

Título: TENDENCIA DE LOS PATRONES DE CIRCULACIÓN Y SU INFLUENCIA EN LAS PRECIPITACIONES EN CIENFUEGOS EN EL BIMESTRE MAYO-JUNIO

Autores: Sinai Barcia Sardiñas, Antonio de J. Fernández García
Centro Meteorológico Provincial de Cienfuegos, INSMET.
Calle 51-A s/n e/ 24 y 26, Cienfuegos, Cuba
sinai@cmpcf.cu / ajfg@cmpcf.cu



RESUMEN: Se presentan los resultados del estudio comparativo del régimen de precipitaciones diarias en la provincia de Cienfuegos en el bimestre mayo-junio, para una serie de 44 años, subdivididos en dos periodos: 1956-1977 y 1978-1999. En el estudio estadístico realizado, se subdividió la muestra de precipitaciones diarias, considerando como frontera limitrofe la *media más la desviación estándar (+S)*, con el objetivo de analizar el comportamiento de las mismas en sus rangos más frecuentes y aquellas que caracterizan sus valores extremos. Se aprecia una disminución significativa de los "días con lluvia" y de la "intensidad media de las precipitaciones" en el segundo periodo, asociados al grupo que se caracteriza por valores menores o igual a +S. Para el segundo rango se obtiene un comportamiento inverso, con un incremento significativo de la intensidad de las precipitaciones en el periodo más reciente. Como aspecto medular del trabajo de tesis, fue aplicada para ambos periodos del bimestre, la clasificación automática de los PSOs, Fernández y Díaz (2005). Los resultados obtenidos muestran la existencia de diferencias significativas entre los patrones de circulación primaverales en los dos últimos cuartos del pasado siglo XX, encontrándose la tendencia a un aumento apreciable de la influencia anticiclónica en los niveles medios de la atmósfera. Se encontró, que en los patrones más frecuentes del periodo 1978-1999, ocurrió un decremento significativo de los "días con lluvias", con un comportamiento contrario en los procesos de baja frecuencia.

1 INTRODUCCIÓN

Los resultados de las investigaciones relacionadas con los estudios globales sobre el cambio climático, según el Tercer Panel Intergubernamental para el Cambio

Climático (IPCC), (2001), insisten en que la temperatura media global en superficie ha aumentado en 0.6 grados Celsius desde 1860 y que en el transcurso del siglo XX el calentamiento se ha concentrado en el periodo 1910-1945 y a partir de 1976. El propio informe del Tercer IPCC, con relación a las lluvias, plantea que probablemente en latitudes medias y altas se haya dado un incremento de los episodios de precipitaciones, aunque por otro lado se afirma la tendencia a que en muchas áreas continentales subtropicales estas han disminuido. En el área del Caribe occidental las tendencias climáticas observadas muestran el incremento de la frecuencia e intensidad del fenómeno de la sequía en los últimos 30 años. (Planos y Lapinel, 2002).

Los estudios realizados por los investigadores del Centro del Clima del Instituto Meteorología permiten afirmar que a finales de la década de los años 70 se observaron cambios importantes en el clima de Cuba, Centella *et. al.* (1997). Estos cambios se vieron reflejados por un notable incremento de la variabilidad climática interanual dada por el aumento de la temperatura superficial del aire, cambios en el comportamiento de las lluvias y la mayor ocurrencia de fenómenos meteorológicos severos Alfonso (1994), Cárdenas *et. al.* (1995), Lapinel *et. al.* (1993). Los resultados de estas investigaciones muestran la posible ocurrencia de un proceso de redistribución de las precipitaciones durante el año; con un incremento significativo de la lluvia, desde el punto de vista estadístico, en los meses invernales y una disminución de la misma (no significativa) en el periodo lluvioso. También se muestra un aumento apreciable de eventos de grandes precipitaciones así como el incremento de la sequía durante los últimos 30 años del siglo XX (Lapinel, *et al.*, 1993).

Todos estos cambios están vinculados a variaciones que de una forma u otra han experimentado los patrones de la circulación atmosférica de las diversas regiones del planeta, aspecto que puede considerarse como un elemento medular para profundizar sobre la causa de los mismos y la tendencia que en la actualidad ocurre en los procesos de la circulación atmosférica. La Climatología Sinóptica como 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 este, constituye de hecho una herramienta poderosa para el estudio de las posibles tendencias experimentadas en los procesos de la circulación atmosférica.

En el presente trabajo se aplican los Procesos Sinópticos Objetivos (PSOs), Fernández y Díaz (2005), al entorno geográfico del archipiélago cubano, en el período primaveral, conformado por los meses de mayo y junio, y tomando como referencia dos períodos de 22 años correspondientes con la segunda mitad del siglo XX. El primero de ellos comprendido entre los años 1956-1977 y el segundo abarcando el período 1978-1999, a partir del cual, los informes científicos del IPCC (2001), indican el proceso de aceleración del calentamiento global.

El planteamiento de la problemática abordada en la presente investigación, establece la comparación entre los procesos de la circulación atmosférica más comunes de ambos períodos, con el objetivo de encontrar señales o tendencias asociadas a los procesos más frecuentes de circulación atmosférica que caracterizaron ambos períodos. Se analizan además las variaciones experimentadas por el campo de precipitaciones en la provincia de Cienfuegos.

2-MATERIALES Y METODOLOGÍA CIENTÍFICA EMPLEADA

2.1 Materiales empleados

En el trabajo de investigación fueron empleadas las bases de datos del NCEP-NCAR (*Nacional Center for Environmental Prediction - National Center for Atmospheric Research*) en los períodos 1956- 1977 y 1978- 1999 para un total de 44 años. 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 empleada empleó un paso de rejilla de 2,5 grados, para una ventana comprendida entre los 15- 35 grados de Latitud Norte y entre los 65- 95 grados de Longitud Oeste. (Fig. 1)

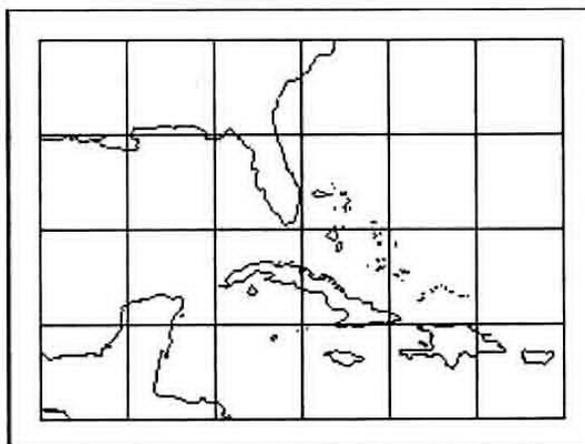


Fig. 1. Área geográfica seleccionada para el trabajo con los datos sinópticos de la tesis.



Fig. 2. Red pluviométrica escogida perteneciente al Instituto de Recursos Hidráulicos en la provincia de Cienfuegos, que fue empleada en el estudio de la tesis.

Los datos de precipitación que fueron empleados para llevar a cabo el estudio de la tesis, comprenden una red de 52 pluviómetros pertenecientes a la red básica de Recursos Hidráulicos en la provincia de Cienfuegos, estos se escogieron en función de su ubicación, período de la serie y confiabilidad del dato según criterio de experto. Se copiaron, almacenaron, organizaron y procesaron los datos diarios de lluvias para un período de 44 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. La Fig. 2 representa la distribución espacial de la red de estaciones pluviométricas seleccionadas en el territorio de la provincia de Cienfuegos.

2.2 Metodología científica empleada en el desarrollo de la investigación.

La metodología científica aplicada en el desarrollo de la investigación se fundamentó en el cálculo de los PSOs en los periodos 1956- 1977 y 1978- 1999 aplicando la metodología de clasificación sinóptica automática propuesta por Fernández y Díaz (2005). Fue calculada además la distribución de frecuencia de los PSOs para los dos periodos referidos, así como su periodo de retorno, estableciéndose comparaciones entre los PSOs de mayor frecuencia, así como del campo de probabilidad e intensidad media de las precipitaciones en la provincia de Cienfuegos. Se adoptó el criterio de que cuando la frecuencia del PSO fuera menor a 1.0 %, se considerará a cada uno de los casos individuales excluidos de los PSO.

