
Condiciones meteorológicas a mesoescala que favorecen la ocurrencia de convección profunda en el Occidente de Cuba

Mesoscale meteorological conditions favoring the occurrence of deep convection in Western Cuba

Lic. Carlos Manuel González Ramírez | carlosm.gonzalez@insmet.cu | Centro Meteorológico Territorial Artemisa-Mayabeque
Dra. Gisell Aguilar Oro | gisell.aguilar@insmet.cu | Centro de Pronósticos, Instituto de Meteorología

Recibido: 28 de mayo, 2013; Aceptado: 6 de noviembre, 2013. pp. 127 – 139.

Resumen

Con miras a desarrollar esta investigación se seleccionaron los casos de brotes de tiempo severo ocurridos en el período lluvioso (mayo–octubre) de 1999 a 2011 para la región occidental de Cuba. Se analizaron las condiciones a escala sinóptica y a mesoescala para cada caso de brote de tiempo severo, en los horarios de las 1200 UTC y las 1800 UTC, utilizando las variables meteorológicas siguientes: presión atmosférica al nivel medio del mar, dirección y velocidad del viento, temperatura del aire, temperatura de punto de rocío y tendencia barométrica, esta última calculada entre las 1800 UTC y las 1200 UTC. El análisis a escala sinóptica de cada brote permitió relacionarlos con cinco grupos que provocan severidad en Cuba. Se encontraron umbrales de la fuerza del viento para determinados casos de tormentas locales severas, y fue posible la localización de la línea de confluencia del flujo a mesoescala en el horario de las 1800 UTC, correspondiéndose con las zonas de mayor caída de la presión atmosférica.

PALABRAS CLAVE: Tormentas locales severas, mesoescala, Umbral, Cuba

Abstract

To develop this research were selected cases of severe weather outbreaks occurred in the rainy season (May to October) from 1999 until 2011 for the western re-

gion of Cuba. The study developed the synoptic and mesoscale analysis for each case of an outbreak of severe weather in the hours 1200 UTC and 1800 UTC, using meteorological variables such as atmospheric pressure sea level, the wind speed and direction, the air temperature, the dew point temperature and barometric trend, estimated between 1800 UTC and 1200 UTC. The synoptic analysis of each outbreak allowed five groups severity cause. Thresholds were found wind power to certain cases of Severe Local Storms, and the location of the mesoscale flow line. It was determined that the 1800 UTC responds more precisely the location of the line of convergence that may favor the severity coinciding with areas of lower air pressure.

KEYWORDS: Severe local storms, mesoscale, threshold, Cuba

Introducción

En las últimas décadas, el hombre ha aumentado el interés para determinar las condiciones que originan las tormentas locales severas. Su estudio se ha convertido en una tarea necesaria para lograr mejores pronósticos de estos sucesos que aún constituyen un desafío para los meteorólogos. Los Estados Unidos de América es el país donde se ha alcanzado más aportes

sobre el inicio, el desarrollo y la disipación de las tormentas locales que provocan severidad.

En Cuba, sobre todo en el período lluvioso (mayo-octubre), resulta común la ocurrencia de granizadas, tornados, trombas en la altura y aeroavalanchas; estos fenómenos fueron definidos como tormentas locales severas (TLS) por Alfonso (1994) y se refiere a cuando en una tormenta local ocurre, al menos, uno de estos eventos. De igual forma, el mismo autor considera un brote de tiempo severo (BTS) cuando se reportan más de tres tormentas locales severas que no están asociadas con la misma nube de tormenta.

Desde el comienzo del presente siglo XXI, en el Instituto de Meteorología se han ido desarrollando varios proyectos para el análisis y los pronósticos de las TLS. Benedico *et al.* (2005) utilizaron la dirección resultante del viento (60° - 240°) con vistas a determinar la línea de convergencia del flujo a mesoescala (LCFM) para la región central de Cuba; Aguilar *et al.* (2005a, b), y Aguilar (2007) crearon una herramienta de trabajo con miras al pronóstico a corto plazo de condiciones favorables para el desarrollo de TLS, la cual lleva por nombre Resolución Objetiva por Sistema Experto de Tormentas (ROSET), perfeccionado en 2010 con una nueva versión (ROSET 3.0). El sistema experto parte de un análisis tridimensional a escala sinóptica que consiste en identificar las configuraciones que, tanto en el período lluvioso, como en el poco lluvioso favorecen el desarrollo de las TLS en Cuba y culmina con un programa que facilita al especialista una posible solución de ocurrencia de TLS en una región determinada, permitiendo una vigilancia del tiempo para emitir alertas sobre el peligro o no de severidad.

