CLIMATOLOGÍA SINOPTICA DE LA DISTRIBUCIÓN MESOESCALAR DE LAS PRECIPITACIONES, EN VARIOS POLÍGONOS DEL TERRITORIO DE CUBA

Autores: Antonio de J. FERNANDEZ GARCIA, Sinaí BARCIA SARDINAS, Guillermo P. ORBE ARENCIBIA, Miriam T. LLANES MONTEAGUDO, Miguel GARCIA RUIZ Y Daniela ARCIA LLERENA.

Resumen:

En el trabajo se lleva a cabo un estudio de climatología sinóptica vinculado con los patrones de circulación atmosféricos que influyen sobre Cuba, que establece el vínculo entre los campos de precipitaciones diarios y los procesos atmosféricos conocidos cómo Procesos Sinópticos Objetivos, -PSOs- que son definidos en la clasificación sinóptica objetiva de Fernández y Díaz (inédito), para el período 1978-1999 y aplicada con los datos de rejilla a 2.5 grados del NCEP-NCAR. Se tomó además una red de estaciones pluviométricas, en varios polígonos del país, perteneciente al Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. Los resultados obtenidos muestran el nexo existente entre los patrones de circulación previamente establecidos por la clasificación, y la distribución mesoescalar de las precipitaciones, haciendo hincapié a manera de ejemplo, en los patrones más frecuente y en los que generan situaciones meteorológicas extremas. Se discute las potencialidades que tiene la metodología propuesta para ser empleada en estudios relacionados con la variabilidad climática, el pronóstico objetivo en el plazo medio, la biometeorología y otros escenarios de aplicaciones climáticas

1. Introducción

La climatología sinóptica es una rama integradora de la meteorología, donde se produce la convergencia entre el enfoque sinóptico y el consecuente comportamiento de las variables climáticas indisolublemente ligado a éste. Uno de los objetivos esenciales de las clasificaciones sinópticas manuales o automáticas, es el establecimiento y conocimiento sobre el nexo que se establece entre fenómenos de diversas escalas, Yarnal (1993), donde los sistemas sinópticos dominantes en interacción con las condiciones físico-geográficas de una región, determinan la variedad de condiciones atmosféricas locales. Según Martín Vide (1991), ha de entenderse que una determinada situación sinóptica afectando a todo el país produce unos tipos de tiempo –en plural- que pueden diferir notablemente de unos lugares a otros.

La variable meteorológica en Cuba de mayor contraste espacial y temporal es la precipitación. Los estudios realizados por Trusov *et. al.* (1983), muestran como la suma de las precipitaciones en el período lluvioso (mayo a octubre), representan en la mayor parte del territorio nacional entre el 75 y 90% del total de lluvia anual. Las condiciones sinópticas en esta época del año, están asociadas con la ocurrencia de fenómenos meteorológicos que incentivan la convección, como es el caso de las vaguadas extendidas en niveles medios a comienzos del período lluvioso, las ondas tropicales y la influencia de bajas frías en la troposfera superior. El calentamiento diurno y la formación de la zona de confluencia de las brisas, Fernández y Díaz (inédito), constituyen un factor adicional que en condiciones de cierta inestabilidad atmosférica estimula la convección y ocasiona lluvias significativas en los horarios de la tarde y primeras horas de la noche.

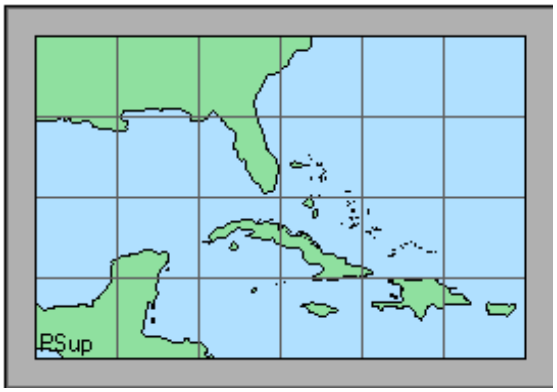
La distribución espacial de los análisis de las lluvias acumuladas en períodos de 24 horas a lo largo de la isla, presenta por lo general un marcado contraste espacial. En una tarde normal de verano pueden ocurrir precipitaciones locales fuertes que pueden ser superiores a los 30, 40 y 50 mm, Alfonso y Florido (inédito), e incluso producirse situaciones extremas con acumulados en localidades aisladas superiores a 100 mm, en

períodos relativamente cortos de tiempo. La red de estaciones pluviométricas del Instituto de Meteorología no satisface los requerimientos para estudios mesoescalares de esta envergadura, y es necesario acudir a redes de más densidad.