Para el conjunto de fechas perteneciente a cada uno de los PSOs de ambos periodos de estudio fue calculada la frecuencia relativa de la ocurrencia de precipitaciones y la intensidad media diaria para cada uno de los equipos pluviométricos perteneciente a la red seleccionada, Fig. 2. Se utilizó el Sistema de Información Geográfica (SIG), MAPINFO versión 6.5, 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 de Kriging con ajuste de variograma lineal y efecto de nodo cero.

Para el análisis del comportamiento de los días con lluvias se compararon tres sub-periodos de la muestra total (1965-1977, 1978-1990, 1987-1999). La causa fundamental estuvo vinculada a la existencia de un salto cualitativo en la calidad de la información pluviométrica, ocurrida a partir de mediados de los años 60.

Para estudiar el comportamiento de los tres periodos referidos, fue fundamentado un análisis estadístico pormenorizado del acumulado diario de las precipitaciones en el territorio de la provincia, (Incluyendo los días secos o sin precipitaciones). Se analizó la cantidad de "días sin precipitaciones", correspondiente con la muestra de casos comprendida entre 0 y +S (siendo S la Desviación Estándar), con el objetivo de caracterizar la tendencia de esta variable en condiciones típicas y frecuentes vinculadas con el régimen diario de las precipitaciones. De igual manera se obtuvieron los mapas medios de precipitaciones correspondientes a cada uno de los periodos descritos, que satisfacen las condiciones del intervalo inferior o igual a +S y los representativos de situaciones productoras de precipitaciones más significativas, asociadas con el intervalo superior a +S.

Con el procedimiento antes descrito, se trata de enmarcar las lluvias locales diarias en dos grandes familias representativas de situaciones atmosféricas, las más comunes asociadas a los patrones más frecuentes y aquellas que caracterizan la ocurrencia de procesos sinópticos que desde el punto de vista cualitativo generan precipitaciones significativas, fuertes y hasta

localmente intensas. Con ello no se excluyen aquellas condiciones locales, que son típicas de los meses del periodo lluvioso del año, que generan en ocasiones acumulados locales de lluvia, asociados a la zona de máxima convergencia superficial, debido a la confluencia del sistema de brisa de ambas costas en horas de la tarde, Fernández y Díaz (2000).

Para estudiar la influencia que tienen los patrones de circulación en ambos periodos, y sus tendencias con relación al comportamiento de las precipitaciones, se caracterizaron los patrones de mayor frecuencia para los dos periodos así como aquellos de menor frecuencia que eran productores de precipitaciones de mayor intensidad. También se estableció la comparación entre los grupos de los primeros procesos que identifican un aproximado del 60% de la muestra y se obtuvo además el mapa medio de probabilidad e intensidad media de precipitaciones en el territorio de la provincia de Cienfuegos. El mismo procedimiento se aplicó para los PSOs ubicados hacia la "cola de la distribución", correspondiendo con las bajas frecuencias.

3 - ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS PRINCIPALES RESULTADOS

3.1 Análisis de los días con lluvia en el bimestre mayo junio.

El análisis comparativo de la distribución espacial de las precipitaciones medias del intervalo inferior o igual a +S, demuestra que la intensidad de las lluvias en 24 horas son de un orden inferior en el periodo posterior a 1977, incluso con tendencia a conservar estas particularidades en el período comprendido entre 1987 y 1999 (ver Fig. 3). Cabe destacar el hecho, de que en el período 1965- 1977 el promedio diario de precipitaciones osciló entre 3 y 6 mm, a lo largo del eje de máximo pluviométrico orientado en la dirección NW-SE, que descansa en la diagonal comprendida entre los municipios occidentales de Abreus-Aguada y la parte norte montañosa del municipio de Cumanayagua.

Sin embargo, con posterioridad a 1977, la distribución espacial de la lluvia diaria se deprime significativamente, apareciendo zonas con lluvias medias inferiores a 1.5 mm, como es el caso de la faja costera cienfueguera y el NE de la provincia, límite con la provincia de Villa Clara. Esto pudiera estar estrechamente relacionado con el aumento de síntomas de desertificación y sequía reportados en el ecosistema costero que une a la ciudad de Trinidad con la bahía de Cienfuegos en el sur y sureste de la provincia en la década de los años 80, 90 y lo que va del siglo XXI.

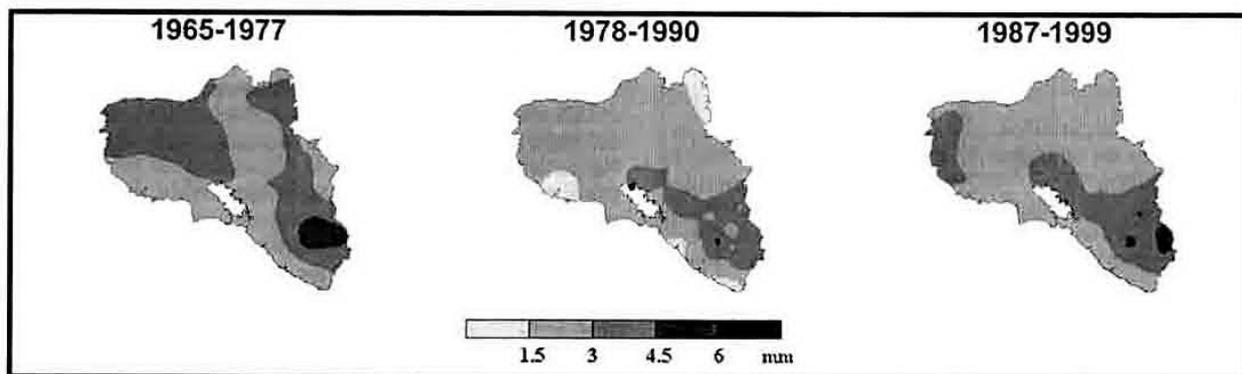


Fig. 3. Intensidad Media de la precipitación en la muestra de días con precipitación menor o igual a la +S.

Lo expresado anteriormente se corrobora significativamente al analizar el comportamiento de la distribución espacial del porcentaje de días sin lluvias en los tres periodos referidos. (Fig. 4) Un aumento apreciable de la cantidad de días sin precipitaciones asociadas con la muestra menor o igual a +S, se observa en los subperiodos comprendidos entre 1978- 1990 y 1987-1999. Las lluvias asociadas a las condiciones normales, típicas de comienzo de período lluvioso se han hecho más escasas, menos frecuentes, prolongando en cierta medida la influencia del periodo poco lluvioso del año que concluye en el bimestre marzo-abril. Incluso, en la zona centro-norte (Rodas, Lajas, Palmira) y la parte montañosa de Cumanayagua, el por ciento de casos sin precipitaciones se incrementó hasta el intervalo entre 75-

90%, precedido del período 1965- 1977, donde el porcentaje de días sin precipitaciones es de un orden inferior (entre el 60-75%), con zonas donde el parámetro analizado decreció al intervalo 45-60%. Es significativo destacar que en la zona montañosa intrincada del municipio de Cumanayagua, se advierte esto con mayor contraste y claridad, observándose incluso una escarpada pendiente meridional del parámetro en dirección a la costa. En la zona del ecosistema costero y en la vertiente sur del macizo montañoso ha aumentado significativamente el porcentaje de días sin precipitaciones con relación al período 1965- 1977, demarcando un aumento de los periodos prolongados de días sin lluvias en esta región de la provincia.

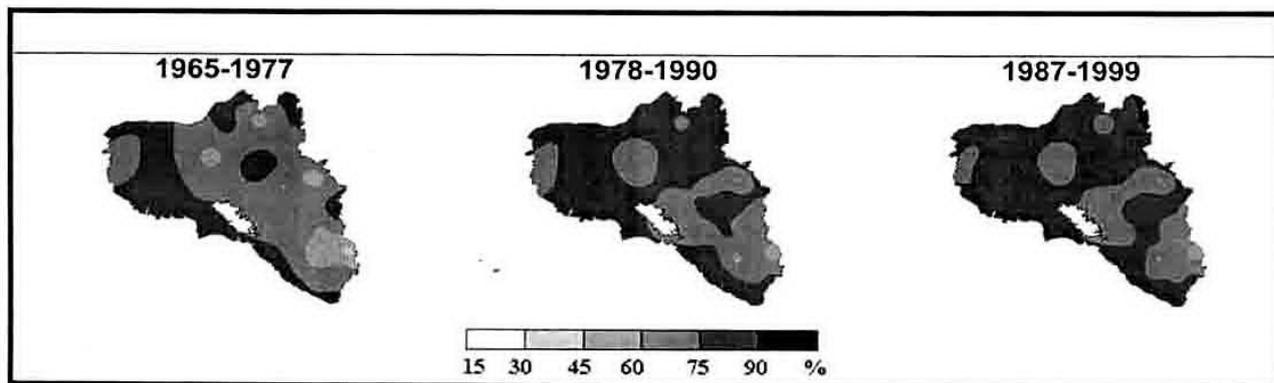


Fig. 4. Por ciento de días secos en la muestra de días con precipitación menor o igual a la +S.