En Cuba, tomando en consideración sus características físico-geográficas, puede decirse que existen tres condiciones necesarias para la ocurrencia de severidad: la primera, tiene en cuenta el contenido de humedad en la capa de 1 000 hPa a 700 hPa (niveles bajos de la tropósfera), la cual garantiza la formación de la nube de tormenta; la segunda, es el suministro

estable y suficiente de calor a la capa fronteriza atmosférica (CFA), determinando la ubicación del inicio de la convección profunda que, a su vez, genera la nube de tormenta la que aprovecha las condiciones del entorno para concentrar la energía en un espacio relativamente reducido; la tercera, consiste en combinaciones de factores en los niveles medios y altos de la tropósfera que liberan la energía acumulada en la tormenta. Si la liberación de energía se produce en un intervalo relativamente corto, ocurrirá un evento severo; si se libera lentamente, la tormenta se disipará sin que se presente severidad. Asimismo, esta condición es la que determina el tipo de severidad que puede ocurrir.

No obstante los resultados alcanzados, es necesario continuar profundizando en el tema y tratar de buscar los mecanismos que a mesoescala pueden ayudar a mejorar la predicción de estos complejos fenómenos severos. Por ello, se decidió ahondar en las condiciones físicas que predominaron antes y durante la severidad, teniendo en cuenta las variables meteorológicas que se obtienen en las diferentes estaciones meteorológicas de un territorio, así como la combinación de algunas de estas variables que favorezcan el desarrollo de las tormentas, y que estas alcancen la severidad; además de que permitan conocer con antelación las zonas más propensas para que ocurra convección profunda.

Con miras al cumplimiento de este trabajo en el occidente de Cuba, se planteó el objetivo de obtener umbrales que adoptan las variables meteorológicas los días en que ocurren brotes de tiempo severo y analizar los patrones a escala sinóptica presentes los días de ocurrencia de brotes de tiempo severo.

Materiales y métodos

Por su configuración estrecha, alargada y ubicada en la zona tropical, en Cuba es frecuente la interacción de los sistemas convectivos organizados en la capa fronteriza atmosférica, en especial con el frente de la

brisa de mar en la costa por la que sale el flujo a mayor escala, lo cual provoca la formación de líneas muy extensas de nubes tipo Cb en horas de la tarde. Si a ello se añade que las causas de la severidad local se ubican, por lo general, en los niveles medios y altos, que abarcan zonas mucho mayores que una celda aislada, es de esperar que la frecuencia de BTS, de acuerdo con su definición, sea superior a la cantidad referida en los reportes disponibles de TLS. Esto quiere decir que es posible que hayan ocurrido más cantidad de BTS que no se reportaron o que aparece el mismo día con solo uno o dos, por lo cual no puede afirmarse que no ocurriera BTS. No obstante, aunque los casos aumenten considerablemente, lo más probable es que su distribución anual se mantenga invariable.

Tomando en cuenta lo anterior, en la selección de los casos de BTS, se escogieron más de tres reportes de TLS que no estuvieran asociados a la misma nube de tormenta. La región occidental resultó la porción de Cuba donde más reportes se encontraron, lo que contribuyó al análisis a mesoescala. Al validar la muestra de datos se decidió no incluir en el estudio las estaciones de la Isla de la Juventud, dado que la hora de ocurrencia de TLS, en gran mayoría, difiere de la hora de ocurrencia de TLS del resto de la región occidental, lo cual conspira contra la homogeneidad de los datos.

De acuerdo con el comportamiento de los casos de BTS de 1980 a 2010, se decidió tomar solo 12 años (de 1999 a 2010), puesto que los datos se encontraban digitalizados por el Centro del Clima del Instituto de Meteorología, y ello facilitó la investigación. La muestra tomada era representativa sobre el total de reportes en los últimos 30 años donde ocurren 3.4 brotes de TLS anualmente (González, 2012).

