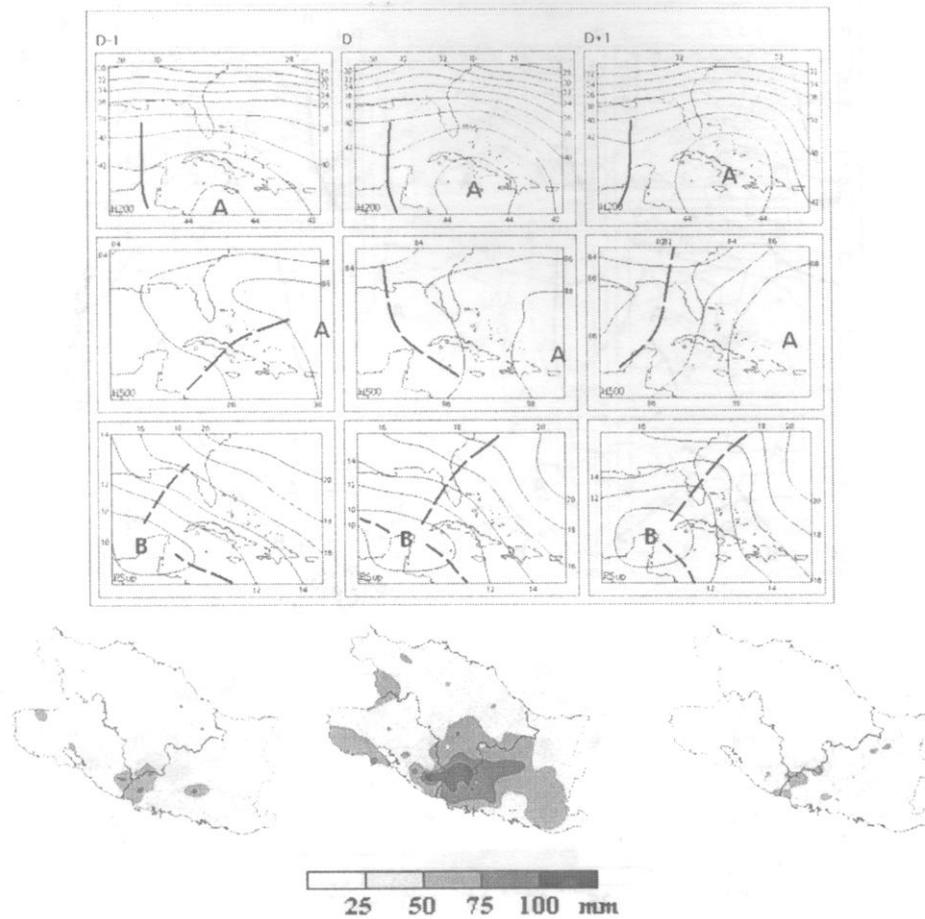


Fig. 7. Patrón de circulación medio no. 4 del período lluvioso del año, asociado a 6 eventos lluviosos ocurridos entre 1978 y 1999.

El patrón 5 se muestra en la figura 8, el cual denota la circulación de un organismo tropical en el noroeste del mar Caribe, el cual inicia un proceso gradual de interacción con los vientos en los niveles medios. Simultáneamente, se profundiza una onda corta en 500 hPa y comienza a interactuar con la circulación en superficie, para el establecimiento de corrientes de componente suroeste que produce un lento movimiento del sistema al nortenordeste.

En niveles altos se aprecia la celda anticiclónica al este del sistema en superficie, la cual garantiza la divergencia superior necesaria para conservar la vida del disturbio en superficie. Este patrón adopta una configuración típica para el inicio de la recurva de un organismo tropical en el noroeste del Caribe, como fue el caso del Lili en 1996, que integra este tipo de patrón. Las lluvias son fuertes en el territorio, con los núcleos más intensos en la parte sur y montañosa del territorio.

