

# Patrones de Circulación Asociados (PCA) a los Entornos de Gradiente de Presión en Superficie (EGPS) para el período lluvioso y su relación con el campo de viento y las precipitaciones sobre Sancti Spíritus, Ciego de Ávila y Camagüey. Cuba

*Circulation patterns associated to surface pressure gradient environment in the rainy season and its relationship to the field of wind and precipitation*

**Oscar A. Benedico Rodríguez**

Centro Meteorológico Provincial, Ciego de Ávila, Cuba  
oscar.benedico@cav.insmet.cu

**Antonio de J. Fernández García**

Centro Meteorológico Provincial, Cienfuegos, Cuba

**Sinaí Barcia Sardiñas**

Centro Meteorológico Provincial, Cienfuegos, Cuba  
sinaibs@yahoo.com

Recibido: 7 de abril, 2012; aceptado 6 de noviembre, 2012

## Resumen

En esta investigación se realiza un estudio sobre los procesos mesoescalares de los territorios de Sancti Spíritus, Ciego de Ávila y Camagüey en el período lluvioso del año, comprendido en entre 1984 y 1993. Se define el concepto de *entorno del gradiente de presión en superficie* (EGPS) y los grupos que lo integran para cada bimestre, a partir del cual se estudian las particularidades del campo de viento a mesoescala en el horario de las 18 UTC y la distribución del campo de probabilidades de precipitaciones superiores a 0.1 mm, para cada uno de los bimestres del período (mayo-junio, julio-agosto y septiembre-octubre). Asimismo, para cada uno de los EGPS se define el concepto de *patrón de circulación asociado* (PCA), sobre cuya base se logra establecer el nexo entre las condiciones mesoescalares del campo de viento y las precipitaciones. En la investigación se perfecciona el concepto de la *línea de confluencia del flujo a mesoescala* (LCFM), al realizar un análisis más amplio e integrar otros aspectos al tratado, como LCFM (concepto a partir de solo la dirección del viento), tales como la fuerza del viento para considerar la convergencia del viento (lo cual, visto en su interacción, dirección y velocidad del viento, permite hablar de convección) y las precipitaciones; considerando lo anterior,

se establece un nuevo concepto al denominar a este proceso típico del verano o período lluvioso en Cuba como *zona de máxima convección en el flujo a mesoescala* (ZMCFM), la cual adopta configuraciones específicas en dependencia de cada EGPS, con el consecuente comportamiento del tiempo a mesoescala. Se aborda en detalle las características relacionadas con la ubicación y la estructura del campo de viento a mesoescala, con relación a la dirección del flujo sinóptico de los grupos de EGPS para cada bimestre. Se discuten las particularidades de los PCA a los EGPS. Se incluyen tablas, figuras y gráficos en forma de mosaico que muestran el contenido de la investigación.

**PALABRAS CLAVE:** Patrón de circulación asociado (PCA), entorno de gradiente de presión en superficie (EGPS), línea de confluencia del flujo a mesoescala (LCFM), zonas de máxima convección en el flujo a mesoescala (ZMCFM).

## Abstract

In this investigation is carried out a study on the processes mesoescalares of the territory Sancti Spíritus, Ciego de Ávila and Camagüey in the rainy period of the year, understood in the decade between 1984 and 1993. It defines the concept of Environment of the Gradient of Pressure in Surface, (EGPS), and the

groups that conform it for each bimestre, starting from which the particularities are studied from the field of wind to mesoescala in the schedule of the 18 UTC and the distribution from the field of probabilities of superior precipitations over 0.1 mm, for each one of the bimestres of the period, conformed by: May–June, July–August and September–October. It is also defined for each one of the EGPS, the concept of Associated Circulation Patterns, (ACP), starting from which is possible to establish the nexus between the conditions mesoescalares of the field of wind and the precipitations. In the investigation the concept of the Line of Fork is perfected from the Flow to Mesoescala (LCFM) when carrying out a wider analysis when integrating other aspects to the treaty as LCFM (concept starting from alone the address of the wind), such as the force of the wind to consider the convergence of the wind (that which seen in its interaction; address and Speed of the wind, allow to speak of convection) and the precipitations; considering the above-mentioned establishes a new concept when denominating to this typical process of the summer or rainy period in Cuba like Area of Maximum Convection in the Flow to Mesoescala (ZMCFM), which adopts specific configurations in dependence of each EGPS, with the consequent behavior of the time to mesoescala. It is approached in detail the characteristics as for the location and structure from the field of wind to mesoescala, with relationship to the address of the synoptic flow of the groups of EGPS for each bimestre. The particularities are discussed from the PCAs to the EGPS in general. Chart, figures and graphics are included in form of mosaic that you/they illustrate the content of the investigation.

## **Introducción**

En la actualidad, los estudios del campo de viento a mesoescala adquieren una elevada connotación y son enfrentados por diversos enfoques. Para citar al-

gunos ejemplos se tiene que Estoque (1990) presenta un modelo a mesoescala de la distribución del viento en la superficie sobre un terreno complejo, muy útil, cuando se desea conocer las modificaciones de la brisa al pasar por encima de las elevaciones cercanas a las costas. Mukabana y Pielke (1995) emplearon un modelo numérico en su investigación para vincularlo con la influencia de los patrones diarios del tiempo y los monzones, sobre las circulaciones de brisas de lago-tierra y de mar-tierra, en la parte oriental de Africa, cerca de los lagos Victoria y Turkana. Otro enfoque reciente ha sido desarrollado por Soriano *et al.* (2004), quienes aplicaron las salidas de los procesos sinópticos objetivos (PSO)-al módulo meteorológico del modelo de alta resolución TAPM, Hurley *et al.* (2001) y Hurley (2002).

En Cuba, las investigaciones relacionadas con el estudio del campo de viento han estado estrechamente vinculadas con el pronóstico de precipitaciones, la ocurrencia de tormentas eléctricas e, incluso, de las tormentas locales severas. Los estudios realizados por Alfonso (1988, 1994) en las décadas de los setentas y ochentas demuestran que la actividad de las tormentas locales severas –definidas en las investigaciones realizadas por él– tienen una fuerte componente durante los meses del período lluvioso del año, con independencia de que en la época de seca también suelen presentarse fenómenos locales extremos, asociados, por lo general, con la influencia del ENOS, explícitamente contemplado en el *Catálogo de procesos sinópticos del archipiélago cubano en el período 1979-1993*, Fernández y Díaz (2005).

El estudio del régimen de las brisas a lo largo del archipiélago cubano fue abordado en detalle por Carnesoltas (1986), quien propone definir para condiciones no continentales y de bajas latitudes el término de brisa de la manera siguiente:

**BRISA:** Componente del viento real que, en ausencia total de otro flujo, surge perpendicular a la

línea costera y tiene por origen el calentamiento desigual entre el aire sobre la isla y sus mares adyacentes.

Esta definición, además de mantener los principios clásicos de la brisa, implícita —según el autor— que la brisa es una de las componentes de la resultante medida en los instrumentos y que, para condiciones de bajas latitudes, se cumple que solamente es perpendicular a la línea costera en su origen, pero luego va modificándose (por la fuerza de Coriolis y el efecto de fricción), y que la condición de isla y sus dimensiones en relación con las de la circulación de brisa, impone una interacción entre las circulaciones de una y otra costas.