Se extrajeron los datos de las ocho observaciones meteorológicas del día, en 23 estaciones meteorológicas de la región occidental de Cuba, archivadas en el Centro de Clima. La base de datos fue sometida a un control de calidad donde se eliminaron los reportes repetidos e inseguros, excluyendo las estaciones

meteorológicas de Jagüey Grande y Varadero, ambas de la provincia de Matanzas, por no presentar la base de datos completa.

Para identificar zonas de confluencia del viento y analizar, según la escala de Orlanski (1975), las características que adoptan durante la ocurrencia de los BTS, fue necesario utilizar un grupo de variables meteorológicas primarias, tales como la temperatura del aire, la presión atmosférica al nivel medio del mar, la humedad relativa, el punto de rocío, y la dirección y la velocidad del viento, en las observaciones sinópticas de las 1200 UTC y las 1800 UTC.

Con vistas al análisis de los sistemas a escala sinóptica se seleccionó el área limitada por las coordenadas 10° N-40° N y 60° W-110° W (Fig. 1), lo suficientemente amplia para identificar los diferentes patrones que favorecen el tiempo severo en la región occidental.

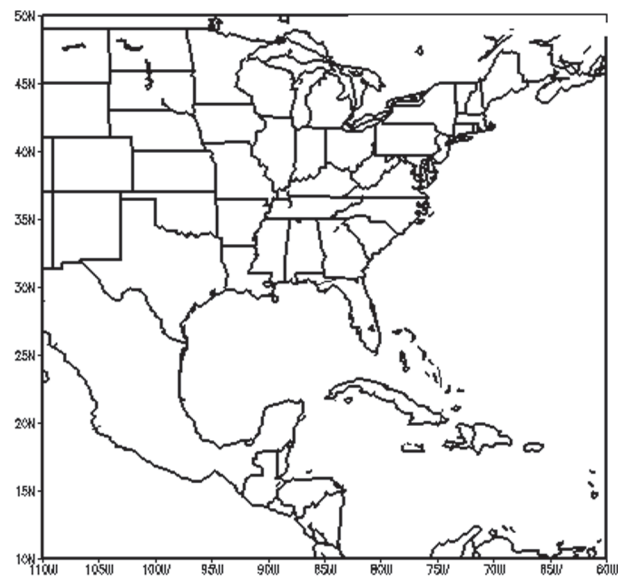


Fig. 1 Área de escala sinóptica utilizada.

De forma individual, se analizaron las situaciones sinópticas para los 32 casos de BTS, considerando cinco niveles de la tropósfera (1 000 hPa, 850 hPa, 700 hPa, 500 hPa y 200 hPa) que constituyen los niveles básicos.

Los mapas medios de cada variable fueron obtenidos del National Center of Environmental Prediction (NCEP) en http://nomad2.ncep.noaa.gov/ncep_data/, para una malla de 2.5° de latitud de resolución en el horario de las 1200 UTC de cada día de brote en el período 1999-2011.

En el cálculo de la tendencia barométrica se analizaron dos horarios sinópticos, las 1200 UTC y las 1800 UTC, puesto que todos los casos de BTS ocurrieron pasadas las 1800 UTC, y se calcularon las tendencias barométricas para un período de 6 h, considerando que en el mismo intervalo de tiempo se presenta un valor máximo de presión atmosférica a las 1500 UTC, y el hecho de manifestarse valores negativos de la tendencia barométrica resultó ser un buen indicador de la convección profunda.

Análisis de los resultados

En el período de análisis se observó que los BTS se manifestaron de marzo a septiembre (Fig. 2), con un máximo en junio, mientras que en julio existe una disminución sobre la región occidental, que podría deberse a la marcada influencia anticiclónica que prevalece, la cual se encontró muy bien representada en todos los nive-

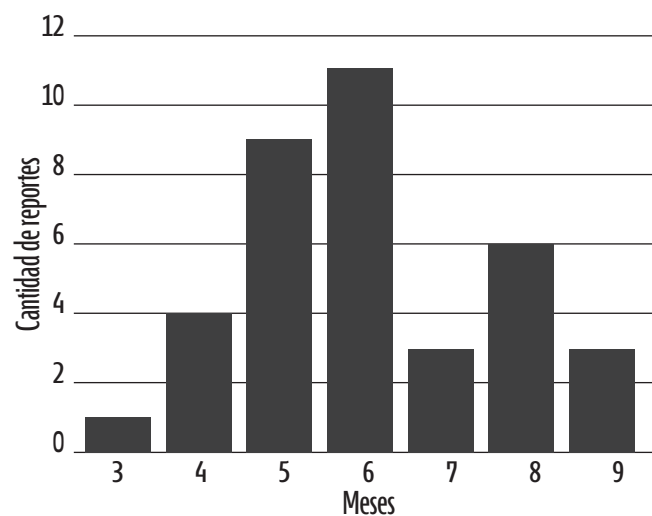


Fig. 2 Comportamiento de los brotes por meses en el período 1999-2011, en la región occidental de Cuba.