El análisis de la distribución espacial de las precipitaciones en el intervalo mayor a +S, arrojó un incremento en los valores medios de las precipitaciones en los dos periodos más recientes. (Fig. 5) Este resultado está relacionado con el hecho, de que las precipitaciones más fuertes e intensas se han incrementado significativamente en el último cuarto del siglo XX, lo cual está estrechamente relacionado con la ocurrencia en la frecuencia de episodios extremos de precipitación en la provincia.

Ya desde la década de los años 80, comenzaron a registrarse episodios extremos de lluvia de carácter significativo, tal es el caso de las lluvias ocasionadas en Pinar del Río por la tormenta tropical "Alberto", en los

primeros días de junio de 1982. Pero apenas unos días después, en la noche del día 18 y madrugada del día 19, la asintota de convergencia generada por la rama derecha de una tormenta de características subtropicales en el Golfo de México, generó un CCM (Complejo Convectivo de Mesoescala), que causó lluvias en seis horas entre 300 y 700 mm en Ciudad de La Habana y el Nordeste de la provincia Habana, Alfonso y Naranjo (1990).

Unos años después, entre el 30 de mayo y el 5 de junio de 1988, un complejo proceso asociado a la conexión entre una débil depresión tropical en el Noroeste del Caribe, -la primera de la temporada-, y una profunda onda corta en los Oestes, incentivó el desarrollo de una intensa banda

de nublados convectivos que produjo lluvias entre el 31 de mayo y el 1 de junio, entre 900 y 1300 mm de precipitación en la parte montañosa de las Alturas de Trinidad y Sancti Spiritus. La mayor intensidad de precipitación asociada con este complejo proceso sinóptico, ocurrió en la ciudad de Cienfuegos entre las 10 a.m. y las 3 p.m. del 1 de junio, cuando se registró la significativa cifra de 867 mm en apenas cinco horas, Fernández (1989). Dos años más tarde, en la última decena de mayo de 1990 ocurrió otro evento extremo en la región central, que produjo lluvias entre 300 y 700 mm, en un período entre 48 y 72 horas.

En la década de los años 90, ocurrió otro tanto. En 1991 se presentó también en la tercera decena de mayo un episodio de lluvias significativo, seguido en 1993 del desarrollo de una baja de características subtropicales que provocó numerosos fenómenos severos a lo largo del país el día 31 de mayo. En junio de 1995, otro complejo proceso se generó en el Caribe occidental, y provocó las lluvias más intensas que se hayan registrado en la zona de Banao en Sancti Spiritus en el pasado siglo, con acumulado superiores a los 750 mm en 24 horas.

Dos años después en 1997, en el período comprendido entre el 31 de mayo y el 10 de junio, hubo zonas en la región central de Cuba con acumulados cercanos a los 1000 mm, con núcleos muy significativos en el municipio

de Aguada de Pasajeros, debido a una profunda vaguada extendida en niveles medios que en combinación con una zona de débiles bajas presiones en superficie incentivó la convección profunda del proceso. Más recientemente, a comienzos del siglo actual, en el 2002, otro episodio de lluvias intensas afectó la región central de Cuba, en especial la provincia de Sancti Spiritus, donde ocurrieron lluvias entre 500 y 800 mm en un plazo aproximado de 96 horas.

Como se ha visto, el incremento de frecuencia de estos procesos lluviosos extremos, ha sido la causa principal que ha inducido el aumento de los promedios de precipitación en los períodos más recientes. (Fig. 5) Esta afirmación está en correspondencia con las diversas hipótesis que se han ido formulando con relación a los procesos vinculados con el cambio climático. Martín Vide (2003), coincide en afirmar que los escenarios climáticos actuales han incrementado la variabilidad, conllevando un aumento en la amplitud de las distribuciones de las variables. Esto implicaría en el caso de las precipitaciones, a que aumenten los períodos de escasez o ausencia de precipitaciones, y que ocurran también episodios extremos asociados a eventos de lluvias intensas. Precisamente, lo observado en los resultados que emanan de la presente tesis de maestría, corroboran la hipótesis formulada, al menos en el sentido de tendencia.

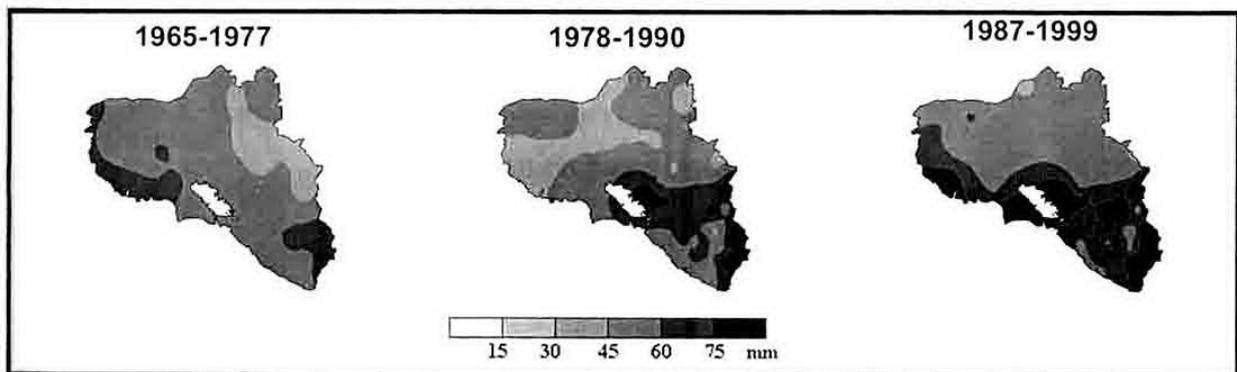


Fig. 5. Intensidad Media de la precipitación en la muestra de días con precipitación mayor a la +S.

3.2 Distribución de la frecuencia de los Procesos Sinópticos Objetivos (PSOs), para los períodos 1956-1977 y 1978-1999.

En el mes de mayo comienza la estación de las lluvias en Cuba, que se extiende hasta octubre por un período de seis meses. La Tabla 1 refleja la distribución de los Procesos Sinópticos Objetivos para el bimestre mayo-junio en los períodos: 1956- 1977 y 1978- 1999, respectivamente. Del análisis se infiere, cómo en el período 1956- 1977, quedaron identificados un total de 18 procesos, y en los 22 años comprendidos entre 1978-1999, 13 procesos.

Período 1956- 1977				Período 1978- 1999			
PSOs	Casos	Frec. (%)	Rec. (días)	PSOs	Casos	Frec. (%)	Rec. (días)
1	259	19.30	5	1	343	25.56	4
2	214	15.95	6	2	338	25.19	4
3	109	8.12	12	3	118	8.79	11
4	107	7.97	13	4	109	8.12	12
5	106	7.90	13	5	105	7.82	13
6	105	7.82	13	6	68	5.07	20
7	103	7.68	13	7	56	4.17	24
8	82	6.11	16	8	51	3.80	26
9	60	4.47	22	9	38	2.83	35
10	38	2.83	35	10	31	2.31	43
11	22	1.64	61	11	26	1.94	52
12	18	1.34	75	12	25	1.86	54
13	17	1.27	79	13	15	1.12	89
14	16	1.19	84				
15	15	1.12	89				
16	15	1.12	89				
17	14	1.04	96				
18	14	1.04	96				

TABLA 1: DISTRIBUCIÓN DE LOS PSOs EN LOS PERÍODOS 1956- 1977 Y 1978- 1999 PARA EL BIMESTRE MAYO- JUNIO.