El presente trabajo científico tiene como objetivo ilustrar la relación que existe entre los patrones de circulación, y la distribución mesoescalar de las precipitaciones diarias, caracterizada por la clasificación sinóptica objetiva propuesta por Fernández y Díaz (inédito). Este trabajo da entrever la importancia de esta técnica para el estudio climatológico – sinóptico de los procesos de circulación atmosféricos. El análisis de la distribución espacial de las precipitaciones, asociadas con diversos patrones de circulación, introduce la posibilidad de estudiar los patrones de la circulación atmosférica y sus consecuencias sobre diversas regiones físico-geográficas del país. Esta singular herramienta da cobertura a la realización de investigaciones dirigidas a la caracterización de los procesos de la circulación atmosférica en interacción con el régimen de lluvias y de otras variables meteorológicas.

2. Materiales empleados para el desarrollo de la investigación

En el trabajo de investigación fueron empleadas las bases de datos del NCEP-NCAR en el período 1978-1999 para un total de 22 años, tomando cómo ejemplo el bimestre septiembre-octubre. Las variables seleccionadas fueron H1000 (altura en el nivel de 1000 hPa, expresada en metros geopotenciales), H500 (altura en el nivel de 500 hPa, expresada en metros geopotenciales), TT85 (Temperatura en el nivel de 850 hPa, expresada en grados Kelvin), TT2m (Temperatura en la superficie del suelo a 2 m de



altura, expresada en grados Kelvin). La fuente de datos utilizada empleó un paso de

Fig. 1 Región estudiada en la investigación

rejilla de 2,5 grados, para una ventana comprendida entre los 15-35° Latitud Norte y entre los 65-95° Longitud Oeste.

En la Fig.1 se muestra el entorno geográfico del área seleccionada, en donde el archipiélago cubano se ubica en la parte central del área comprendida. Todos estos datos representativos de las condiciones atmosféricas a escala sinóptica, se corresponden con el horario sinóptico de las 1200 UTC. Los datos fueron leídos mediante un software de lectura de los datos del NCEP-NCAR. Los datos de precipitación que fueron empleados para llevar a cabo la investigación, comprenden 3 polígonos de las regiones occidental y central de Cuba. Primero, el territorio de las provincias de la Habana y Ciudad de La Habana, el segundo la provincia de Cienfuegos y el tercero la provincia de Sancti-Spíritus, para un total de 180 equipos. En la Fig. 2 se muestra el territorio conformado por los 3 polígonos del país.

Se copiaron, almacenaron, organizaron y procesaron los datos diarios de lluvias para un período de veinte años de los pluviómetros seleccionados. La red escogida presenta la particularidad de responder a la escala mesobeta de Orlansky (1975), ya que las distancias entre pluviómetros en la mayoría de los equipos son de un orden inferior a 10 kilómetros de distancia, presentando un valor de densidad que la hace muy confiable.

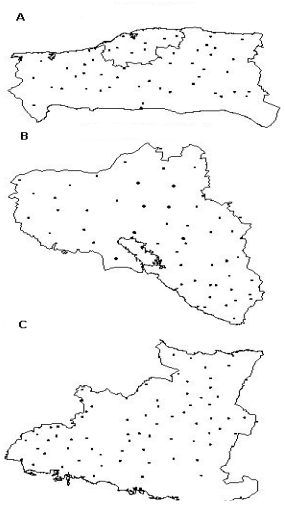


Fig.2.-Red pluviométrica escogida perteneciente al Instituto de Recursos Hidráulicos. Provincias Habaneras (A), Cienfuegos (B) y Sancti Spíritus (C).

3. Metodología científica empleada en la investigación

Cálculo de las iteraciones entre las ternas de situaciones sinópticas, evaluando el valor de la distancia entre ternas, dada por la fórmula general:

$$\text{Dist}\ (_k) = (\Sigma_{i=1,\,m}\ \Sigma_{j=1,\,n}\ |\ \mathbf{Fmod}\ (_{i,\,j}) - \mathbf{Fdat}\ (_{i,\,j,\,k})\ |\ )\ /\mathbf{m * n}$$

Donde Fmod(i,j,k) es la matriz de datos de cada iteración de las variables empleadas PSuv y Z500, y Fdat(i,j,k) es el banco de los campos diarios incluidos vara la obtención de los PSO. El subíndice i corresponde con las filas (latitud) y el subíndice j corresponde con las columnas (longitud), de las matrices de datos de la presión atmosférica en superficie al nivel medio del mar y de la altura Z en el nivel de 500 hpa. “k” representa el índice que cuenta el número de iteraciones de cada PSO. El número de filas de la matriz se define por “m” y el de columnas por “n”.