les de la tropósfera, provocando movimientos descendentes y una disminución en el contenido de humedad relativa en los niveles bajos de la tropósfera.

Análisis de las situaciones sinópticas a las 1200 UTC

En la región occidental, a diferencia del resto de las regiones de Cuba, cuando se analizaron las situaciones sinópticas que provocaron los BTS, estas se correspondieron con los cinco grupos de patrones sinópticos generales que se encontraron en las investigaciones de Aguilar *et al.* (2005 y 2007). No obstante, para este trabajo, solo se expondrán tres de estos por presentar una mayor frecuencia en la ocurrencia de BTS; estos son los siguientes: en el período lluvioso, el correspondiente a la Vaguada de niveles medios sobre el SE del Golfo de México y el de la Vaguada Tropical Troposférica Superior, donde pueden desarrollarse bajas frías superiores (BFS), para el período poco lluvioso, el grupo relacionado con las ondas polares profundas sobre el sureste del Golfo de México.

Vaguada de niveles medios sobre el SE del Golfo de México

En relación con la situación sinóptica media en los casos de BTS (Fig. 3) que se desarrollaron bajo la influencia de la vaguada de niveles medios (VNM) durante los meses de transición, se encontró que en los niveles bajos de la tropósfera (1 000 hPa a 850 hPa) se presentó la influencia de la dorsal subtropical, extendida hasta el Golfo de México, que mantuvo un flujo del este-sureste sobre la región occidental de Cuba y aportó humedad en los niveles bajos de la tropósfera. En el nivel de 500 hPa se encontró una vaguada con su posición media sobre la provincia de Pinar del Río, que aportó corrientes del suroeste sobre el occidente cubano. La onda en los niveles altos se amortiguó por debajo de los 30° N, manteniendo vientos del oeste sobre la región occidental de Cuba.