Otros trabajos, como los realizados por Lecha *et al.* (1987) y Fernández (1994), abordan el nexo entre la convergencia del flujo a mesoescala y la ocurrencia de precipitaciones en la región central de Cuba, para la etapa de comienzo del período lluvioso. En esta investigación se establece el nexo entre el campo de flujo a mesoescala en superficie y los máximos de ocurrencia de precipitación; posteriormente, Fernández y Díaz (2000) definen la *zona de máxima convergencia* (ZMC) y su relación con los máximos de ocurrencia de precipitaciones en la región central de Cuba. Otros trabajos relacionados con el estudio del campo de viento fueron realizados por Fernández y Pazos (1998) y Pazos (1999), para el territorio de la provincia de Ciego de Ávila, en los cuales, por vez primera, se aprecia la mesoescala del campo de viento para diferentes horarios del período diurno en asociación con las componentes meridionales y zonales del gradiente de presión en superficie.

También Benedico (1993) establece la relación de los sistemas meteorológicos a escala sinóptica con las *zonas de convergencia de las brisas* (ZCB), las precipitaciones y las *tormentas locales severas* (TLS) a mesoescala. En su trabajo plantea que en 44 % de los días de la temporada lluviosa (mayo a octubre) ocurre ZCB

en la provincia de Ciego de Ávila y argumenta que esta relación es la responsable de las precipitaciones en ese período, donde en 87 % de los casos ocurren precipitaciones.

En investigaciones recientes efectuadas por Benedico (2003) se define la línea de confluencia del flujo a *mesoescala* (LCFM). La metodología para la ubicación de la LCFM se fundamentó solo a partir de la dirección del viento resultante medida por el instrumento y en el salto de la dirección del viento entre 60° y 240°, entre dos estaciones ubicadas latitudinalmente en el territorio de Ciego de Ávila.

La presente investigación tiene como objetivo fundamental estudiar el campo de viento a mesoescala en el período lluvioso del año, empleando para ello el horario de las 1800 UTC que, sin duda, es uno de los más perturbados por el efecto del calentamiento diurno y por la acción simultánea de la componente de las brisas de ambas costas. A diferencia de otros estudios que lo anteceden, en este trabajo se pretende parametrizar el entorno del gradiente de la presión atmosférica en superficie, retomando los principios metodológicos formulados por Fernández y Pazos (1998), pero llevados a un contexto estratificado donde se empleen los bimestres mayo-junio, julio-agosto y septiembre-octubre, de acuerdo con las divisiones concebidas en los procesos sinópticos objetivos formulados por Fernández y Díaz (2005). En esta investigación no se parte de la definición de las LCFM, sino que se pretende caracterizar el prototipo de patrón mesoescalar de flujo para el horario de las 18 UTC, con relación al campo de ocurrencia de precipitaciones, a partir de diferentes entornos del gradiente de presión que caracterizan el ambiente sinóptico del proceso. Además, se aspira encontrar patrones de circulación asociados (PCA) para cada uno de los patrones hallados.

Los resultados de la investigación están dirigidos a profundizar sobre el concepto de la LCFM definido por Benedico (2003) y abordarlo como resultado de

un patrón mesoescalar que muestra la acción combinada de la confluencia (a partir de la dirección del viento) y la convergencia (a partir de la velocidad del viento) a mesoescala, o hacia otros enfoques que la caracterizan y describen, como es la *zona de máxima convergencia* (ZMC), Fernández y Díaz (2000), etc. Se trata no solo del establecimiento de una discusión semántica sobre la terminología más adecuada para la caracterización de la convergencia del viento superficial a mesoescala, cuyas líneas de corriente producen habitualmente confluencia en el territorio insular del archipiélago cubano, sino, por el contrario, abordar la estructura espacial del campo de viento, su relación con la mesoescala de la ocurrencia de precipitaciones y su vínculo con los PCA en el territorio abarcado por la investigación.

## Materiales y métodos

### Materiales empleados

La presente investigación estuvo comprendida en el período lluvioso del año, es decir, entre el 1ro. de mayo y el 31 de octubre, para un total de diez años,

comprendidos entre 1984 y 1993. Los datos empleados fueron los siguientes:

1. Datos del viento en el horario de las 18 UTC de las estaciones meteorológicas de las provincias de Sancti Spíritus, Ciego de Ávila y Camagüey, correspondientes con la parte centro-oriental del territorio de la isla.
2. Datos de precipitación en 24 horas de las estaciones de la red de correos del Instituto de Recursos Hidráulicos en las provincias de Sancti Spíritus, Ciego de Ávila y Camagüey, para un total de 110 pluviómetros diseminados a lo largo del territorio de las tres provincias referidas.
3. Datos a escala sinóptica del horario de las 1200 UTC, para las variables presión atmosférica al nivel medio del mar ( $P_{sup}$ ) y altura del geopotencial en el nivel comprendido entre 500 hPa y 200 hPa (H500 y H200), para una retícula de 117 nodos, formada por el área geográfica ubicada entre los 15-35 grados norte y entre los 65-95 grados oeste, con una resolución equivalente a 2.5 grados. Estos datos fueron obtenidos mediante la base NCEP-NCAR, con

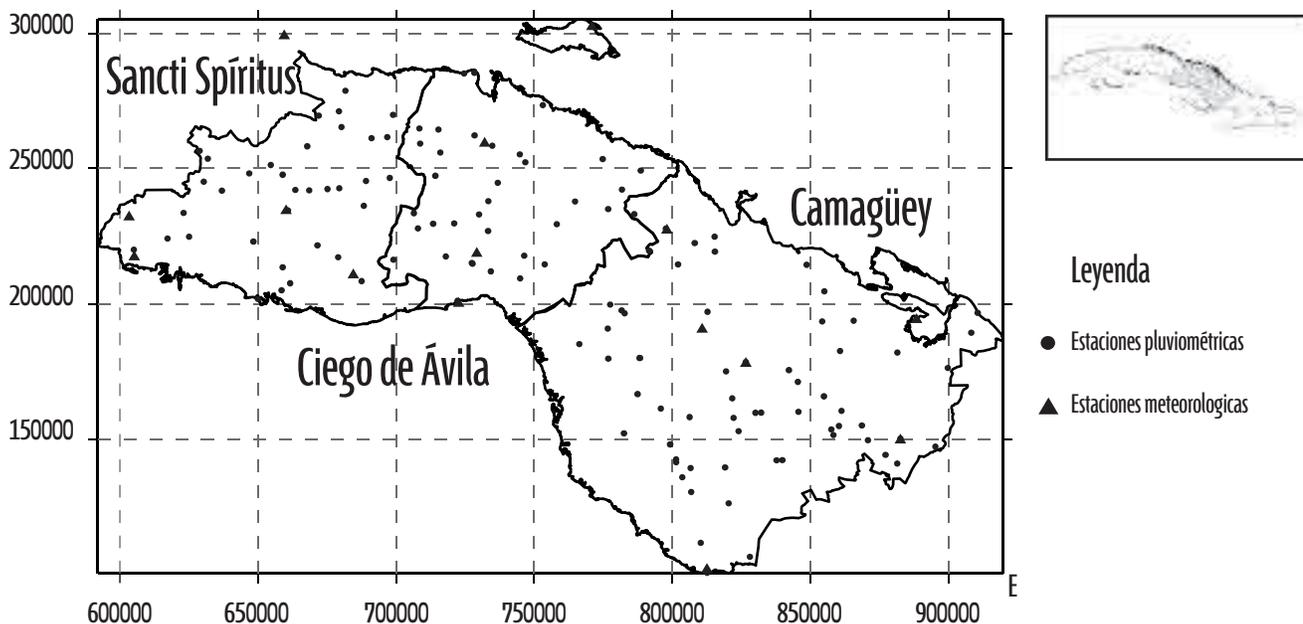


Fig. 1 Ubicación de las estaciones utilizadas en la investigación.

el empleo de las facilidades creadas por el lector CDRead desarrollado por Díaz (2003).