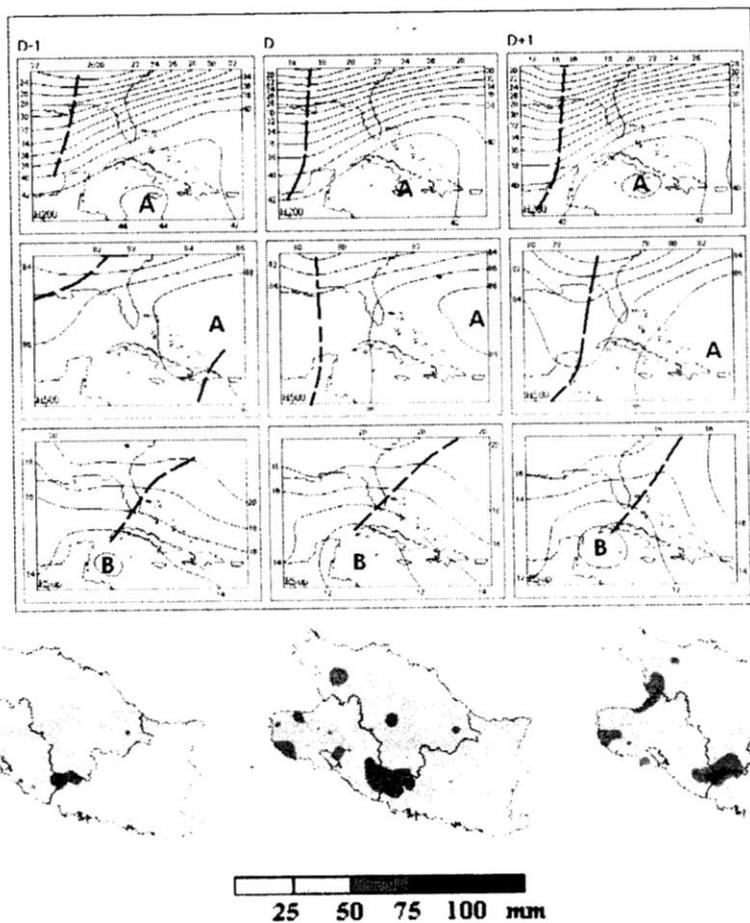


Fig. 8. Patrón de circulación medio no. 5 del período lluvioso del año, asociado a 10 eventos lluviosos ocurridos entre 1978 y 1999.

Por último el patrón no. 6 (Figura 9) caracteriza un proceso de circulación incentivado por los mecanismos circulatorios de los niveles medios y altos de la troposfera. Este patrón asociado a una onda corta en niveles medios muestra el desplazamiento al este del sistema sobre la parte central del Golfo de Méjico, en dirección a la Península de Yucatán, profundizándose en superficie una hon-

donada en el plazo d+1 sobre el entorno de la región central de Cuba, proveniente del sudeste del golfo. Las precipitaciones se aprecian sobre la parte occidental del territorio y se observan núcleos fuertes de lluvia en los límites entre Villa Clara y Cienfuegos y hacia la parte montañosa del centro del país.