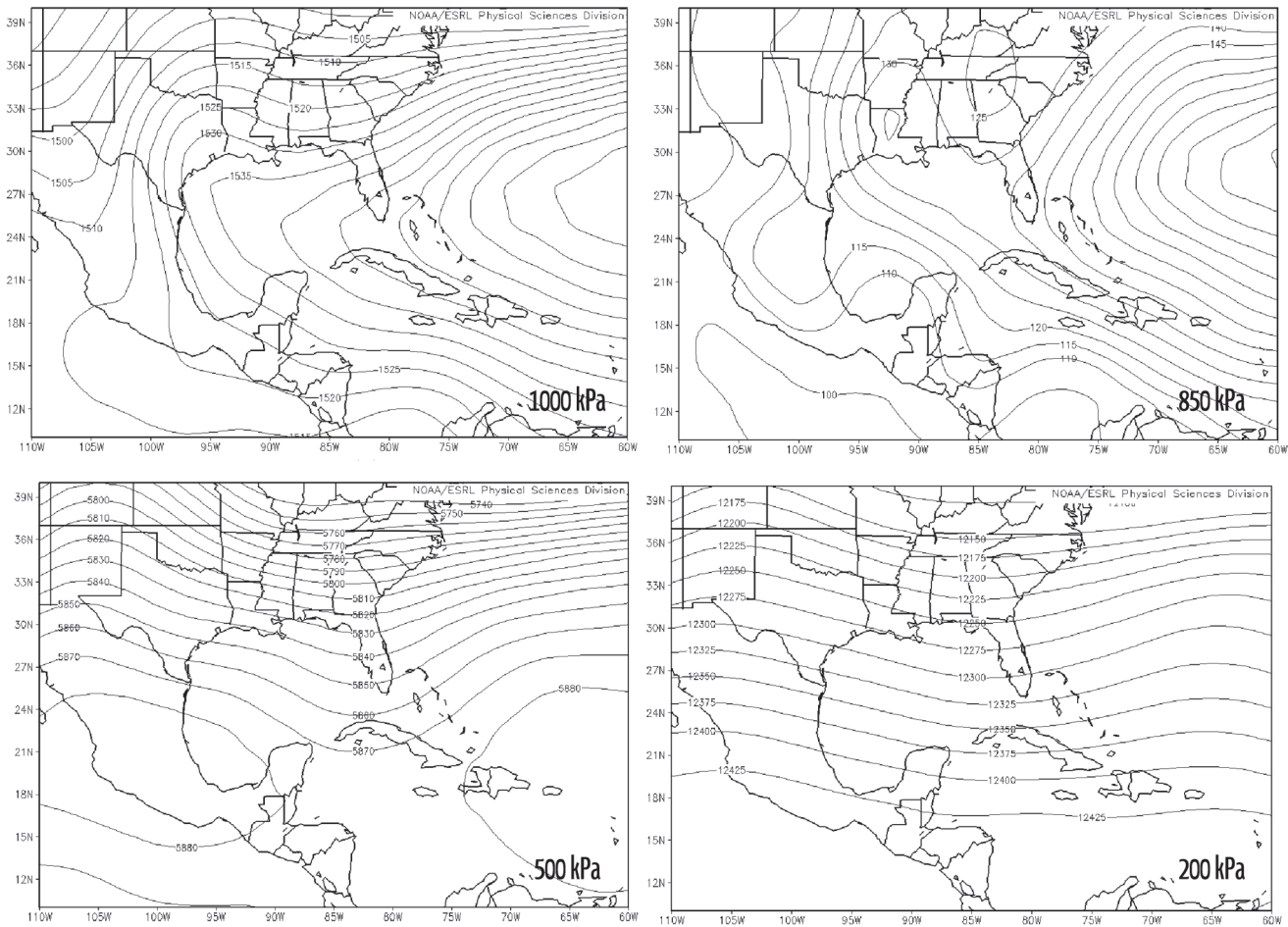


Fig. 3 Configuración sinóptica media en las que ocurrieron brotes de tiempo severo correspondientes a la vaguada de niveles medios.

Vaguada tropical troposférica superior

En el análisis de la vaguada tropical troposférica superior y su comparación con los grupos de patrones investigados por Aguilar *et al.* (2005a, b), esta se corresponde con el grupo de la Vaguada Medio-Oceánica o Vaguada Tropical Troposférica Superior (TUTT, por sus siglas en inglés), puesto que aunque no está descrito ningún patrón específico con circulaciones ciclónicas cerradas, es evidente que las BFS se forman dentro de la TUTT. Bajo este criterio se basaron las investigaciones de Acosta (2008) y Laguardia (2011), quienes lograron conocer la distribución y la ubicación de las BFS que favorecen la severidad sobre Cuba. De acuerdo con la distribución obtenida, las BFS que generaron BTS en la región occidental de Cuba se corresponden con las zonas I, II y V (Fig. 4).

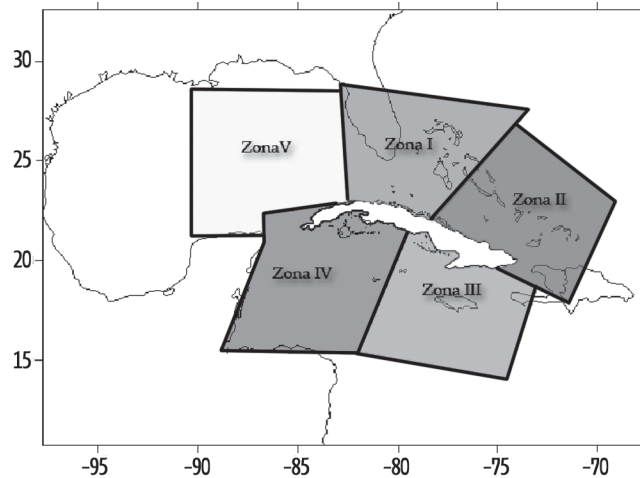


Fig. 4 Distribución de las bajas frías superiores en las inmediaciones de Cuba (Acosta, 2008).