## Metodología científica empleada

En el desarrollo de la investigación se realizó el procesamiento siguiente:

1. El período de trabajo fue subdividido en tres bimestres, atendiendo a la estratificación de los procesos sinópticos propuesta por Fernández y Díaz (2005), concebida en la metodología de los procesos sinópticos objetivos.
2. Se subdividió el gradiente de presión atmosférica al nivel medio del mar, en el entorno del territorio formado por las provincias de Sancti Spíritus, Ciego de Ávila y Camagüey, con el empleo de los datos de presión atmosférica en superficie al nivel medio del mar. Los puntos de rejilla utilizados fueron: P1: 22.5 lat. norte y 80.0 long. oeste, P2: 22.5 lat. norte y 75.0 long. oeste, P3: 25.0 lat. norte y 77.5 long. oeste y P4: 20.0 lat. norte y 77.5 long. oeste. Con esta información se calcularon las componentes ortogonales del gradiente de presión en el entorno del punto de rejilla 22.5 lat. norte y 77.5 long. oeste. La figura 1 ilustra la ubicación de los nodos de rejilla en el área geográfica mencionada y el área territorial donde fue realizada la investigación.
3. El gradiente de presión atmosférica al nivel medio del mar en el punto referido en la figura 2 fue calculado mediante las fórmulas 1 y 2 que se señalan a continuación:

$$\frac{\partial P}{\partial X} \approx (P1-P2)/\text{distancia 1-2} \quad (1)$$

$$\frac{\partial P}{\partial Y} \approx (P1-P3)/\text{distancia 3-4} \quad (2)$$

Mediante la relación 3:

$$\theta = \text{Tan}^{-1}(\frac{\partial P}{\partial Y} / \frac{\partial P}{\partial X}) \quad (3)$$

fue calculada la dirección del flujo sinóptico en superficie, mientras que el módulo del gradiente quedó definido por la expresión 4:

$$\text{mod grad} = \sqrt{(\frac{\partial P}{\partial Y})^2 + (\frac{\partial P}{\partial X})^2} \quad (4)$$

4. A partir de la elaboración de diagramas de dispersión que muestran el comportamiento de la muestra para cada bimestre, se definieron diferentes intervalos de dirección del flujo sinóptico en superficie  $\theta$  y del *mod grad* para los tres bimestres correspondientes al período lluvioso del año. Los rangos de  $\theta$  se identificaron con letras y los del *mod grad*, con números. La combinación de ambos parámetros identifica el *entorno del gradiente de presión en superficie* (EGPS).

Para cada EGPS fue calculado el viento medio en el horario de las 18 UTC, en cada estación meteorológica del territorio analizado. Asimismo, se halló la fre-

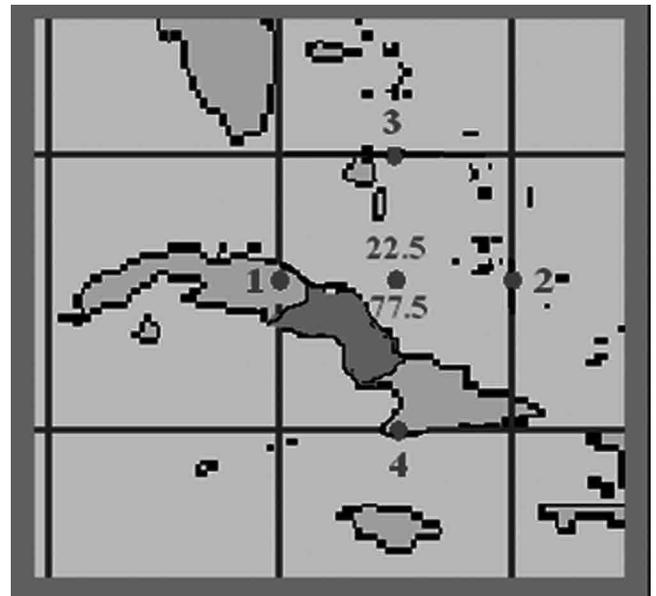


Fig. 2 Área geográfica donde se muestra la región de estudio formada por las provincias de S. Spíritus, Ciego de Ávila y Camagüey. Se muestran, además, los nodos de rejilla empleados para el cálculo del gradiente de presión en el entorno de 22.5 lat. norte y 77.5 long. oeste.

cuencia relativa de la ocurrencia de precipitaciones  $\geq 0.1$  mm para cada pluviómetro de Recursos Hidráulicos en el territorio de las tres provincias analizadas. En relación con el análisis del viento, se calcularon las componentes ortogonales  $U$  y  $V$ , mediante las fórmulas 5 y 6:

$$U: \text{Módulo viento} \cdot \text{seno}(\text{dir viento} \cdot 0.01745329) \quad (5)$$

$$V: \text{Módulo viento} \cdot \text{coseno}(\text{dir viento} \cdot 0.01745329) \quad (6)$$

Y, reintegrado en su condición vectorial, por las conocidas fórmulas 7 y 8:

$$\theta = \text{Tan}^{-1} V/U \quad (7)$$

$$\text{mod grad} = \sqrt{(U)^2 + (V)^2} \quad (8)$$

5. Se elaboró una tabla que integra el número de casos asociados a cada EGPS. Paralelamente, se elaboraron diagramas de dispersión que exhiben el comportamiento de la muestra para cada uno de los bimestres.
6. Para cada EGPS fue elaborado el mapa del campo de viento (dirección y velocidad) en el horario de las 1800 UTC, así como de la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones, indicativo de la frecuencia, expresada en *porcentaje*. Se añadieron, además, las cartas sinópticas promedios asociadas con cada EGPS, las cuales se denominaron como *patrón de circulación asociado* (PCA). Cada PCA identifica el ambiente sinóptico promedio que caracteriza cada EGPS, el cual, a su vez, identifica cada patrón mesoescalar representativo del campo de viento y el porcentaje de ocurrencia de precipitaciones.
7. Los EGPS fueron agrupados de acuerdo con la dirección del flujo sinóptico en superficie, y se establecieron comparaciones entre los diferentes bimestres del año.

## Análisis y discusión de los resultados

### Identificación del entorno de gradiente de presión en superficie (EGPS)

A partir del análisis de dispersión de la base de datos utilizada para los tres bimestres, en general, para la *dirección del flujo sinóptico en superficie* ( $\theta$ ), pudo establecerse los rangos más apropiados para su mejor estratificación. Posteriormente, se realizó un análisis similar de dispersión, pero, en esta oportunidad, para cada bimestre por separado (Fig. 3), con vistas a esta-