Procesos Sinópticos Objetivos H500 Períodos 1956-1977 y 1978- 1999

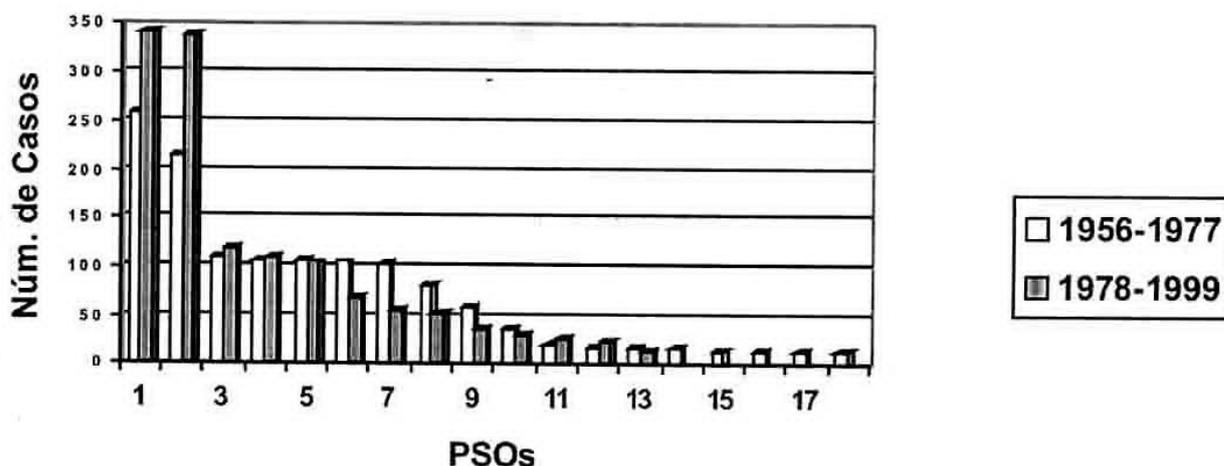


Fig. 6. Distribución de los PSOs para los períodos 1956-1977 y 1978- 1999 del bimestre mayo- junio.

Una disminución gradual de la frecuencia se aprecia en la Fig. 6, ilustrando cómo los patrones de circulación van paulatinamente desde los más frecuentes, hasta aquellos que se presentan con baja frecuencia. En la medida que la frecuencia disminuye, se aprecia un incremento gradual del período de recurrencia, expresado en número de días en el bimestre. Se ilustra con claridad la continuidad existente entre los PSOs, que denota la forma típica de una distribución tipo exponencial negativa.

La distribución de los PSOs obtenidos, (Tabla 1), deja ver claramente como el período más reciente se caracteriza por patrones de circulación más persistentes en el tiempo, debido, a la elevada frecuencia relativa que presentan los dos primeros PSOs del período 1978- 1999 y a la menor cantidad de procesos seleccionados por la metodología de clasificación. Los dos primeros PSOs presentan casi el 51 % de los patrones de circulación que predominan en esa época del año, a diferencia del período 1956- 1977, que es sólo un 35 %.

La disminución de los PSOs en el segundo período denota una menor variabilidad de los procesos de la circulación en el bimestre. La frecuencia alcanzada por los dos primeros procesos, habla de la marcada persistencia que presentan los patrones de circulación, en comparación con la cantidad de situaciones que caracterizan el período comprendido entre los años 1956- 1977, donde se aprecia una mayor diseminación de configuraciones sinópticas que ilustran el comportamiento de esas dos décadas.

3.4 Características de los PSOs más frecuentes en ambos períodos. Distribución de las precipitaciones asociadas a ellos.

Las Figs. 7 y 8, muestran la distribución de la intensidad media y la probabilidad de ocurrencia de las precipitaciones asociadas al PSO 1 para ambos períodos, que se corresponde con la familia de procesos sinópticos de mayor frecuencia del bimestre mayo-junio. La comparación realizada muestra que en el segundo período, 1978- 1999, (Figura 8) se refuerza considerablemente la influencia de las altas presiones, con la estructuración de una amplia dorsal en niveles medios sobre las inmediaciones de La Florida. Se aprecia además, que el eje de la dorsal es más alargado en la dirección Este-Oeste, penetrando hasta la parte occidental del Golfo de México. En el primer período, 1956- 1977, la dorsal penetra más hacia el norte y es menos pronunciada, denotando mayor intercambio latitudinal, engendrado por la propia circulación del sistema de altas presiones en niveles medios.

El nivel de la presión atmosférica en superficie presenta diferencias poco significativas, e incluso se puede afirmar que el patrón de circulación del sistema de altas presiones subtropicales, mantiene una estructura espacial muy similar en ambos períodos. Algo muy importante constituye el hecho de que el PSO 1 del período 1978- 1999, presenta una frecuencia mayor al homólogo del período 1956- 1977. De hecho se aprecia la tendencia al reforzamiento de la circulación anticiclónica, y mayor persistencia de éste patrón de circulación, así como una disminución de las precipitaciones asociadas al mismo.

La circulación en los niveles medios, específicamente en el nivel de 500 hPa, ha presentado variaciones apreciables. El reforzamiento de la circulación anticiclónica, ya citado en el párrafo anterior, produce un incremento significativo en el valor de los geopotenciales en el área y crea una estructura alargada y achatada de un centro de altas presiones que tiende a ubicarse en las inmediaciones del archipiélago cubano. En cierta medida, es como que la circulación de la celda de altas presiones subtropicales en niveles medios, haya separado los patrones de circulación del área tropical con relación a los sistemas sinópticos de latitudes medias, disminuyendo el intercambio latitudinal. Este patrón sin lugar a dudas aporta un aumento significativo de la vorticidad anticiclónica, incrementa la estabilidad atmosférica y estimula la reducción de las precipitaciones como se verá posteriormente.

Por otro lado, el patrón más frecuente del período 1956- 1977, infiere condiciones de los mecanismos circulatorios de niveles medios diferentes. La cuña anticiclónica es pronunciada, pero menos achatada y alargada, incluso el centro de circulación se encuentra al Nordeste y relativamente lejos de Cuba, influyendo más periféricamente sobre el territorio nacional. El borde Sur y Suroeste del sistema, induce una marcada componente de flujo de región Estesudeste sobre el área, arrastrando la masa de aire de latitudes tropicales hacia el Noroeste del mar Caribe y el archipiélago cubano, lo cual se diferencia sustancialmente con el patrón de circulación del período más reciente, donde se aprecia la llegada de un flujo de componente Este y Estenordeste de características subtropicales, que evidentemente es más seco, estable.

Al analizar el campo de las precipitaciones asociado al PSO 1 para ambos períodos, se observa que en el período 1956- 1977 -Fig. 7- los mayores valores de intensidad de lluvia (6-9 mm) se concentran en un eje orientado del Noroeste de la provincia hacia el Sudeste de la misma así como en un eje secundario hacia el norte. El núcleo de máxima intensidad media de la lluvia se encuentra en la zona montañosa correspondiente a las Alturas de Trinidad perteneciente al macizo montañoso de Guamuha. La evolución del proceso hacia el día d+1 muestra una disminución de las precipitaciones hacia el norte del territorio.