En relación con la situación sinóptica media que se correspondía a la TUTT, en la totalidad de los casos analizados se observó una circulación ciclónica

cerrada en el nivel de 200 hPa, lo que infiere la presencia de una BFS (Fig. 5). En los niveles bajos (1 000 hPa a 700 hPa) se constató la influencia de las altas presiones subtropicales, con la dorsal extendida hacia el Golfo de México, con un régimen de vientos en la región occidental de Cuba del SE que aportan humedad en los niveles bajos de la tropósfera. En el nivel de 500 hPa se observó la influencia de la dorsal subtropical, con el aporte de un flujo cálido y húmedo de región sur, pero con tendencia a presentar circulación ciclónica en la parte occidental de Cuba.

Patrones relacionados con ondas polares profundas sobre el SE del Golfo de México y Cuba

En el patrón de las ondas polares profundas sobre el sureste del Golfo de México y Cuba, para los ca-

sos de BTS (Fig. 6), se observó que existía en el nivel de 1 000 hPa una débil zona frontal u hondonada extendida hacia el SW desde una baja extratropical localizada próxima a cabo Hatterras, y un predominio sobre la región occidental de Cuba de gradientes de presión débiles. Mientras que en el nivel de 850 hPa existía un flujo del SW sobre la región occidental de Cuba, el cual aportaba calor y humedad en los niveles bajos de la tropósfera. En 500 hPa, la vaguada asociada al sistema frontal se ubicó sobre la provincia de Pinar del Río, y se mantuvo un flujo del WSW. En 200 hPa se estuvo la representación de la vaguada sobre el SE del Golfo de México, con un flujo del W.