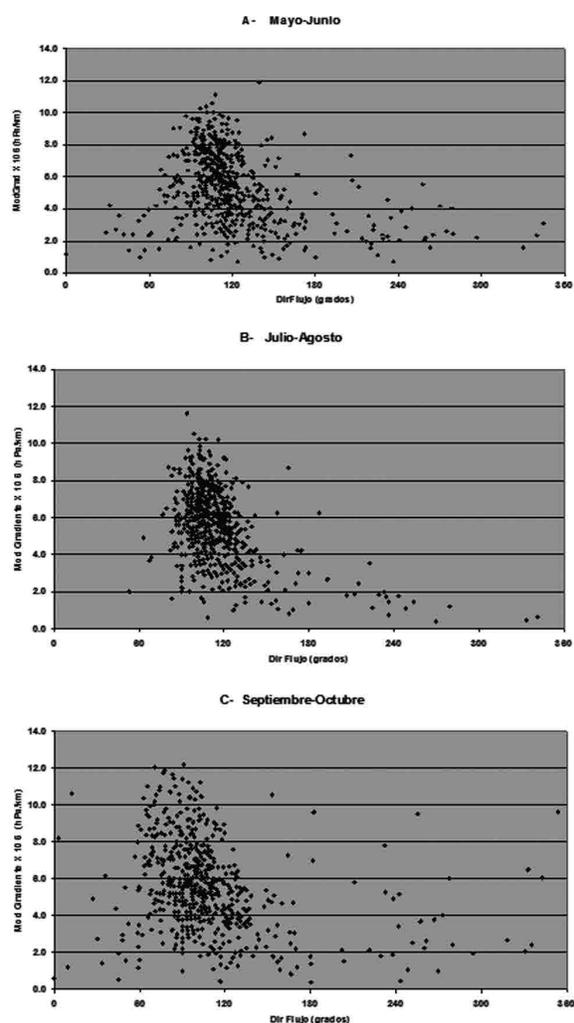


Fig. 3 Diagrama de dispersión de la dirección del flujo a escala sinóptica y el módulo del gradiente de presión atmosférica en superficie, en el nodo 22.5 lat. norte y 77.5 long. oeste. A) mayo-junio; b) julio-agosto y c) septiembre-octubre (período 1984-1993).

blecer los *módulos del gradiente (mod. grad.)* a partir de los rangos establecidos para  $\theta$ , lo cual permitió también definir los rangos más apropiados para los citados *mod. grad.*

Se muestra el hecho de que la dispersión de los grupos EGPS es mayor en septiembre-octubre, en comparación con los bimestres mayo-junio y julio-agosto. El diapasón de los grupos es mínimo en el bimestre julio-agosto, precisamente, cuando se produce una mayor permanencia de la influencia de las altas presiones oceánicas en superficie y el flujo de componente este; no ocurre de esta manera en el bimestre mayo-junio, que se caracteriza por contrastes fuertes en los procesos de circulación que influyen en el área.

Los rangos de  $\theta$  se expresaron con letras y los mod. grad., con números; la combinación de ambos parámetros se identificó como *entorno de gradiente de presión en superficie* (EGPS). Las tablas 1, 2 y 3 se muestran (para cada EGPS) la descomposición en  $\theta$  y en mod. grad. por bimestres, para el nodo ubicado en 22.5 lat. norte y 77.5 long. oeste.

TABLA 1 Mayo-junio

Grupos	Dirección del flujo sinóptico en superficie ( $^{\circ}$ )	Módulos del gradiente (hPa*10 <sup>-6</sup> / km)
B	0 a 60 $^{\circ}$	Todos
C1	60 a 89 $^{\circ}$	Menor que 2.5
C2	60 a 89 $^{\circ}$	Mayor o igual que 2.5
D1	90 a 119 $^{\circ}$	Menor de 2.0
D2	90 a 119 $^{\circ}$	Mayor o igual que 2.0 y menor que 3.5
D3	90 a 119 $^{\circ}$	Mayor o igual que 3.5
E1	120 a 149 $^{\circ}$	Menor o igual que 2.0
E2	120 a 149 $^{\circ}$	Mayor que 2.0
F1	150 a 209 $^{\circ}$	Menor que 1.5
F2	150 a 209 $^{\circ}$	Mayor o igual que 1.5
G	210 a 269 $^{\circ}$	Todos
H	Mayor o igual que 270 $^{\circ}$	Todos

TABLA 2 Julio-agosto

Grupos	Dirección del flujo sinóptico en superficie ( $^{\circ}$ )	Módulos del gradiente (hPa*10 <sup>-6</sup> / km)
C1	60 a 89 $^{\circ}$	Menor que 3.0
C2	60 a 89 $^{\circ}$	Mayor o igual que 3.0
D1	90 a 119 $^{\circ}$	Menor que 2.0
D2	90 a 119 $^{\circ}$	Mayor o igual que 2.0 y menor que 3.5
D3	90 a 119 $^{\circ}$	Mayor o igual que 3.5
E1	120 a 149 $^{\circ}$	Menor que 2.5
E2	120 a 149 $^{\circ}$	Mayor o igual que 2.5
F1	150 a 209 $^{\circ}$	Menor que 1.5
F2	150 a 209 $^{\circ}$	Mayor o igual que 1.5
G	210 a 269 $^{\circ}$	Todos
H	Mayor o igual que 270 $^{\circ}$	Todos

TABLA 3 Septiembre-octubre

Grupos	Dirección del flujo sinóptico en superficie ( $^{\circ}$ )	Módulos del gradiente (hPa*10 <sup>-6</sup> / km)
A	Menor que 30 $^{\circ}$	Todos
B1	30 a 59 $^{\circ}$	Menor que 2.0
B2	30 a 59 $^{\circ}$	Mayor o igual que 2.0
C1	60 a 89 $^{\circ}$	Menor que 2.5
C2	60 a 89 $^{\circ}$	Mayor o igual que 2.5 y menor que 4.0
C3	60 a 89 $^{\circ}$	Mayor o igual que 4.0
D1	90 a 119 $^{\circ}$	Menor que 2.5
D2	90 a 119 $^{\circ}$	Mayor o igual que 2.5 y menor que 4.0
D3	90 a 119 $^{\circ}$	Mayor o igual que 4.0
E1	120 a 149 $^{\circ}$	Menor que 2.0
E2	120 a 149 $^{\circ}$	Mayor o igual que 2.0
F1	150 a 209 $^{\circ}$	Menor que 2.0
F2	150 a 209 $^{\circ}$	Mayor o igual que 2.0
G1	210 a 269 $^{\circ}$	Menor que 2.0
G2	210 a 269 $^{\circ}$	Mayor o igual que 2.0
H	Mayor o igual que 270 $^{\circ}$	Todos

### Número de casos asociados a cada EGPS

La tabla 4 muestra los procesos asociados a cada EGPS, para los tres bimestres que componen el período lluvioso del año. También se presenta el número de casos asociado a cada EGPS.

TABLA 4

Casos asociados a los EGPS para cada uno de los bimestres

EGPS	Número de casos (may.-jun.)	Número de casos (jul.-ago.)	Número de casos (sep.-oct.)
A	-	-	5
B	14	-	-
B1	-	-	13
B2	-	-	8
C1	23	20	37
C2	26	14	61
C3	-	-	44
D1	56	57	115
D2	169	239	147
D3	117	120	45
E1	49	74	32
E2	77	54	43
F1	22	15	29
F2	26	10	10
G	23	13	-
G1	-	-	5
G2	-	-	6
H	8	4	10
Total	610	620	610

### Características de los patrones de circulación asociados (PCA) a los entornos de gradientes de presión en superficie (EGPS) en el período lluvioso

En este epígrafe se examina cada grupo asociado a los EGPS vinculados con tres cartas promedio que se analizan en la discusión de los resultados. Los PCA muestran el comportamiento medio de las condiciones sinópticas en superficie, 500 hPa y 200 hPa, (niveles bajos, medios y altos), relacionado con el EGPS dado; en la totalidad de los grupos se encontró un vínculo estrecho entre el gradiente de presión en el entorno mesoescalar de la región analizada y el ambiente sinóptico que rodea al proceso. Los PCA no deben relacionarse con los *procesos sinópticos objetivos* (PSO) de Fernández y Díaz (2005), puesto que estos últimos son representativos de los patrones cir-

culatorios a escala sinóptica y los tratados aquí identifican un estadio de circulación medio asociado al gradiente local de la presión en superficie en la región mesoescalar analizada.