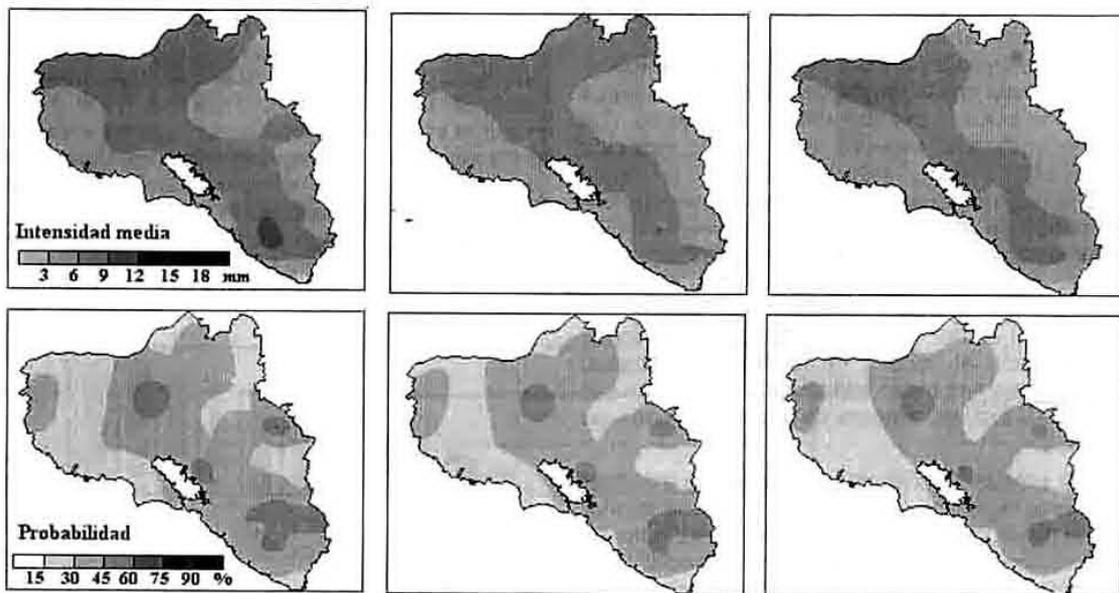
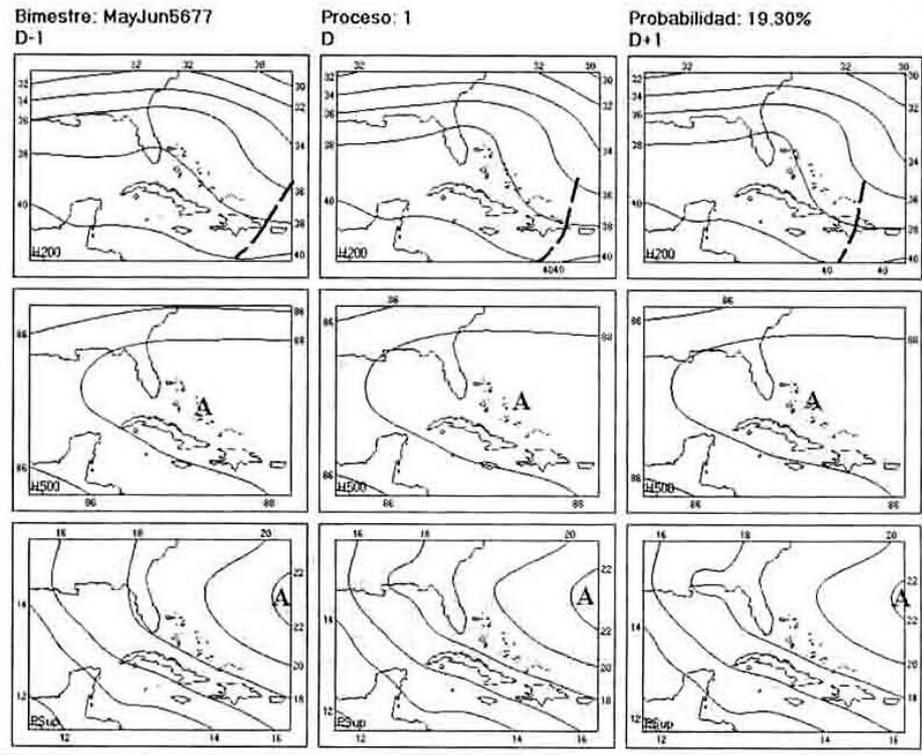


Fig. 7. Distribución de la intensidad media y probabilidad de ocurrencia de precipitaciones asociada con el PSO 1 del período 1956-1977.

La distribución de las precipitaciones asociadas al PSO 1 en el período 1978-1999 -Fig. 8- evidencia que el eje de máximas precipitaciones (6-9 mm) tiene una configuración parecida al periodo anterior pero aparece interrumpido en las inmediaciones del municipio de Cienfuegos, Palmira y parte de Cumanayagua, con un núcleo separado que coincide con la zona montañosa. También se aprecia con claridad que las intensidades de lluvia disminuyen en la dirección meridional norte-sur, observándose los menores valores de intensidad en la zona costera.

Los mapas de probabilidad de ocurrencia de precipitaciones muestran cierta correspondencia con los de intensidad media para ambos periodos, con la diferencia que en el periodo 1956-1977 aparecen núcleos de máxima probabilidad (60-75 %) en las inmediaciones

de Rodas, Cruces y la zona montañosa del municipio de Cumanayagua, que en el período más reciente se reducen considerablemente. Los mapas de probabilidad de ocurrencia de precipitaciones son equivalentes a la distribución espacial de los "días con precipitaciones", asociada a cada uno de los procesos referidos. Es obvia la tendencia a que en el segundo periodo, el patrón más frecuente caracteriza una familia de situaciones sinópticas que aportan una mayor estabilidad atmosférica. De ahí se infiere como en el período más reciente las probabilidades o días con lluvias se deprimen significativamente, quizás esto pueda justificar la tendencia de que la primera quincena de mayo se haya comportado mucho más seca y estable en el último cuarto del pasado siglo.

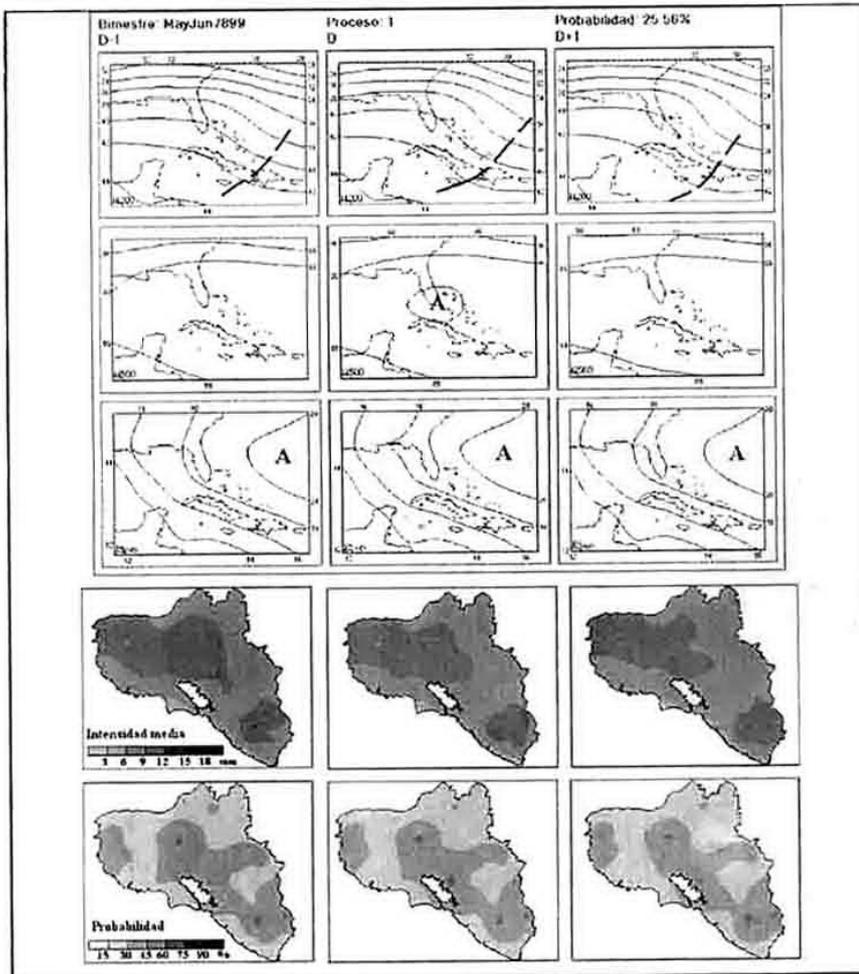


Fig. 8. Distribución de la intensidad media y probabilidad de ocurrencia de precipitaciones asociada con el PSO 1 del período 1978-1999

Otro de los procesos de mayor frecuencia de ocurrencia en el bimestre -PSO 2- se observan en las Figs. 9 y 10 para ambos periodos analizados. La diferencia es aquí se hace mucho más evidente, debido a la tendencia de que en el período 1978- 1999 se mantiene la influencia sobre el entorno del archipiélago cubano de una marcada cresta o cuña anticiclónica en los niveles medios de la atmósfera. (Fig. 10) En el período 1956- 1977, el patrón de circulación continúa diferenciándose en los niveles medios. Se refleja la estructura de una dorsal anticiclónica, que presenta su zona central extendida sobre las inmediaciones de La Española, la cual establece un flujo predominante de componente sur sobre la mitad occidental de Cuba, la península de Yucatán y la parte central del Golfo de México. (Fig. 9).