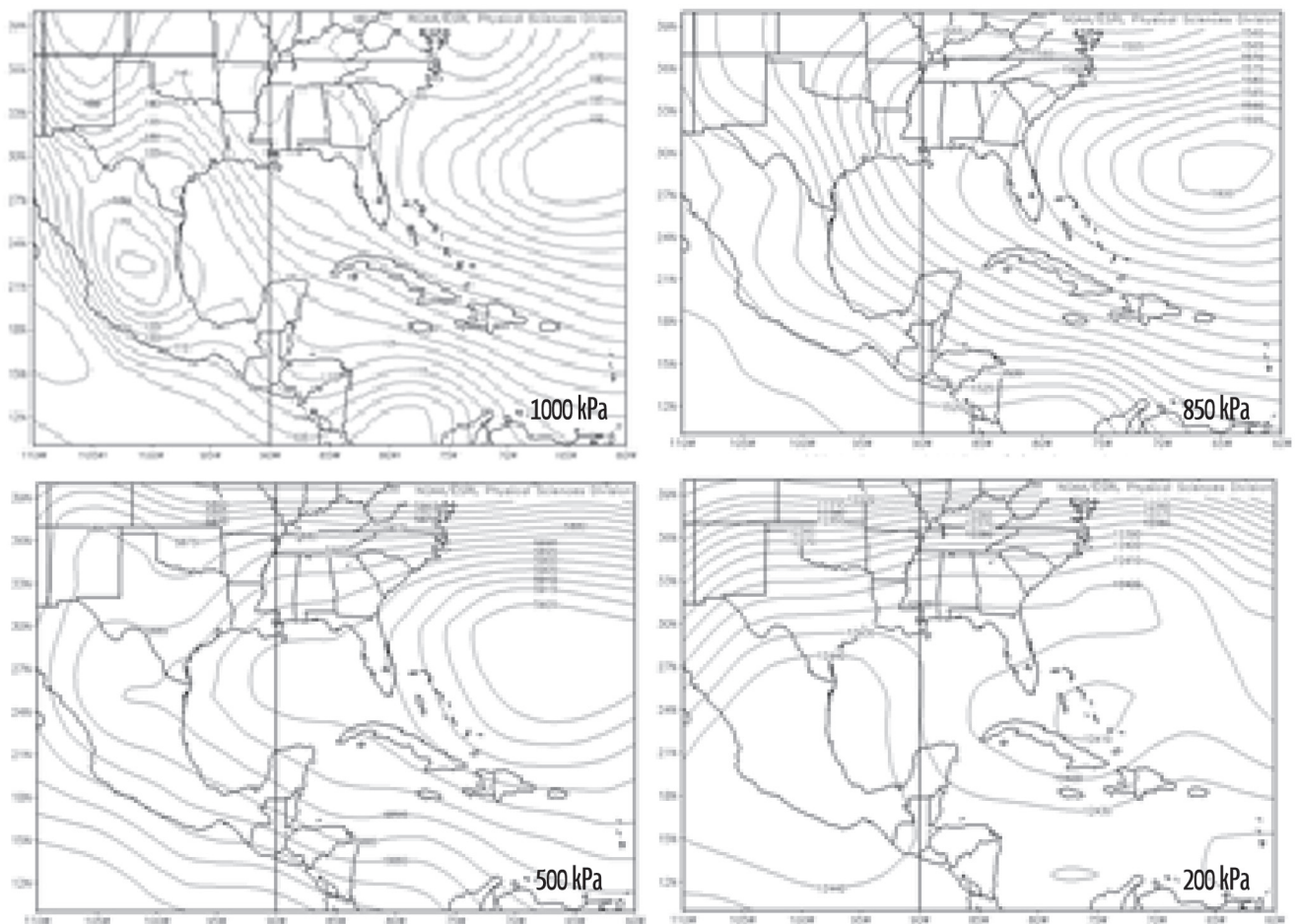


Fig. 5 Configuración sinóptica media en las que ocurrieron brotes correspondientes a los sistemas de bajas frías superiores.

Análisis de las variables meteorológicas de cada brote de tiempo severo

Una vez conocidas las configuraciones sinópticas favorables para la ocurrencia de TLS en Cuba, se identificaron las que estuvieron presentes en los días de BTS, realizando un análisis en la ∇ mesoescala de algunas variables meteorológicas que caracterizaran las zonas de confluencia del viento en superficie, las cuales estimulan los procesos de convección profunda. Purdom (1982) consideró la importancia del seguimiento de los frentes de racha para la generación de nuevas celdas convectivas. Estos frentes pueden identificarse en superficie mediante cambios en algunas variables meteorológicas, tales como la temperatura del aire, el punto de rocío, los cambios en la velocidad y la dirección del viento, y la presión at-

mosférica. En aras de identificar estas áreas o zonas, fue necesario realizar un análisis para cada mes y por provincias, dada la variabilidad natural que presentan las variables. Se relacionaron con los distintos fondos sinópticos que estaban presentes en los días tomados de ocurrencia de BTS; para ello, se seleccionaron los casos más frecuentes correspondientes a la vaguada de niveles medios (VNM), las bajas frías superiores (BFS) y las ondas polares profundas sobre el SE del Golfo de México (FF).

Variables analizadas

Para el análisis de las variables se consideró la temperatura del aire t , la temperatura de punto de rocío td , la presión atmosférica al nivel medio del mar ppp y, en el caso de las 1800 UTC, se tuvo en cuen-