Proceso de iteraciones continuas de cálculo de distancias, con nivel de significación estadística de α <= 0.05. Determinación del conjunto de iteraciones de la Dist. (k) para la cual se cumple la condición a y cálculo de S y S1 para la determinación de los Grupos optimizados que integran los PSO. Donde S1 Y S2 son elementos integradores de la llamada función discriminante de Miller, y son calculados mediante las fórmulas:

$$S_1(x_p) = \Sigma_{g=1,G}\ \Sigma_{k=1,ng}\ (x_{pgk} - x_{pg.})^2 \qquad S_2(x_p) = \Sigma_{g=1,G}\ n_g\ (x_{pg} - x_{p.})^2$$

Donde $(Xpgk - Xpg)^2$ representan las diferencias cuadráticas entre la media interior de cada Grupo PSO y c/u de los valores observados de Psup y Z500. G es el número de PSO y S1(Xp) representa la suma total de las desviaciones INTRAGRUPOS de todos los PSO. El término $(x_{pg} - x_{p.})^2$ representa las diferencias entre las “Grandes medias de cada PSO” y la media total de la muestra analizada, ponderada por el número de casos de PSO, mientras que $S_2(X_p)$ da una media de las desviaciones INTERGRUPOS.

Se calcula el cociente $S_2(x_p)$ / $S_1(x_p)$, para todas las iteraciones calculadas, y se selecciona aquella donde se MAXIMIZA el cociente $S_2(x_p)$ / $S_1(x_p)$. De esa manera se seleccionan los Grupos de la clasificación que conforman los PSO.

Se obtiene el campo promediado de los campos de Psup y Z500, correspondientes con el d-1, d y d+1. Se calcula, además, la frecuencia relativa de cada PSO en el bimestre y la relación de días individuales que forman parte de los PSO.

En el proceso de clasificación no necesariamente entran todos los casos que integran la muestra analizada. Aquellas "ternas" que no formaron parte de uno de los PSO, se corresponden en general con situaciones meteorológicas extremas. También, aquellos PSO de frecuencia muy baja, están en correspondencia con situaciones meteorológicas poco comunes o extremas, se adoptó el criterio de que cuando la Frecuencia del PSO < 1.0 %, se consideró a cada uno de los casos individuales excluidos de los PSO.

Para el conjunto de fechas perteneciente a cada uno de los PSOs fue calculada la frecuencia relativa de la ocurrencia de precipitaciones y la intensidad media para cada uno de los equipos pluviométricos perteneciente a la red seleccionada, Fig. 2. Se utilizó el Sistema de Información Geográfica (SIG), MAPINFO versión 5.0, para la digitalización de las costas, contornos provinciales y municipales, trabajando en una escala de 1/250 000. Estos datos fueron asentados de forma automatizada y analizados con la aplicación del SURFER versión 7.0 para realizar la distribución espacial de la precipitación. El método de interpolación utilizado fue el Kriging con ajuste de variograma lineal y efecto de nodo cero.

3 Análisis y discusión de los principales resultados

3.1 *Ejemplo del bimestre septiembre-octubre*.

En el bimestre septiembre – octubre comienza a producirse los primeros vestigios del otoño, con la irrupción de las primeras masas de aire que traen consigo influencia de aire continental, menor influencia dela alta subtropical del Atlántico norte y mayor penetración en el suroeste del caribe de la zona intertropical de convergencia. Bimestre en que las configuraciones sinópticas son más heterogéneas e híbridas, influyendo procesos de denotan matices invernales o de características puramente tropicales

Tabla 1 Número de casos, Frec. y período Retorno de los PSOs en el bimestre septiembre - octubre

PSOs	Casos	Frec.(%)	Ret. (Días-bim)
1	233	17.4	5.8
2	181	13.5	7.4
3	140	10.4	9.6
4	102	7.6	13.2
5	93	6.9	14.4
6	86	6.4	15.6
7	72	5.4	18.6
8	66	4.9	20.3
9	59	4.4	22.7
10	57	4.2	23.5
11	48	3.6	28.0
12	47	3.5	28.6
13	41	3.1	32.7
14	38	2.8	35.3
15	26	1.9	51.6
16	23	1.7	58.3