Adjunta a los PCA de cada EGPS, se presenta la carta de flujo del viento en el horario de las 18 UTC, característica del campo de viento en la escala mesobeta, que, generalmente, en ese horario no está perturbado por fenómenos locales de la escala mesogamma. Esta carta, además, es representativa del efecto del régimen de brisa de ambas costas, el cual interactúa con las condiciones del flujo a escala sinóptica, bien descrita por cada uno de los EGPS analizados. La carta de probabilidad de ocurrencia de precipitaciones establece el nexo mesoescalar entre la confluencia superficial y la ocurrencia de precipitaciones convectivas a mesoescala, de acuerdo con la *línea de confluencia del flujo a mesoescala* (LCFM), Benedico (2003), y que, en un sentido más integral —al considerar otros aspectos, tales como la convergencia a partir de la velocidad del viento—, se denomina en esta investigación como *zona de máxima convección en el flujo a mesoescala* (ZMCFM).

La diferencia conceptual entre la LCFM y la ZMCFM estriba, fundamentalmente, en que la primera está vinculada solo con la forma confluyente que adopta el campo de viento, como resultado de la acción combinada del flujo de ambas costas a partir de la dirección del viento resultante o real medida por el instrumento y las particularidades del campo de flujo en superficie a escala sinóptica, sin tener en cuenta el campo de la intensidad de viento, aspecto de importancia vital que determina la aparición de la convergencia o la divergencia en superficie. De ahí que, a menudo, en los meses del período poco lluvioso del año, aparezca la estructura confluyente del flujo a mesoescala y no se generen la convección diurna ni la ocurrencia de chubascos y tormentas eléctricas a lo largo de la LCFM.

El concepto de ZMCFM es más general, abarcador y relaciona aquellas zonas donde la convección

mesoescalar es mayor, con los máximos de precipitación, notándose en muchos casos el flujo confluyente característico de la LCFM que describió Benedico (2003) para los meses del período lluvioso en el territorio de Ciego de Ávila. También, entre otros autores, Fernández y Díaz (2000), consideraron llamarle *zona de máxima convergencia* (ZMC), Benedico (1993), *zona de convergencia de las brisas* (ZCB), mientras que Lecha y Fernández (1987, 1994), simplemente, le nombraron como *zona de convergencia*.

Los patrones encontrados en esta investigación, asociados con la dirección del flujo a escala sinóptica, como elemento integrador del EGPS, se describen a continuación.

#### *Egps asociados a flujo del primer cuadrante*

El flujo del primer cuadrante en el período lluvioso del año está vinculado con la influencia de débiles altas presiones migratorias en el continente, a comienzo y finales de la estación lluviosa del año o, en el caso del bimestre julio-agosto, con la formación de celdas anticiclónicas secundarias en el Golfo de México o en el sureste de los Estados Unidos. La figura 4 muestra el mosaico del patrón mesoescalar de viento para el EGPS B del bimestre mayo-junio; el patrón de flujo a las 18 UTC evidencia que la máxima confluencia del viento se concentra en el sur del territorio, mucho más en la zona de Sancti Spíritus y Ciego de Ávila, y algo más despegada de la costa en la zona de Camagüey.

La confluencia mesoescalar se superpone a las zonas de baja velocidad del viento, con un aumento sensible de la convergencia superficial y con componentes meridionales muy agudas. Las probabilidades de lluvia son relativamente bajas, concentradas sobre todo hacia el sur, independientemente que se presentan núcleos en horarios matutinos hacia la costa norte. La figura 5 propone otros patrones mesoescales asociados a flujos del primer cuadrante. El EGPS del proceso C1 describe un campo de flujo similar al

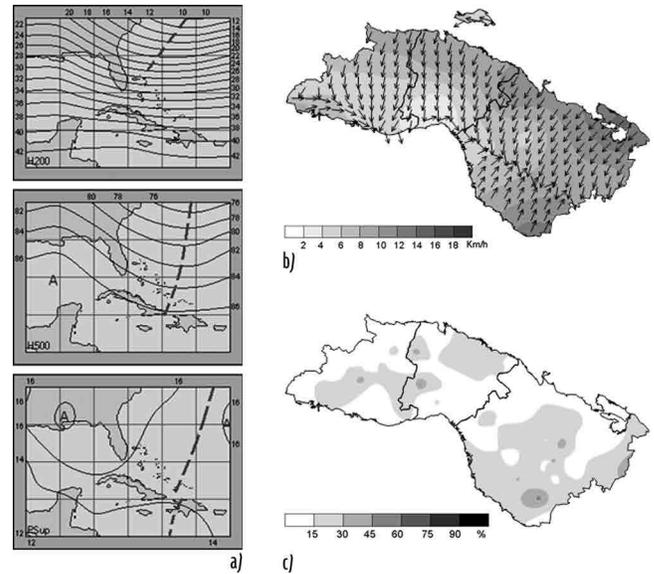


Fig. 4 EGPS correspondiente al proceso B del bimestre mayo-junio: a) Proceso de circulación asociado; b) Carta de flujo a mesoescala en el horario de las 18 UTC; y c) Probabilidad mesoescalar de ocurrencia de precipitaciones.

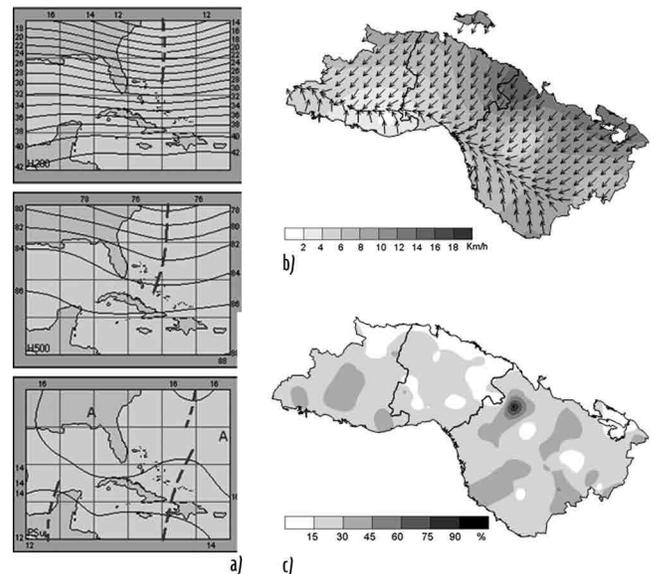


Fig. 5 EGPS correspondiente al proceso C1 del bimestre mayo-junio: a) Proceso de circulación asociado; b) Carta de flujo a mesoescala en el horario de las 18 UTC; y c) Probabilidad mesoescalar de ocurrencia de precipitaciones.

B, aunque la convergencia es algo más concentrada hacia el sur. Los máximos de probabilidad de ocurrencia de precipitaciones se concentran más hacia el sur.

### Egps de componente Este

Los grupos de EGPS asociados a la componente este del viento superficial son los de mayor frecuencia del espectro. Precisamente, en los meses del período lluvioso del año influye la periferia suroeste del Anticiclón de las Azores-Bermudas y la persistencia de los vientos de componente este (en este caso, entre  $90^\circ$  y  $120^\circ$ ) determina las particularidades de la dirección del flujo sinóptico predominante en esta época del año. La figura 6 muestra el EGPS D1 del bimestre mayo-junio, relacionado con la influencia débil periférica del alta de las Azores-Bermudas y de una onda corta débil cuyo eje penetra hasta la costa oriental del continente (Fig. 6a).