El patrón de circulación en niveles medios mantiene una acentuada cuña anticiclónica en el período más reciente, como una continuidad en cierta medida con los rasgos del

patrón de circulación asociado al PSO1. Por el contrario, el patrón del período 1956- 1977, refleja un marcado intercambio entre latitudes medias y bajas, a lo largo de América central y en cierta medida conectada a una onda corta de pendiente negativa que proviene desde el continente hasta el istmo de Panamá. Sin lugar a dudas esta configuración atmosférica debe estar asociada a un levantamiento de la ZIC (Zona Intertropical de Convergencia) en esta región del área. Hay otro aspecto medular del proceso, y es el hecho que la cuña subtropical de las altas presiones oceánicas se desarticula del área y en su lugar influye un marcado flujo de componente Sudeste, asociado a un gradiente barométrico moderado para la época del año. El arrastre del flujo húmedo del Caribe central cubre en el entorno del archipiélago cubano con un aumento de la humedad, vorticidad y condiciones favorables para la actividad de precipitaciones.

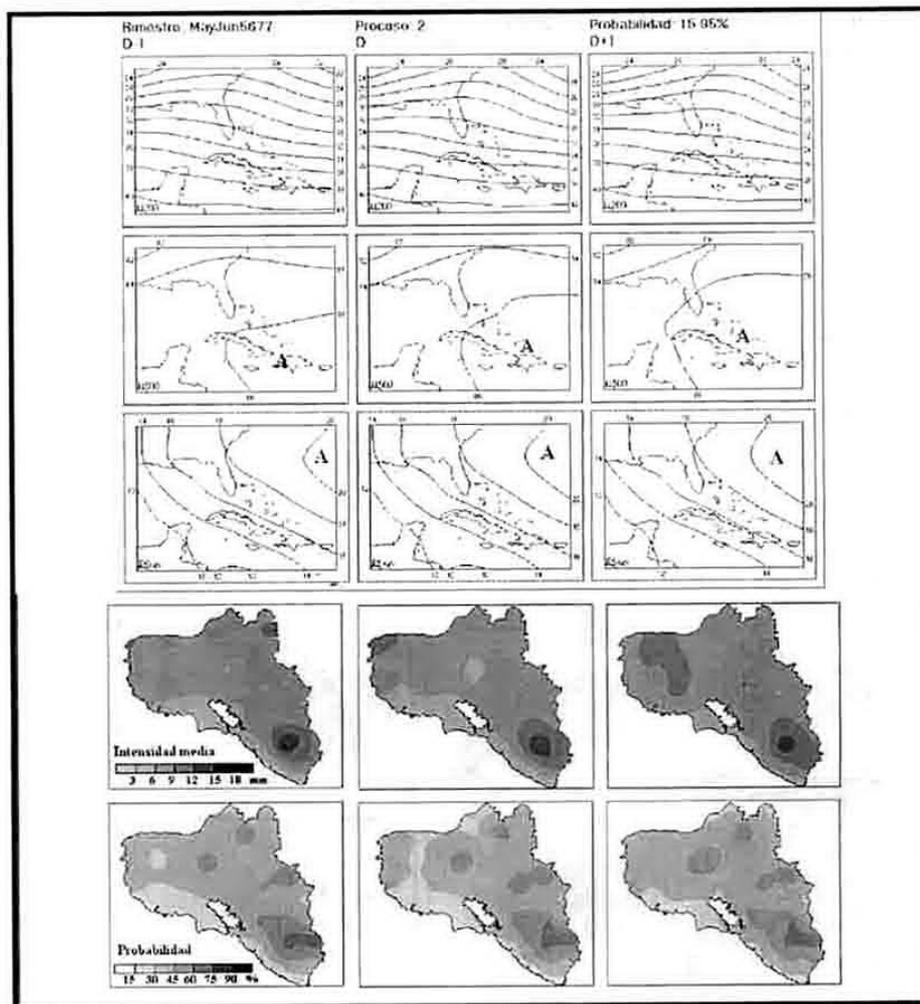


Fig. 9. Distribución de la intensidad media y probabilidad de ocurrencia de precipitaciones asociada con el PSO 2 del período 1956-1977.

El análisis de las precipitaciones para ambos periodos muestra como las distribuciones de la intensidad media presentan configuraciones similares, aunque se observa como también hay una disminución de las mismas hacia el periodo más reciente, fundamentalmente hacia el sur de la provincia. En el periodo 1978-1999, en correspondencia con las características de este PSO, se muestra que las intensidades de precipitación asociadas, están desplazadas hacia el norte en la parte occidental de la provincia, ubicándose los máximos de intensidad en el norte del municipio de Aguada y en la zona montañosa. (Fig. 10)

En cuanto al periodo 1956-1977 los máximos hacia el occidente del territorio y hacia el municipio de

Cumanayagua son de orden mayor en comparación con el periodo posterior, fundamentalmente hacia el día d+1. Además la franja de precipitaciones con intensidades menores de 6 mm ubicada hacia el sur de la provincia es más ancha en el periodo más reciente, adentrándose en los municipios de Abreus, sur de Aguada, Cienfuegos y sur de Cumanayagua. (Fig. 9). La distribución espacial de las probabilidades, coinciden en gran medida con la distribución de la intensidad media, estando los mayores valores hacia el centro-norte y zona montañosa de la provincia. También, en este caso, es apreciable una disminución de las probabilidades medias hacia el periodo 1978-1999, fundamentalmente hacia el municipio de Cumanayagua y Aguada de Pasajeros.

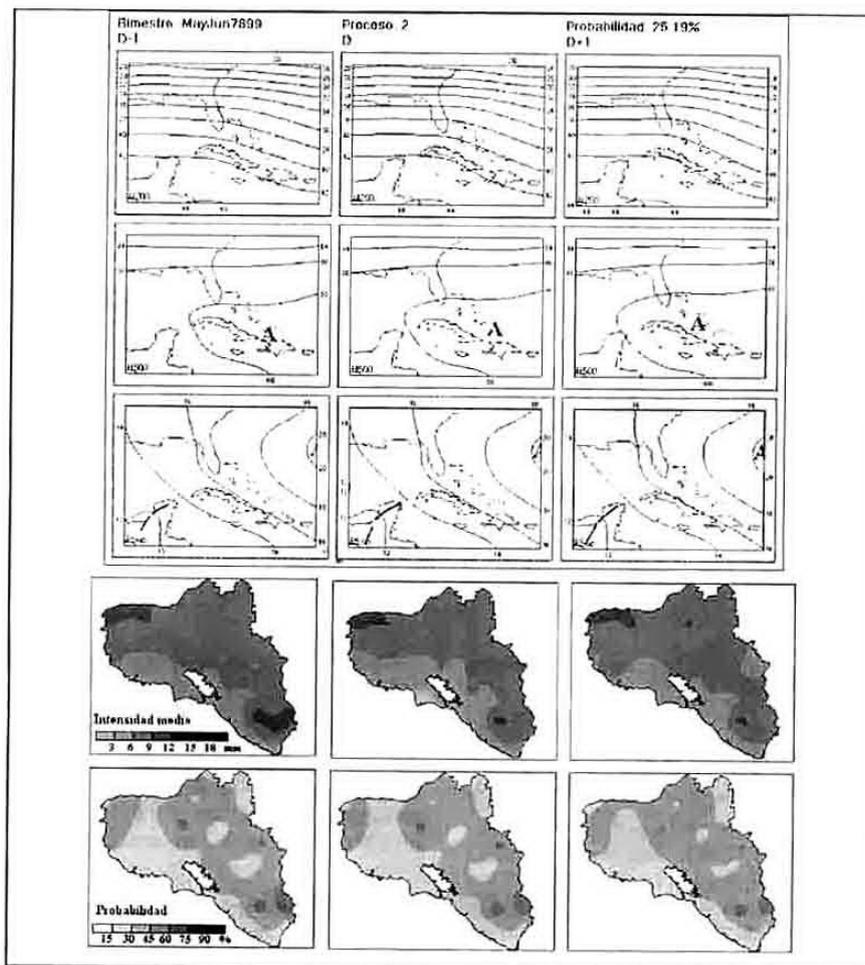


Fig. 10. Distribución de la intensidad media y probabilidad de ocurrencia de precipitaciones asociada con el PSO 2 del periodo 1978-1999.