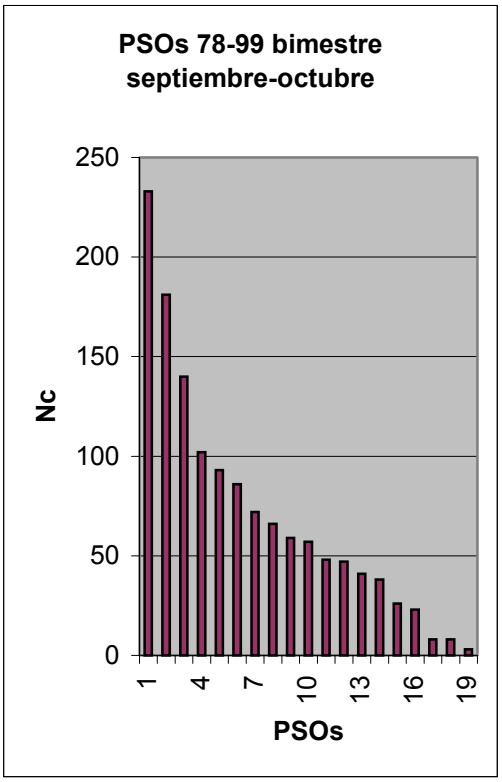


Fig. 3 Histograma de la distribución de los PSOs en el bimestre sptiembre –octubre.

Este es uno de los bimestres más dinámicos del año, y suelen presentarse patrones de circulación que denotan la influencia de las condiciones otoñales que caracterizan el tránsito entre el verano y el otoño. En esta época del año, comienza a desplazarse la circulación de los oeste, hacia latitudes tropicales, con la irrupción de los anticiclones continentales que se establecen sobre el sudeste del continente americano, Cuba y el noreste del mar Caribe.

La Tabla 1 muestra los resultados de la aplicación de la clasificación de Fernández y Díaz (inédito) al bimestre seleccionado correspondiente con los meses de septiembre y octubre. En el proceso de clasificación se adoptó el criterio de que la frecuencia de los grupos fuera conformada con un porcentaje igual o mayor al 1%, y el resto de los casos no incluidos formaron parte de las situaciones que no fueron clasificadas, correspondiéndose con situaciones meteorológicas extremas. Se aprecia además el período de retorno, cuyo rango de oscilación oscila entre apenas unos 5 días y aquellos procesos que se presentan una vez por bimestre cómo promedio.

La Fig. 3 ilustra el histograma de frecuencia de los PSOs del bimestre analizado. Tal y como se observa la frecuencia disminuye en los primeros grupos con rapidez, aunque hacia la cola se aprecia una disminución gradual, denotando la estructura típica de una función exponencial negativa. Cada PSO, denota un patrón de circulación del bimestre, yendo desde aquellos que tienen una frecuencia elevada, hasta procesos con frecuencia de ocurrencia relativamente pequeña. El comportamiento de la distribución identifica cómo los patrones de circulación están caracterizados tanto por estructuras típicas, frecuentes, así cómo por procesos que van presentando gradualmente menor probabilidad de ocurrencia, hasta aquellos que identifican condiciones sinópticas extremas, -no incluidas en los grupos que conforman los PSOs-. A manera de ejemplo, se examinaran algunos de los PSOs, y junto a ellos el comportamiento de la distribución espacial de las precipitaciones asociadas.

Proceso de mayor frecuencia del bimestre septiembre-octubre, caracterizado por la influencia de las altas presiones oceánicas cuyo centro se posiciona más cercano al continente y a la vez algo mas retirado al norte con relación a Cuba. En niveles medios la celda subtropical adopta la posición típica muy cercana a la península de La Florida. La Fig. 4 representa el PSO descrito.

Con relación a las precipitaciones se aprecian que los núcleos de mayor probabilidad se ubican hacia la parte centro-sur de los diferentes polígonos analizados, inducido por el hecho de que la convergencia de las brisas se produce más hacia el sur,