En este caso, el débil gradiente asociado al proceso y la componente de dirección del este vinculada con la orientación de la isla, denotan la presencia de un flujo mesoescalar confluyente que se orienta hacia la parte central de la región, en congruencia con el mínimo de intensidad en el campo de las isotacas (Fig. 6b), lo cual se corresponde con los máximos de probabilidad de precipitación que se concentran hacia el interior del territorio, dentro de la zona de máxima convección en el flujo a mesoescala (ZMCFM). El EGPS D2, a diferencia de D1, muestra cómo el campo de flujo a mesoescala revela que la ZMCFM se traslada algo más hacia el sur en correspondencia con el incremento del gradiente bórico (Figs. 7a y 7b) y provoca que los máximos de ocurrencia de precipitaciones se ubiquen también más hacia el sur del territorio.

En el caso de los proceso asociados al EGPS D3, se atribuye el mayor rango de magnitud del gradiente bórico, lo cual se corresponde con las características medias del PCA calculado; ello denota que a medida que el gradiente se fortalece se enmascara más el efecto individual de la componente confluyente del viento proveniente de ambas costas, así como el efecto inducido por esta confluencia del flujo a mesoescala en el campo de viento y las precipitaciones observadas sobre el área de estudio.

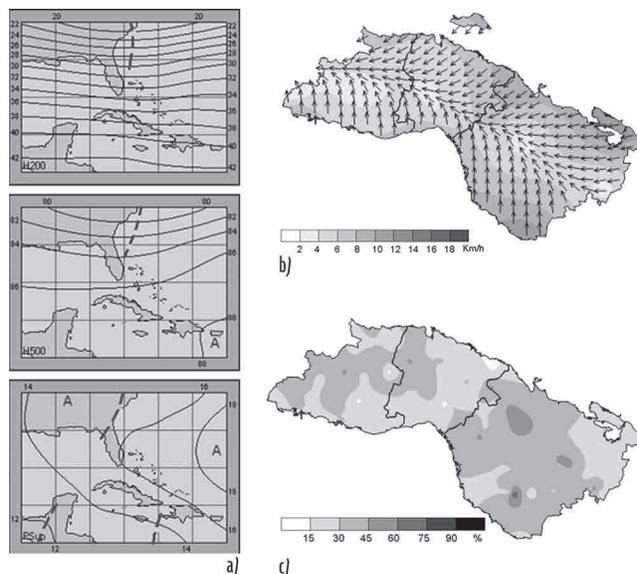


Fig. 6 EGPS correspondiente al proceso D1 del bimestre mayo-junio: a) Proceso de circulación asociado; b) Carta de flujo a mesoescala en el horario de las 18 UTC; y c) Probabilidad mesoescalar de ocurrencia de precipitaciones.

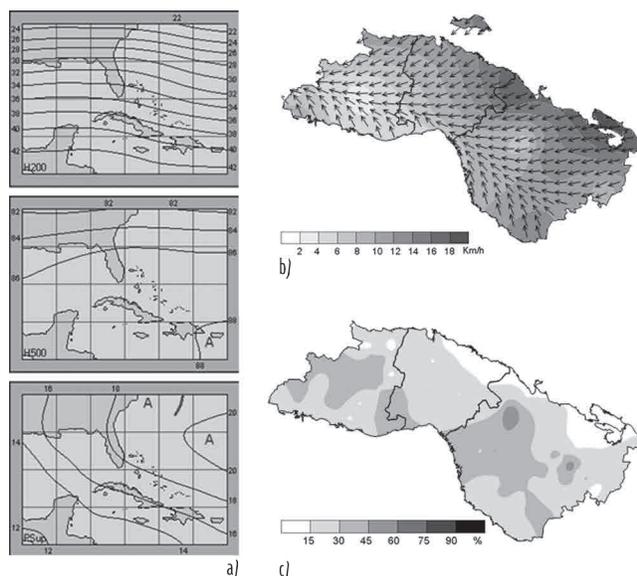


Fig. 7 EGPS correspondiente al proceso D2 del bimestre mayo-junio: a) Proceso de circulación asociado; b) Carta de flujo a mesoescala en el horario de las 18 UTC; y c) Probabilidad mesoescalar de ocurrencia de precipitaciones.

### Egps de componente Sureste

La componente de flujo asociada al viento de región sureste está muy relacionada con la influencia de ondas tropicales u hondonadas en el noroeste

del Mar Caribe o al paso de ondas tropicales en los meses del período estival. En la figura 8 se aprecia el proceso asociado al EGPS E1, representativo del bimestre mayo-junio. El patrón de flujo mesoescalar muestra el desplazamiento hacia la parte centro-norte del territorio de la ZMCFM (Fig. 8b), incentivada por la influencia de las componentes del viento de región sur asociadas al EGPS referido. El PCA representado en la figura 8a presenta la interacción en niveles de una onda en los oestes, con la cuña anticiclónica en el Atlántico, patrón característico de la segunda quincena de mayo y los diez primeros días de junio.

La distribución espacial de la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones asociadas al EGPS E1 presenta los máximos de precipitación hacia la parte centro-norte del territorio, en correspondencia con la máxima convergencia generada por la ZMCFM (Fig. 8c). La figura 9 exhibe el EGPS asociado a un gradiente bórico superior, manteniendo la misma componente del sureste en el período mayo-junio. En este proceso, penetra más la influencia anticiclónica en niveles medios e, incluso, se crea una dorsal en las capas altas reflejadas por el nivel de 200 hPa, lo cual es mucho más característico de la segunda quincena de junio (Fernández y Díaz, 2005). El incremento del gradiente cierra más el abanico de la influencia de la componente de brisa de ambas costas (Fig. 9b) y hasta se ubica algo más al centro del territorio, dada la influencia más directa de la periferia anticiclónica en superficie. La distribución de la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones es similar al EGPS E1.

### Egps de componente Sur

La figura 10 muestra el EGPS F1 relacionado con el bimestre mayo-junio. El patrón mesoescalar de flujo asociado es muy revelador. La ZMCFM penetra muy al norte (Fig. 10), próxima a la costa septentrional del territorio, y se aprecia una marcada componente

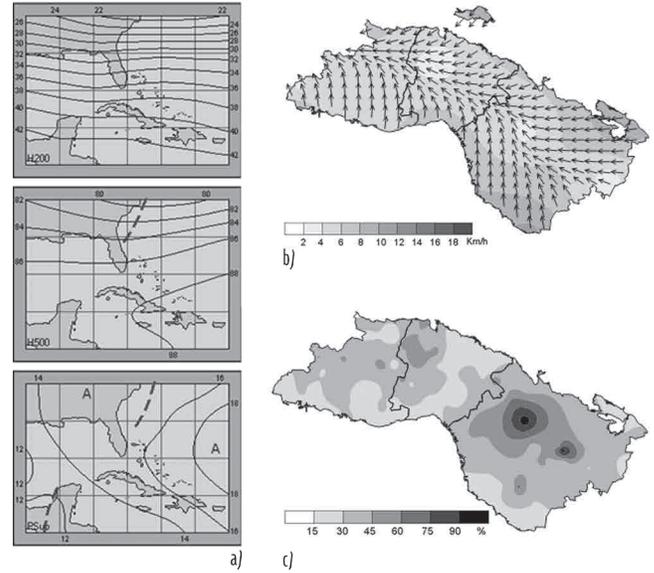


Fig. 8 EGPS correspondiente al proceso E1 del bimestre mayo-junio: a) Proceso de circulación asociado; b) Carta de flujo a mesoescala en el horario de las 18 UTC; y c) Probabilidad mesoescalar de ocurrencia de precipitaciones.