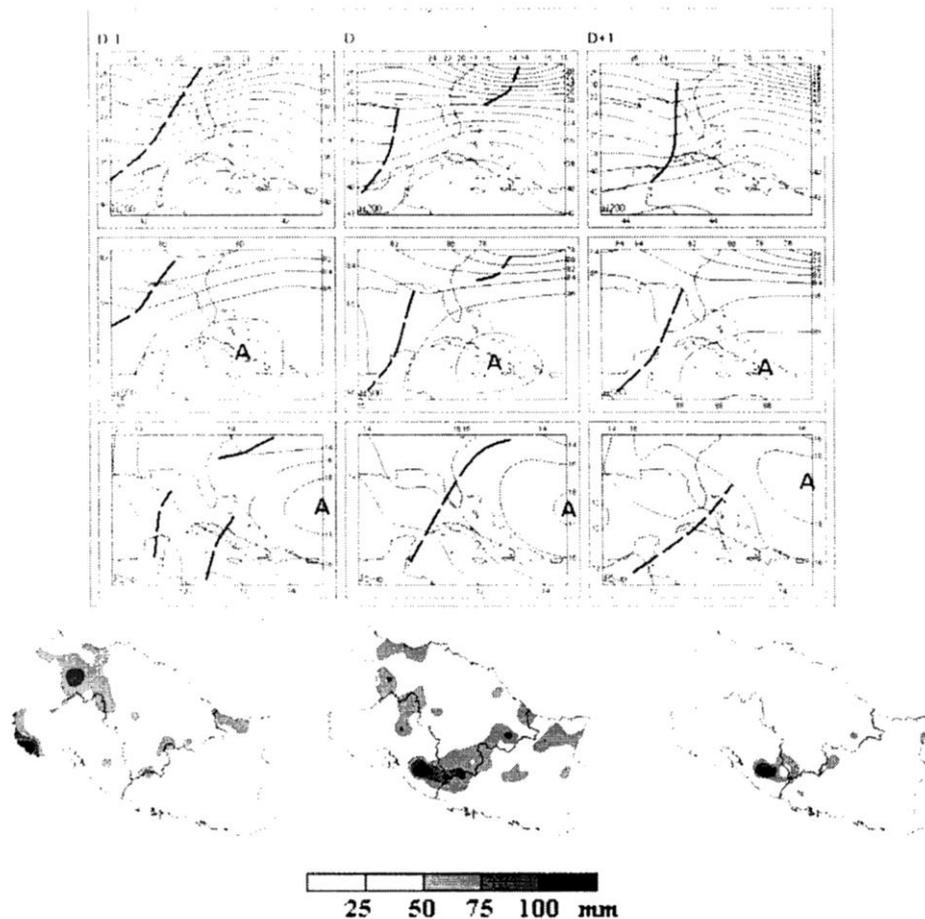


Fig. 9. Patrón de circulación medio no. 6 del período lluvioso del año, asociado a tres eventos lluviosos ocurridos entre 1978 y 1999.

Conclusiones y recomendaciones

- La investigación realizada con-los datos de la red de precipitaciones, representativos en la escala mesobeta, permitió definir un criterio para la evaluación de los episodios de lluvias intensas en la región central de Cuba.
- La clasificación de la muestra a partir de un procedimiento objetivo hizo posible la aplicación de la técnica de clasificación objetiva que vincula los campos mesoescales y los patrones de la circulación atmosférica. El procedimiento diseñado por Lund, basado en el análisis de las matrices de correlación entre los campos sinópticos considerados, y el empleo simultáneo del análisis temporal en la técnica de selección de los PSO, permitió elaborar una metodología para la clasificación de patrones generadores de lluvias intensas en el período lluvioso del año.
- Los patrones encontrados en el período lluvioso del año satisfacen a criterio de los autores, las expectativas del especialista experimentado en el manejo de situaciones sinópticas que incentivan la génesis de los procesos que producen lluvias intensas en la región central de Cuba durante el período lluvioso. Se puede afirmar, que su análisis trae orden y simplicidad, y permite interpretar mejor las particularidades de los procesos atmosféricos que producen lluvias intensas en la región central de Cuba. La simultaneidad de la información en los tres niveles troposféricos (bajos, medios y altos), así como la continuidad temporal de los procesos (en el entorno de ± 24 horas), dan una imagen integral del mecanismo de la circulación que engendra el proceso de lluvias intensas.