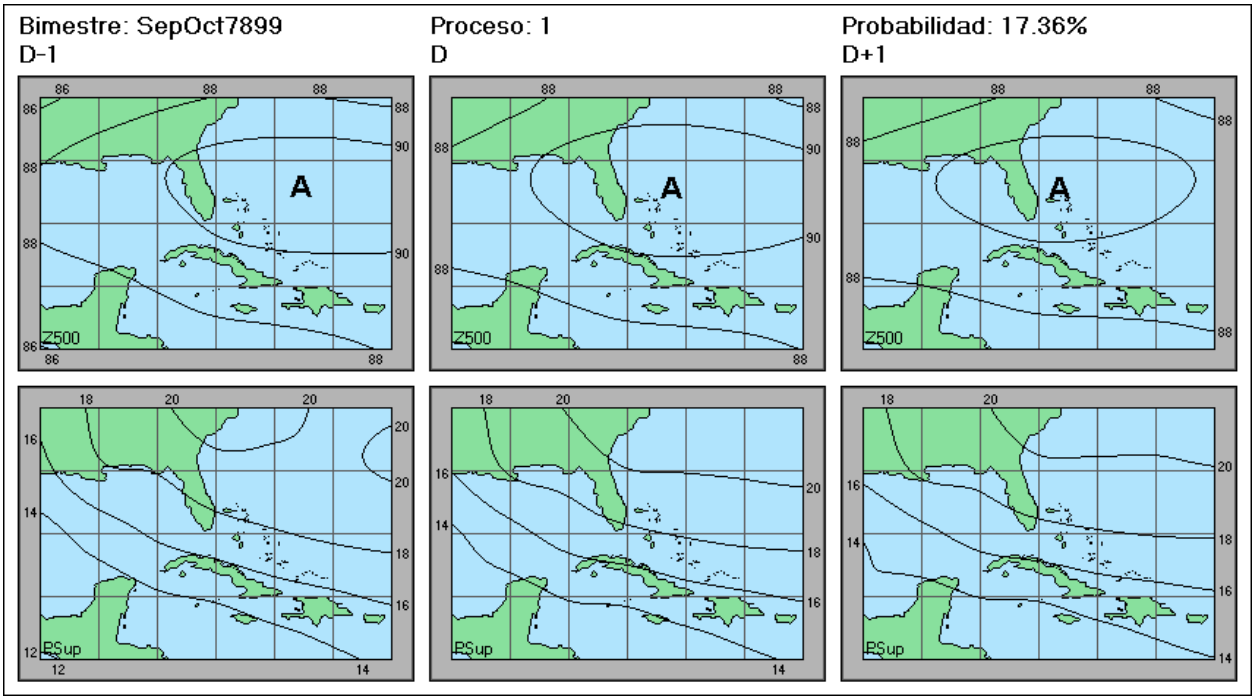


Fig. 4 Proceso Sinóptico Objetivo 1 del bimestre septiembre-octubre.

a causa de la penetración acentuada de las corrientes del este sobre Cuba. La Fig. 5 adjunta ilustra el comportamiento de las precipitaciones asociadas con este proceso.

Las cartas ilustran la distribución espacial de las precipitaciones asociada con el correspondiente PSO, indicando las particularidades mesoescalares medias del campo de precipitaciones asociado con el proceso sinóptico referido. Esta información es muy valiosa, para conocer cómo se produce el proceso de interacción entre los procesos tipos de circulación y el patrón de precipitaciones asociado. Visto desde el punto de vista del pronosticador presenta también mucha utilidad: los patrones de distribución espacial de precipitaciones constituyen una herramienta valiosa para el pronóstico de las precipitaciones a corto y mediano plazo, teniendo en cuenta que en la actualidad los campos de presión en superficie y H500 son pronosticados hasta las 120 horas, con un nivel aceptable de confiabilidad.