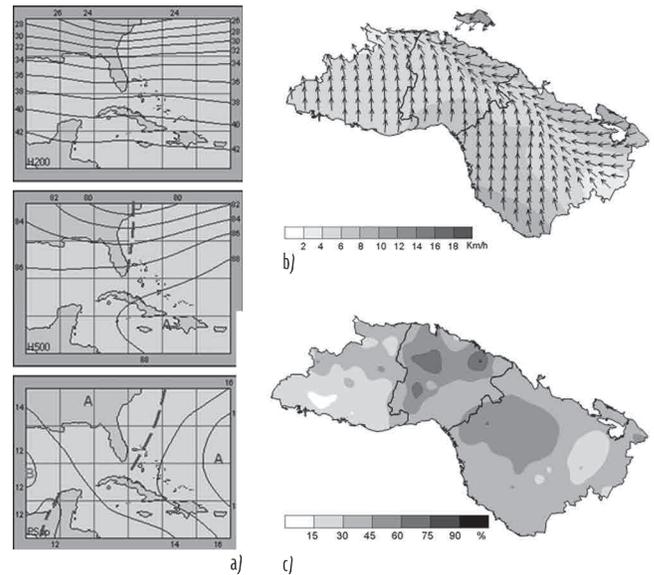


Fig. 9 EGPS correspondiente al proceso E2 del bimestre mayo-junio: a) Proceso de circulación asociado; b) Carta de flujo a mesoescala en el horario de las 18 UTC; y c) Probabilidad mesoescalar de ocurrencia de precipitaciones.

meridional del viento, como es característico de los EGPS asociados a gradientes de presión barométrica débiles. La distribución espacial de la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones evidencia el des-

plazamiento lógico de los máximos de probabilidad hacia la faja septentrional del territorio.

El PCA deja entrever la influencia de una hondonada que “cuelga” sobre las Bahamas e incentiva el débil gradiente y la componente sur del viento en la región (Fig. 10a).

El EGPS F2 es más representativo de tiempo perturbado y de altas probabilidades de lluvia (Fig. 11); en este caso, la componente del sur se hace más vigorosa, tornándose de región este-sureste en zonas próximas a la costa norte a causa del efecto de la componente inducida por la brisa (Fig. 11b). Los núcleos de máxima probabilidad se disgregan por toda el área, justificándose hacia el sur dada la componente advectiva de áreas de chubascos y tormentas eléctricas que, asociadas a vaguadas extendidas u hondonadas muy profundas, afectan la región a finales de mayo o comienzos de junio. En estos casos, el ciclo del calentamiento diurno se interrumpe y ocurren precipitaciones en horarios no habituales debido a las condiciones imperantes de tiempo perturbado en el área (Fig. 11a).

#### Egps del tercer y cuarto cuadrante

El EGPS G del bimestre julio-agosto es un proceso de muy baja frecuencia y en el PCA se aprecia su vínculo en superficie con una baja en el entorno de Las Bahamas (Fig. 12a). El patrón de flujo mesoescalar se torna muy interesante y la ZMCFM se observa orientada de este a oeste hacia la mitad norte de Sancti Spiritus, Ciego de Ávila y Camagüey (Fig. 12b). En correspondencia con la ubicación de la ZMCFM se observan los máximos de precipitación en el norte del territorio (Fig. 12c).

El EGPS H correspondiente con el bimestre julio-agosto muestra un patrón de flujo *sui géneris*, característico de un proceso de baja frecuencia. La apariencia de una mesobaja con circulación anticiclónica en forma de sumidero se aprecia en el noroeste de Camagüey (Fig. 13b) y se evidencia un área de

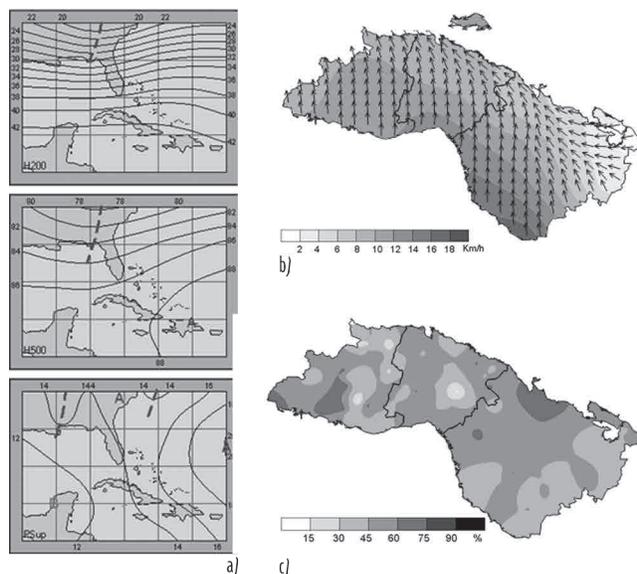


Fig. 10 EGPS correspondiente al proceso F1 del bimestre mayo-junio: a) Proceso de circulación asociado; b) Carta de flujo a mesoescala en el horario de las 18 UTC; y c) Probabilidad mesoescalar de ocurrencia de precipitaciones.

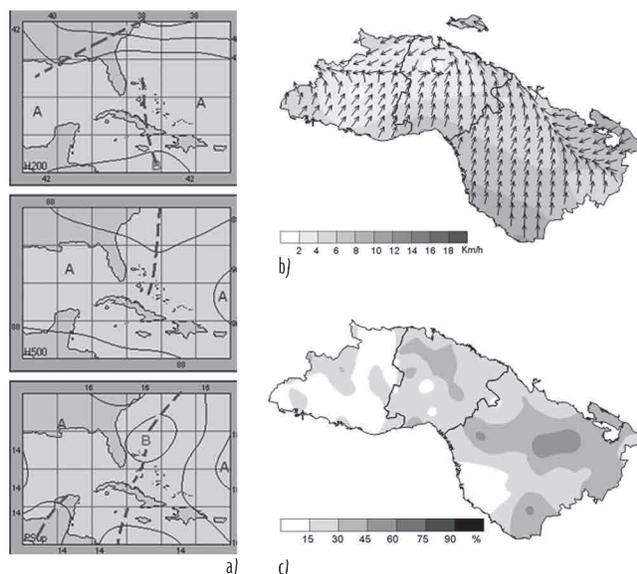


Fig. 11 EGPS correspondiente al proceso F2 del bimestre mayo-junio: a) Proceso de circulación asociado; b) Carta de Flujo a mesoescala en el horario de las 18 UTC; y c) Probabilidad mesoescalar de ocurrencia de precipitaciones.

fuerte actividad de precipitaciones en esta parte del territorio (Fig. 13c). En el resto del territorio analizado se aprecia que la ZMCFM se encuentra en el norte del territorio.