3.5 Tendencia de los campos de precipitaciones en la provincia Cienfuegos, vinculada a los patrones de alta y baja frecuencia.

La comparación de los campos de precipitación en presencia de los patrones de circulación más frecuentes, - en este caso los PSOs-, arroja resultados interesantes, Fig. 11. Para el período 1956-1977, los primeros cinco PSOs representan el 59.2 % de la muestra, mientras que para el segundo período 1978-1999, los primeros tres PSOs representan un porcentaje equivalente al 59.5 %.

La diferencia es evidente ya que, como se ha explicado, en el período más reciente los dos primeros procesos acumulan aproximadamente el 51 % de los casos. En el primer período se aprecia que las precipitaciones medias diarias asociadas con los patrones de circulación más frecuentes, son superiores a los del segundo. Se observa un eje principal de intensidades medias entre 6-9 mm extendido desde el Suroeste de la provincia hasta el Noroeste, coincidiendo con el eje de mayores precipitaciones históricas en el territorio y además se aprecia un eje secundario con intensidades similares ubicado hacia el norte de la provincia.

En el período 1978-1999, por el contrario, el eje de máximas precipitaciones se ve interrumpido quedando separado el núcleo de la montaña y otro mayor hacia el occidente y centro de la provincia. En este período, también se denota la marcada disminución de las lluvias

hacia el norte y sur del territorio. Es importante destacar que en la región montañosa del municipio de Cumanayagua es apreciable, en el período 1956-1977, una zona de máxima intensidad entre 9 y 12 mm, que en el período más reciente desaparece prácticamente.

Mayor contraste se refleja en la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones, en presencia de estos patrones de circulación. El área con probabilidades entre 30 y 45 % es más extensa en los primeros 22 años de análisis, cubriendo prácticamente la mitad oriental de la provincia con máximos mayores al 45 % en las inmediaciones de los municipios de Rodas y Cruces y la zona montañosa. En esta última se aprecian máximos de probabilidad de hasta el 75 %, en el período 1956-1978, mientras que en el segundo período los máximos en la misma región apenas superan el 45%.

Este comportamiento está en fase con los análisis realizados en epígrafes anteriores, observándose la tendencia a un mayor predominio de las circulaciones anticiclónicas combinadas en superficie y niveles medios y altos, en el segundo período. Aquí se aprecia la tendencia a la disminución de las precipitaciones asociadas con los procesos sinópticos más comunes, que con mayor frecuencia influyen en el área, de acuerdo con el criterio organizado de selección de cada uno de los PSOs que caracterizan los dos periodos analizados.

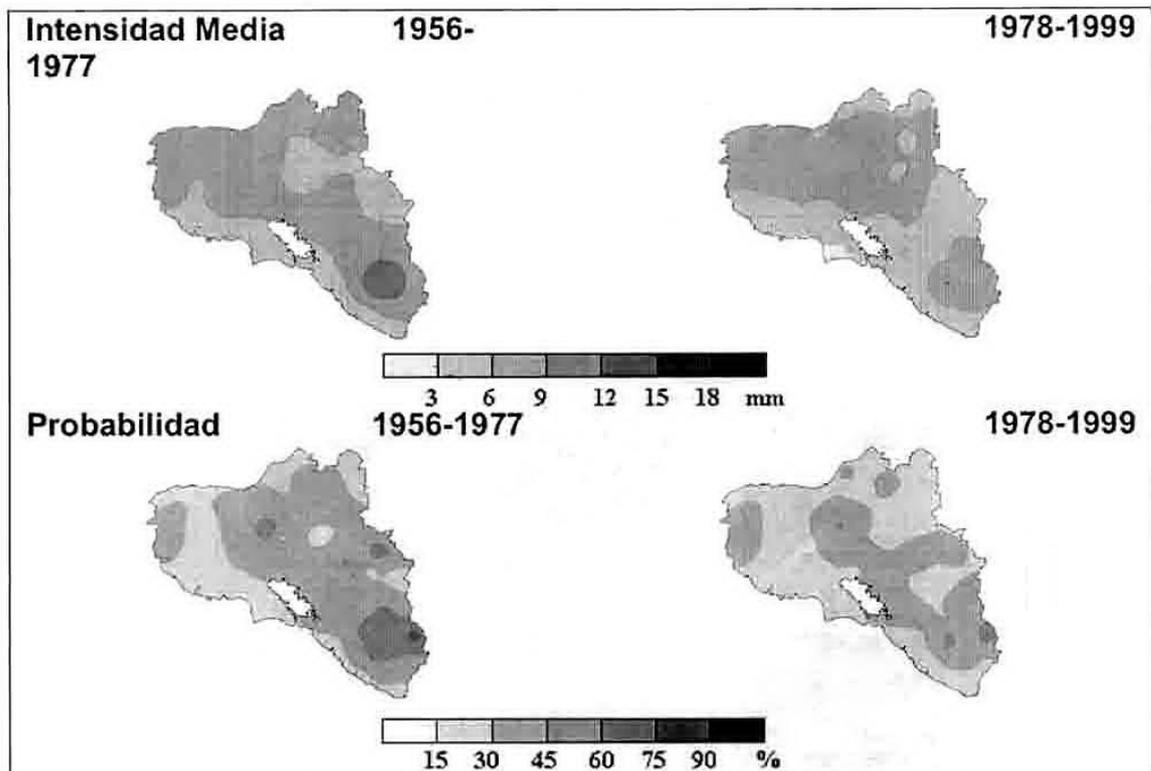


Fig. 11. Distribución espacial de las precipitaciones asociadas con la muestra de casos que integran los 5 primeros PSOs (59.2 % de la muestra) para el período 1956-1977 y a los 3 primeros PSOs (59.5 % de la muestra) para el Período 1978-1999.

La Fig. 12, por su parte, ilustra la comparación de los procesos en ambos periodos, que se concentran hacia la cola de las distribuciones observadas en la Fig. 6, coincidiendo aproximadamente con el 5 % de los casos de ambas muestras. En este caso los procesos se corresponden con los cuatro últimos PSOs para el período 1956-1977 y los tres últimos para el período 1978-1999.

En este caso, los patrones de distribución de la lluvia adoptan configuraciones totalmente diferentes. En el segundo período se aprecia un incremento de las intensidades medias en todo el territorio provincial, el cual se hace más marcado hacia el occidente y la zona montañosa.

El análisis de las probabilidades de ocurrencia de las precipitaciones muestra un aumento de las mismas en el período más reciente, en correspondencia con el comportamiento de las intensidades. En este período la mayor parte de la provincia presenta valores entre 30 y 45% con dos pequeños núcleos en el municipio de Cruces y Cumanayagua respectivamente con valores de hasta 60 % en contraposición con el primer periodo donde los mayores valores de la probabilidad (30 - 45 %) se presentan solamente en dos pequeños núcleos, uno en las inmediaciones del municipio de Rodas y otro en la montaña.