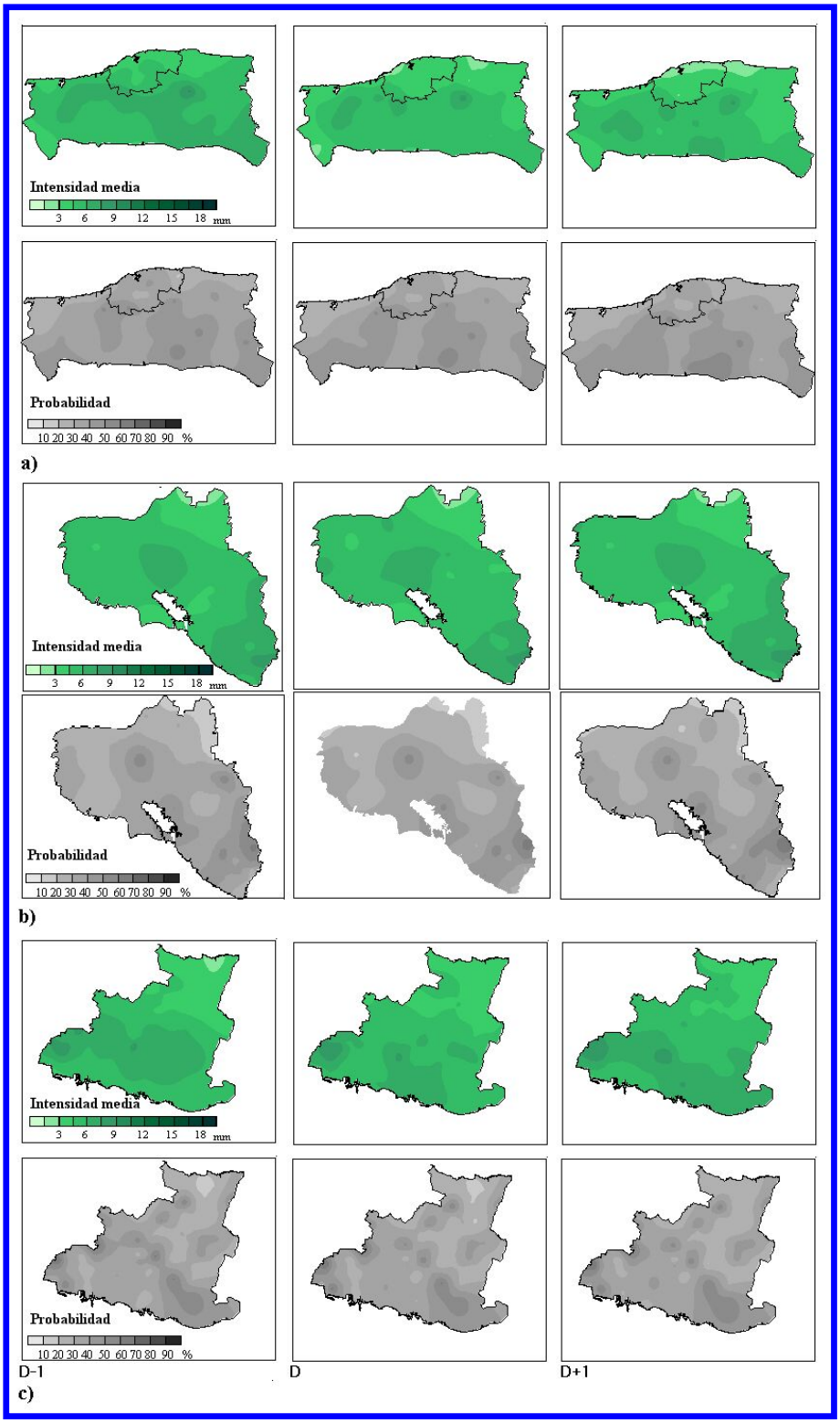


Fig. 5 Distribución espacial de la probabilidad e intensidad media de las precipitaciones en 3 polígonos del país: provincias Habaneras (a), Cienfuegos (b) y Sancti Spíritus (c), asociado con el PSO 1, bimestre septiembre-octubre.

Se aprecia seguidamente un patrón típico de la segunda quincena de septiembre, límite con los primeros días de octubre. Desplazamiento de una onda tropical hacia el oeste que comienza a interactuar con la profundización de una onda corta en los oeste en niveles medios, (Fig. 6), cuyo eje se extiende sobre el sudeste del golfo de México y el canal de Yucatán. Al paso de la onda se incentiva la actividad de precipitaciones, que afecta la parte centro-sur de los polígonos analizados, muy específicamente el día “d”, en el cual se produce el acercamiento del sistema y la expansión de la onda corta referida. La distribución espacial de las precipitaciones asociada con este PSO se aprecia en la Fig. 7.