Bibliografía

- Alfonso, A., L. Naranjo, M. Fernández, J. Bueno y J. López (1990): «Bajas Frías superiores y tormentas locales severas. Análisis del caso 29-30/7/1981». En *Revista Cubana de Meteorología*, vol. 3, no.1, 87-100 pp.
- Amaro, L. (1984): «Investigación aerológica de la capa fronteriza en la Isla de Cuba». Tesis en opción al grado científico de Candidato a Doctor en Ciencias Geográficas, Odessa, 230 pp.
- Durán, C., S. Barcia y G. Orbe (2004): «Sistema MAP para el análisis de los mapas de precipitación», Software, Trabajo presentado en el xv Forum Provincial de Ciencia y Técnica, Cienfuegos, inédito.
- Fernández A. (1987): «Métodos sinópticos-estadístico de pronóstico de temperaturas extremas y precipitaciones para el territorio de Cuba» Resumen de tesis presentada para optar por el grado científico de Doctor en Ciencias Geográficas, Odessa, URSS, 261 pp.
- Fernández A. y Y. Díaz (2005): *Catálogo de los Procesos Sinópticos en el Archipiélago cubano, en el período 1979-1993*, Imprenta GeoCuba, 168 pp. ISBN: 959-02-0355-8.
- Glanh, H. R. y D. A. Lowry (1972): «The use of Model Output Statistic (MOS) in the objective weather forecasting». *J. Appl. Met.*, II (8): 1203-1211.
- González C., M. Ballester y A. Ortega (INÉDITO): «Clasificación de las diferentes características de la circulación general de la atmósfera, asociadas a la actividad ciclónica tropical en la región Atlántica y en particular, el mar Caribe, para su predicción estacional». Informe de resultado científico aprobado por el Consejo Científico del Instituto de Meteorología, mayo 2004, 22 pp. (Biblioteca del Instituto de Meteorología).
- Harman, J. R., and Winkler, J. A. (1991): «Synoptic climatology: Themes, applications and prospects», *Physical Geography* 12, 220-230 pp.
- Hernández A. (1999): «Metodología para la predicción a mediano plazo de las precipitaciones en el período poco lluvioso en Cuba». Tesis para optar por el grado académico de Master en ciencias meteorológicas, Ciudad de La Habana, 1999 (Biblioteca del Instituto de Meteorología).
- Kirchhofer W. (1974): Classification of European 500 mb patterns. *Schwiezerische Meteorologische Anstalt, Institut Suisse de Meteorologie, Zurich* 43: 1-16.
- Klein, W. H. Y B. M. Lewis (1959): «Objective prediction of five day mean temperature during winter». *J. of Meteorol.*, 16 (11): 672-682.
- Howell, W. E. (1953): «Study of the rainfall of central Cuba». *Journal of Meteorology*, vol. 10, 270-278 pp.
- Lapinet, B. (1988): «La circulación atmosférica y las características espacio temporales de las lluvias en Cuba». Tesis para optar por el grado científico de Candidato a Doctor en Ciencias Geográficas, Camagüey, Cuba, 132 pp.
- Lund, I. A. (1963): «Map-patterns classification by statistical methods». *Journal of Applied Meteorology* 2, pp. 56-65.
- Llanes M. T. (1999): «Metodología para la predicción a mediano plazo de las precipitaciones en el período lluvioso en Cuba». Tesis para optar por el grado académico de Master en ciencias meteorológicas, Ciudad de La Habana, 1999 (Biblioteca del Instituto de Meteorología).
- Lecha, L., L. Paz, y B. LAPINEL (1994): «El Clima de Cuba». En Editorial Academia, 186 pp.
- Miller, R. G. (1962): «Statistical Prediction by Discriminant Analysis». *Meteorological Monographs*, A.M.S., vol. 4, no. 25, 54 pp.
- Orlanski, I. (1975): «A rational subdivision of scales for atmospheric process», *Bull. American Meteorological Society*, 56(5): 527-530.
- Rubiera, J. M. (1990): «Pronóstico de Precipitación a Plazo Medio en la Temporada Invernal para Cuba». Tesis para optar por el grado científico de Doctor en Ciencias Geográficas, Ciudad de La Habana, 112 p.
- Semple, O. K. and M. B. Green (1984): «Classification in human geography», in G. L. Gaile and C. J. Willmott (eds), *Spatial Statistics and Models*, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, 55-79 pp.
- Turner, M. G., V. H. Dale, and R. H. Gardner (1989): «Predicting across scale: theory development and testing», *Landscape Ecology* 3, 245-252 pp.
- Yarnal, B. (1993): «Synoptic climatology in environmental analysis». Belhaven Press. London and Florida, 195 pp.
- Yarnal, B., A. C. Comrie, F. BRENT and D. Brown (2001): «Developments and prospects in Synoptic Climatology». *International Journal of Climatology*, vol. 21:1923-1950, 28 pp.