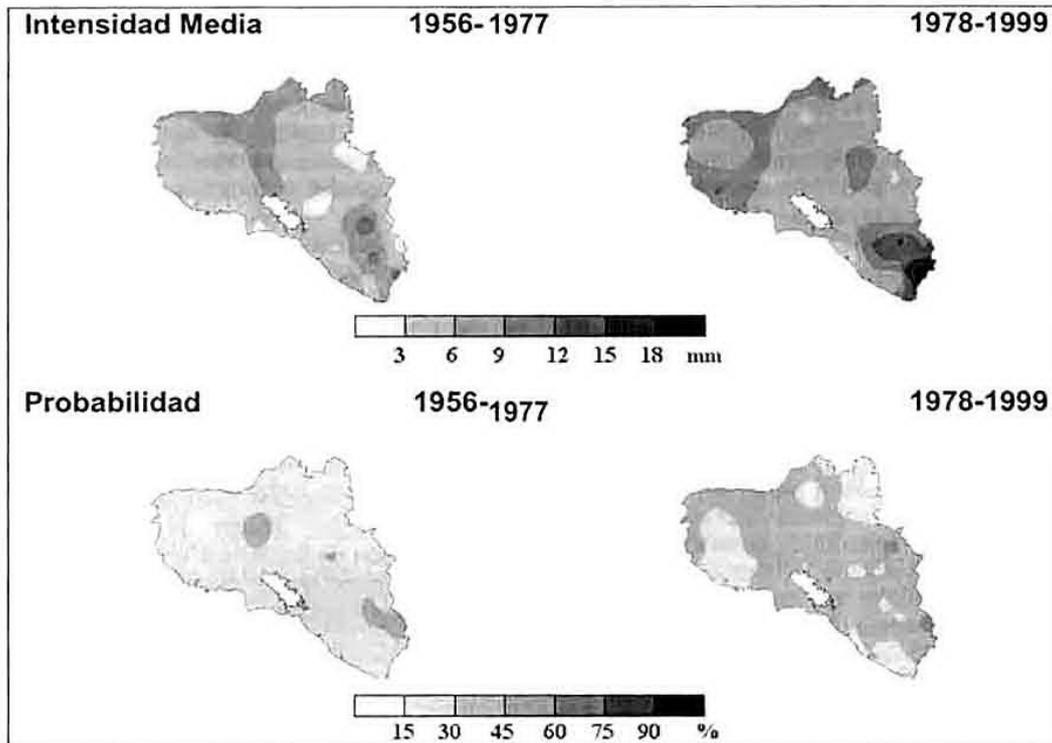


Fig. 12. Distribución espacial de las precipitaciones asociadas con la muestra de casos que integran los 4 últimos PSOs (4.5 % de la muestra) para el período 1956-1977 y a los 3 últimos PSOs (5 % de la muestra) para el Período 1978-1999.

Este resultado avala el hecho de que en los últimos años se aprecia una tendencia al incremento general de las precipitaciones asociadas a los patrones de la circulación atmosférica de baja frecuencia, los cuales se corresponden con situaciones sinópticas menos frecuentes mientras que en los patrones habituales y de elevada frecuencia se muestra un descenso apreciable de la actividad de precipitaciones en varias zonas de la provincia.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La comparación de los Procesos Sinópticos Objetivos en el bimestre mayo-junio de los periodos 1956-1977 y 1978-1999 mostró con claridad como el período más reciente se caracteriza por patrones de circulación más persistentes en el tiempo, debido, a la elevada frecuencia relativa que

presentan los dos primeros PSOs del período 1978-1999 y a la menor cantidad de procesos seleccionados por la metodología de clasificación. Los dos primeros PSOs presentan aproximadamente el 51 % de los patrones de circulación que predominan en esa época del año, a diferencia del período 1956-1977, que es de 35 %.

- El análisis de los sistemas sinópticos del bimestre mayo-junio en los periodos 1956-1977 y 1978-1999, denota una tendencia marcada al incremento de la estabilidad de los patrones de circulación más frecuentes hacia el último cuarto del siglo XX. En este período, se aprecia un aumento de la influencia de las altas presiones, caracterizado por la estructuración de una celda anticiclónica o de una potente dorsal en los niveles medios de la atmósfera en más del 50% de los procesos

atmosféricos que influyen en este bimestre del año.

- Entre los años 1956-1977, a diferencia de lo encontrado en el período 1978-1999, los patrones de circulación más frecuentes se caracterizan por una mayor inestabilidad atmosférica. La influencia de las altas presiones en niveles medios es menor, y se aprecia un mayor intercambio meridional en la circulación predominante en la región. Lo anterior se ve reflejado en el comportamiento de las precipitaciones en la provincia de Cienfuegos en presencia de los patrones más frecuentes, lo cual denota una disminución de las intensidades medias diarias fundamentalmente hacia la zona sur y montañosa de la provincia hacia el último cuarto del siglo XX.

- La comparación de los campos de precipitación en presencia de los patrones de circulación de mayor y menor frecuencia mostró que en los últimos años se aprecia una tendencia al incremento general de las precipitaciones asociadas a los patrones de la circulación atmosférica de baja frecuencia, los cuales se corresponden con situaciones sinópticas menos frecuentes, mientras que en los patrones habituales y de elevada frecuencia se muestra un descenso apreciable de la actividad de precipitaciones en varias zonas de la provincia.

- El análisis estadístico fundamentado en la subdivisión de la muestra de precipitaciones diarias, tomando el valor de la +S como criterio umbral, mostró como en el período más reciente han disminuido los días con lluvia asociados al grupo de situaciones sinópticas más frecuentes así como la intensidad media asociadas a las mismas.

- La metodología concebida en el desarrollo de esta investigación debe ser aplicada al resto del país. Los resultados que se obtendrían a partir de éste análisis pudieran confirmarse a nivel nacional y con ello integrar un análisis sinóptico-climatológico de lo que ha ido ocurriendo en el clima cubano en los últimos 25 años. En este trabajo se abordarían la estrecha relación entre el comportamiento de las series climáticas y la variación de los patrones de circulación atmosféricos.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFONSO A. (1994): "Climatología de las tormentas locales severas en Cuba", Editorial Academia, La Habana, pp.133.

ALFONSO, A., NARANJO, L., FERNÁNDEZ, M., BUENO, J. y LÓPEZ, J. (1990): "Bajas Frías superiores y tormentas locales severas. Análisis del caso 29-30/7/1981". En Revista Cubana de Meteorología, Vol. 3 Num.1, pp. 87-100.

CENTELLA A., L. NARANJO Y L. R. PAZ (1997): "Variaciones y cambios del clima de Cuba". Instituto de Meteorología, Centro Nacional del Clima, pp. 59.

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.

FERNÁNDEZ, A. Y DÍAZ, Y. (2003): "Procesos Sinópticos Objetivos en Cuba y su nexa con la variabilidad climática en la segunda mitad del siglo XX" CD-Memorias del X Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología y II Congreso Cubano de Meteorología, Ciudad de La Habana, 3-7 de marzo de 2003, pp. 37.

IPCC (2001): *Climate Change 2001*. Synthesis Report. Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

LAPINEL B., R. E. RIVERO Y V. CUTIÉ (1993): "La Sequía en Cuba: Análisis del período 1931-1990". Informe científico-técnico. Centro Meteorológico Territorial, Camagüey, pp. 40.

LECHA, L Y FERNÁNDEZ, A. (1982): "Relación entre la distribución de las precipitaciones en la región central de Cuba y el campo de viento a mesoescala y escala sinóptica". Resumen de los trabajos de la V Jornada Científica del INSMET de la A.C.C. La Habana, 19pp.

LECHA, L Y FERNÁNDEZ, A. (1994): "Las precipitaciones diarias en la región central de Cuba y su relación con la influencia anticiclónica subtropical y el campo de viento dominante". Revista de Ciencias de la Tierra y del Espacio, Año 1994 No. 23-24 (pp73-83.)

LECHA, L., FERNÁNDEZ, A., BUENO, J y LÓPEZ, R (1987): "Algunas particularidades del campo de viento y del régimen de precipitaciones durante mayo de 1979 en la región central de Cuba", Reporte de Investigación no. 31, Meteorología, A.C.C, p. 22.

LECHA, L., PAZ, L. y LAPINEL, B (1994): "El Clima de Cuba". En Editorial Academia, pp. 186.

NARANJO L. A. CENTELLA (1996): "Variaciones interanuales de los campos meteorológicos sobre El Caribe y el Golfo de México". Parte I: presión al nivel medio del mar y altura en 500 hPa. Propuesto para publicación en International Journal of Climatology, pp. 20.

ORBE, G. (2003 inédito): "Distribución mesoescalar de los acumulados diarios de precipitaciones en la estación de las lluvias en Cienfuegos". Tesis para optar por el grado académico de Master en Ciencias Meteorológicas, Ciudad de La Habana, 2003, pp. 120 pp.

ORLANSKI, I. (1975): "A rational subdivision of scales for atmospheric process", Bull. American Meteorological Society, 56(5): 527-530.

PLANOS, E. Y LAPINEL, B. (2002): "Visión de la sequía en Meso América y el Caribe: diagnóstico, impactos y mitigación". www.met.inf.cu/sequia/contribuciones/feria1.htm