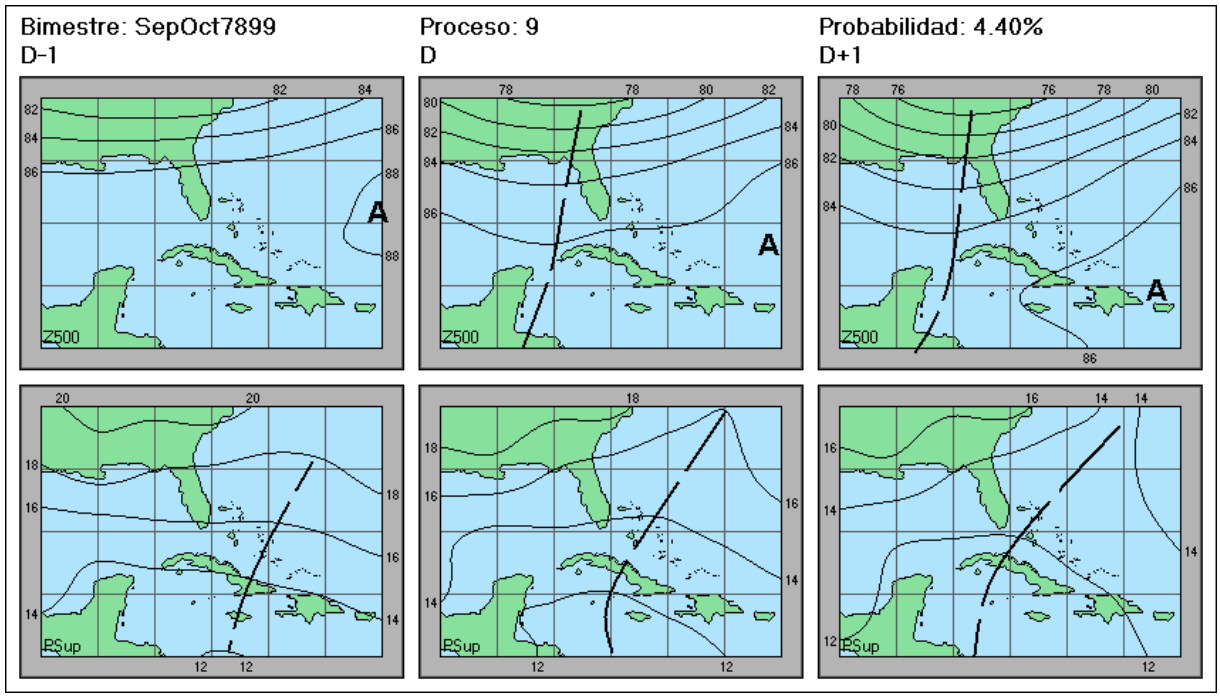


Fig. 6 Proceso Sinóptico Objetivo 9 del bimestre septiembre-octubre.

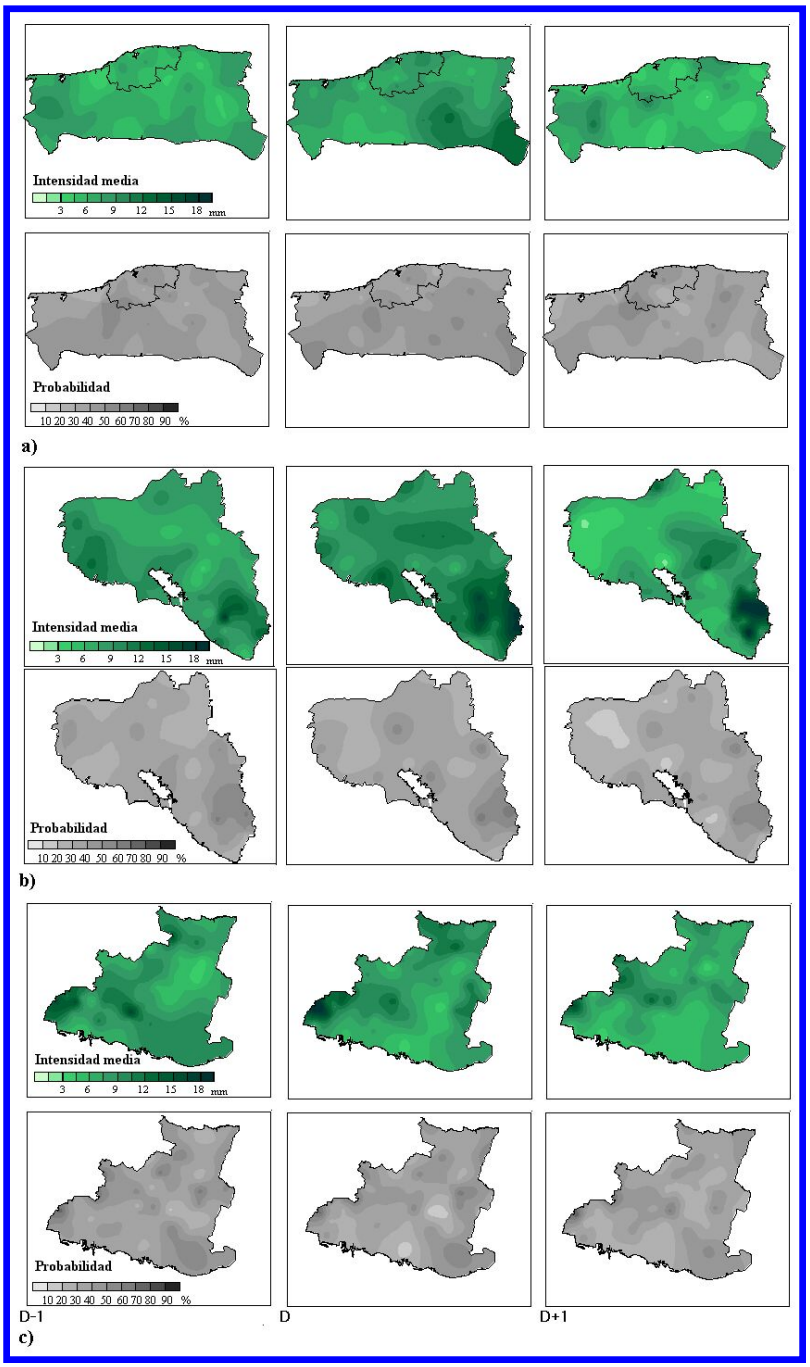


Fig. 7 Distribución espacial de la probabilidad e intensidad media de las precipitaciones en 3 polígonos del país: provincias Habaneras (a), Cienfuegos (b) y Sancti Spíritus (c), asociado con el PSO 9, bimestre septiembre-octubre.