## Conclusiones

El análisis y la discusión de los resultados posibilitaron arribar a las conclusiones siguientes:

1. La metodología propuesta permitió identificar los patrones mesoescalares de flujo en el territorio estudiado mediante la carta de viento de las 18 UTC. Se propone por vez primera una metodología para la clasificación objetiva del campo de flujo a mesoescala por medio del concepto de EGPS realizado.
2. El análisis estratificado de los EGPS por bimestres del período lluvioso permitió identificar la estructura particular que adopta la *zona de máxima convección en el flujo a mesoescala (ZMCFM)*, en coincidencia con la asíntota confluyente del flujo y del mínimo en el campo de las isotacas. El análisis de los EGPS, caracterizado a mediante la dirección del flujo sinóptico y el módulo del gradiente en superficie, permitió evaluar las características del flujo superficial para cada bimestre en que fue subdividido el período lluvioso del año.
3. Como rasgos generales del campo de flujo a mesoescala se tiene que el flujo del NE (b y c) tiende a desplazar la ZMCFM hacia el sur y aún más al sur, en dependencia de la intensidad del gradiente, y, en algunos casos, sin la aparición de las ramas confluentes de la ZMCFM. Con vientos de componente este (d...), la ZMCFM se traslada más al centro-sur con gradientes débiles, mientras que para los EGPS e y f se produce una penetración más hacia el centro-norte, y, en el caso del f, muy próximo a la costa norte del territorio.
4. En la medida que el gradiente es más débil, el flujo resultante de mesoescala se aproxima más a la componente de brisa, y la línea de confluencia adoptada se entrelaza con corrientes perpendiculares entre sí, de marcada componente meridional. Por el contrario, en la medida que el gradiente bórico superficial es mayor, el flujo resultante, en muchos casos, deja

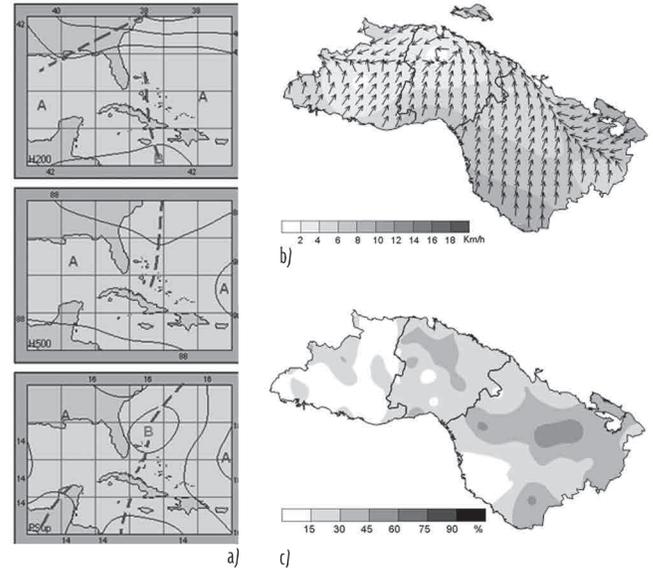


Fig. 12 EGPS correspondiente al proceso G del bimestre julio-agosto: a) Proceso de circulación asociado; b) Carta de Flujo a mesoescala en el horario de las 18 UTC; y c) Probabilidad mesoescalar de ocurrencia de precipitaciones.

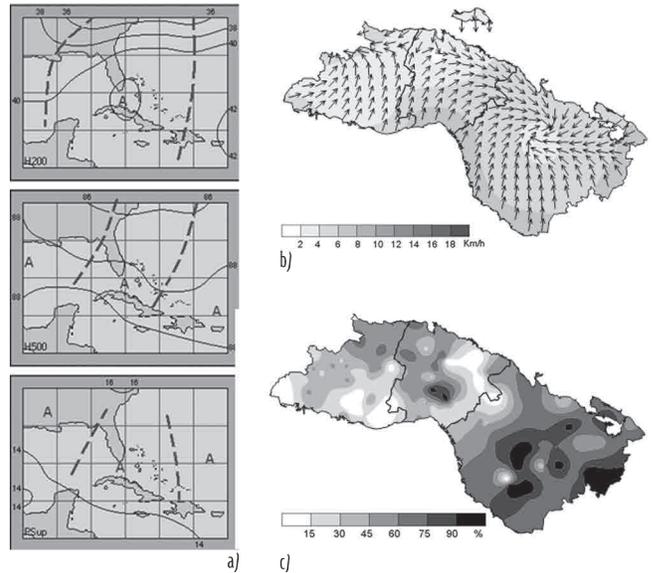


Fig. 13 EGPS correspondiente al proceso H del bimestre julio-agosto: a) Proceso de circulación asociado; b) Carta de flujo a mesoescala en el horario de las 18 UTC; y c) Probabilidad mesoescalar de ocurrencia de precipitaciones.

ver la estructura confluyente del viento, la cual describe una configuración en forma de asíntota, en correspondencia con los mínimos de velocidad del viento y los máximos de convergencia superficial.

5. Los PCA analizados en cada caso muestran la configuración media de las cartas sinópticas de niveles bajos, medios y altos para los diferentes bimestres del período lluvioso. Estas cartas confirman la dependencia intrínseca entre el flujo mesoescalar y el ambiente sinóptico predominante, establecen el nexo entre escalas y sugieren configuraciones medias de patrones que explican, en última instancia, la interacción entre la situación sinóptica y algunos rasgos de la circulación mesoescalar de la región.
6. El presente trabajo identifica una metodología de trabajo para el estudio de los procesos mesoescales en los territorios de Camagüey, Ciego de Avila y Sancti Spíritus, la cual puede ser extendida al resto del país.

## Referencias bibliográficas

- Alfonso A.P., (1988): Climatología y pronóstico de las tormentas eléctricas severas de Cuba. Tesis para optar por el grado de doctor en ciencias geográficas (en elaboración), INSMET, ACC, La Habana, 105 pp.
- Alfonso, A.P (1994): Climatología de las tormentas locales severas de Cuba, Ed. Academia, La Habana, 168 pp.
- Benedico, O. 1993: Condiciones meteorológicas favorables para la ocurrencia de convergencia de las brisas en Ciego de Ávila de mayo a octubre, sus efectos y pronóstico a corto plazo. Informe Científico-Técnico. ACC Ciego de Ávila. 21 pp.
- Benedico, O. (2003): Línea de confluencia del flujo a mesoescala sobre Ciego de Ávila: Situaciones a escala sinóptica favorables para su ocurrencia y su relación con las precipitaciones convectivas. Tesis presentada para optar por el grado académico de máster en ciencias, 93 pp.
- Carnesoltas, C., M., (1986): La circulación local de brisa en Cuba. Tesis presentada en opción al grado de candidato a doctor en ciencias. La Habana. Depositado en biblioteca, 96 pp.
- Díaz Y. (2003, inédito): Lector CD-Read para leer la base de datos del NCEP-NCAR Software elaborado en 2003.
- Estoque, M. A., (1962): The sea-breeze as function of the prevailing synoptic situation. *J. Atm. Sci.* vol. 19, pp. 244-250.
- Fernández A. y Y. Díaz (2000): La zona de convergencia del viento a las 1300 horas y su vínculo con la actividad de precipitaciones. En *Rev. Cubana Meteorología*, vol. 7, num. 1, 13 pp.
- Fernández A. y Y. Díaz (2005): Catálogo de Procesos Sinópticos del Archipiélago Cubano en el período 1979-1993. GeoCuba Gráfica Cienfuegos, ISBN 959-02-0355-8, 167 pp.
- Fernández, A. y Pazos, A., C., (1998): Pronóstico trihorario del viento en la provincia de Ciego de Ávila. Ed. Academia. La Habana. 33 pp.
- Lecha L. y A. Fernández (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. 2324 (pp.: 7383).
- Mukabana, J. and Pielke, R. A., (1995): Investigating the influence of Synoptic-Scale Monsoonal Winds and Meso-scale Circulations on Diurnal Weather Patterns over Kenya Using a Meso-scale Numerical Model. *M. W. R.* vol. 124, pp. 224-243.
- Pazos, A. y Fernández C., (1998): Pronóstico trihorario del viento en la provincia de Ciego de Ávila. Ed. Academia. La Habana. 33 pp.
- Pazos, C., (1999): Análisis sinóptico-estadístico del viento en Cuba y la ocurrencia de brisas marinas y tormentas locales severas en la provincia de Ciego de Ávila. Tesis presentada en opción al grado científico de doctor en ciencias meteorológicas. La Habana. 36 pp.