3.2 La aplicación de los PSOs como herramienta objetiva para el estudio de la climatología – sinóptica.

La aplicación de los PSOs al período bimestral septiembre-octubre, ejemplificado en el presente trabajo, evidencia la posibilidad de realizar estudios e investigaciones dirigidas a conocer el comportamiento de las particularidades mesoescalares de las variables meteorológicas a lo largo del territorio nacional. En el estudio de caso analizado, se muestra el comportamiento de los patrones mesoescalares de precipitación con relación a dos del bimestre referido, apreciándose los contrastes espaciales de la probabilidad e intensidad media de las precipitaciones para 3 regiones del país.

Estos estudios son de valor inigualable para profundizar en los mecanismos de génesis de las precipitaciones en las diversas regiones del país, lo cual es incluso de utilidad para los estudios climáticos vinculados con la sequía y la ocurrencia de episodios extremos que producen acumulados significativos de precipitaciones. También suelen ser de mucho interés para la predicción a corto y mediano plazo. En la actualidad existe una tendencia bien conformada en la literatura internacional, que está dirigida al desarrollo de sistemas de interpretación estadística acoplados a la salida de los modelos numéricos, hoy en día esta técnica puede ser explotada mediante la aplicación de sistemas analógicos que se monten automáticamente sobre la salida de los modelos referidos.

El presente artículo centra su valor ante todo en su aporte metodológico, siendo de fácil generalización para la conformación de un estudio integral de las variables meteorológicas a lo largo del territorio insular. El enfoque climatológico del problema enmascara la fenomenología de los procesos atmosféricos que interactúan con la diversidad de tipos de ecosistemas que conforman la isla, integrados por la amplia diversidad de las particularidades físico-geográficas de la isla.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La distribución de las precipitaciones asociadas a los PSOs analizados en el bimestre, analizado, muestra los rasgos generales de los patrones de distribución mesoescalar de la intensidad media y de la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones. En el caso de los patrones más frecuentes, representativos de los procesos típicos de circulación que gobiernan en cada período, se manifiestan las distribuciones típicas del régimen de precipitación. Los patrones de baja probabilidad describen configuraciones de los campos de precipitación de mayor contraste espacial y temporal.

Las distribuciones que ilustran el comportamiento de las precipitaciones asociadas a cada uno de los PSOs, constituyen una herramienta importante para el trabajo de meteorólogos y climatólogos. Los patrones de distribución de lluvia, son de utilidad en la elaboración de pronósticos mesoescalares –locales-, pueden servir de guía para la mejor comprensión de la interacción que se produce entre los sistemas atmosféricos dominantes y el comportamiento de las precipitaciones. Desde el punto de vista climático también son de gran utilidad, al constituir un mecanismo indirecto que ayuda a conocer los procesos interactivos generales de causa – efecto, y profundizar sobre la fuerte variabilidad espacial y temporal que presentan los totales de lluvia diarios, aspecto poco estudiado aun y de gran connotación social y económica respectivamente.

Bibliografía consultada

ALFONSO, A. Y FLORIDO, A: “Grandes precipitaciones en Cuba ”. (Inédito) Trabajo discutido en el Consejo Científico INSMET. 1992

FERNÁNDEZ A. y Y. DÍAZ (inédito): “Catálogo de los Procesos Sinópticos en el Archipiélago cubano”, (inédito), Editorial A.C.C, 171 pp.

MARTÍN-VIDE, J (1991): “Mapas del tiempo: fundamentos, interpretaciones e imágenes de satélites ”.Oikos-tau S.A, Vilassar del Mar, Barcelona-España, 170 pp.

ORLANSKI, I. (1975): “A rational subdivision of scales for atmospheric prosses”, Bull. Amer. Meteorol. Soc. 56(5): 527-530.

TRUSOV,I.I., IZQUIERDO, A. y DÍAZ, L.R (1983): “Características espaciales y temporales de las precipitaciones atmosféricas en Cuba”. Edit. A.C.C., La Habana. 150 pp, 10 mapas.

YARNAL, B (1993): “Synoptic climatology in environmental analysis”. Belhaven Press. London and Florida, 195pp