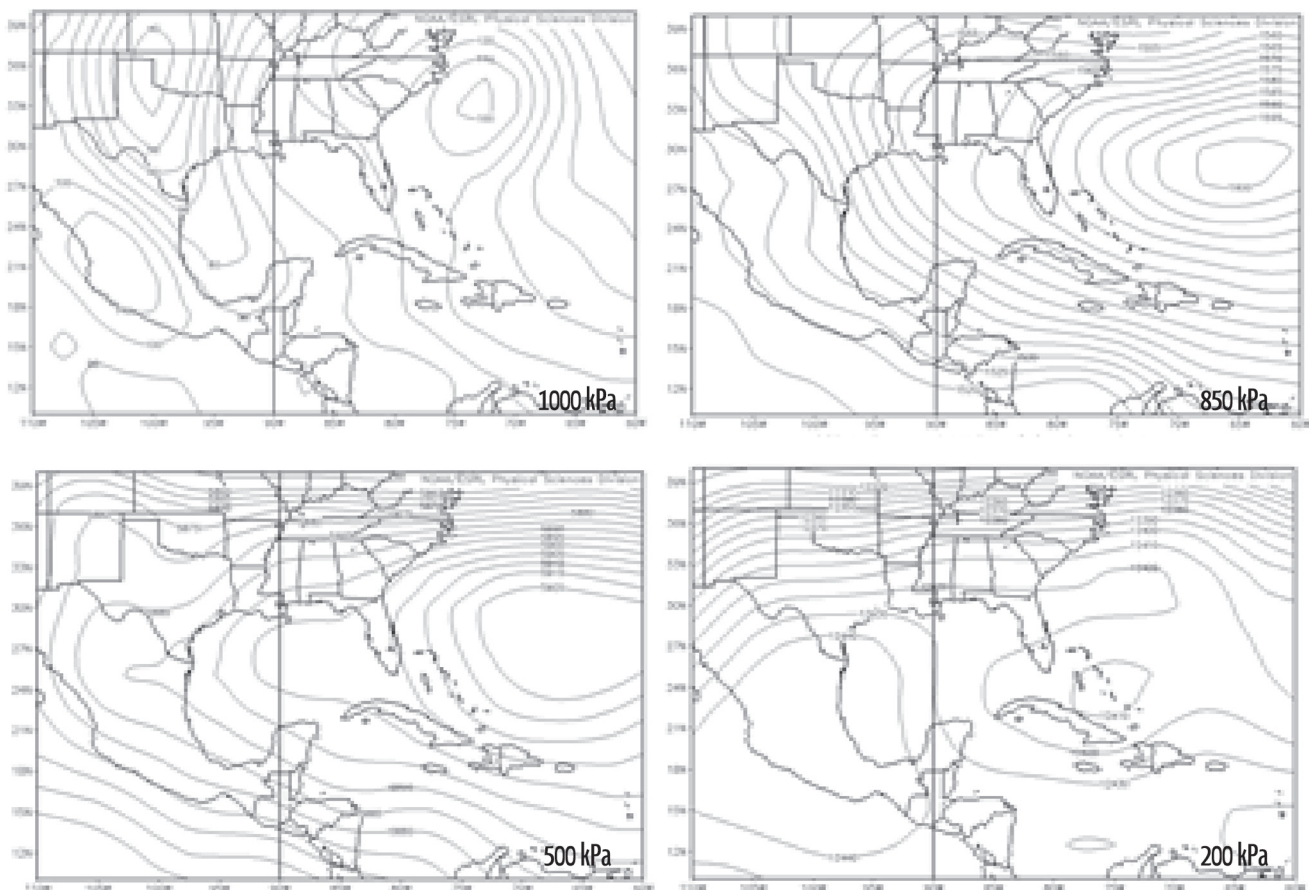


Fig. 6 Configuración sinóptica media en las que ocurrieron brotes de tiempo severo correspondientes a ondas polares profundas sobre el SE del Golfo de México y Cuba.

ta la tendencia barométrica *appp*. Para todos los casos, se calculó la desviación estándar σ . Después de haber analizado los 32 casos de BTS pudo obtenerse los umbrales para cada variable meteorológica analizada, teniendo en cuenta el comportamiento en los horarios sinópticos de las 1200 UTC y las 1800 UTC (Tablas 1 a 6).

En las tablas se exponen los umbrales de cada variable y su desviación estándar σ en los horarios de las 1200 UTC y las 1800 UTC para las provincias de Pinar del Río, Artemisa, Mayabeque, La Habana y Matanzas. Como puede observarse, cuando se comparan estas variables con las configuraciones sinópticas, los umbrales varían según el tipo de patrón que se esté valorando, lo cual permitió un mejor análisis en la γ mesoescala y pudieran ser utilizados por los pronosticadores en el trabajo operativo.

La figura 7 muestran, en la β mesoescala (Orlanski, 1975), las zonas que resultaron ser las más favorables para la ocurrencia de BTS bajo un fondo sinóptico correspondientes a la VNM son la costa norte y el SW de la provincia de Pinar del Río, las provincia de Artemisa, Mayabeque, La Habana y el interior de Matanzas.

El análisis del grupo de patrones relacionados con la VNM, junto con el comportamiento de los umbrales de las variables meteorológicas en superficie, permite inferir que ambas son capaces de provocar más de 50 % de reporte de BTS en la región occidental de Cuba, para un total de 16 casos de la muestra total.

Las zonas que resultaron más favorables para la ocurrencia de BTS bajo un fondo sinóptico correspondiente a la TUTT son el centro norte de Artemisa, Mayabeque y La Habana, y hacia el SE de Matanzas (Fig. 8). En esos casos, apareció una circulación ci-

TABLAS 1 y 2

Umbrales obtenidos para los BTS que ocurrieron en presencia de la VNM en los horarios de las 1200 UTC y las 1800 UTC

VNM 1200 UTC	t	σ	td	σ	ppp (hPa)	σ	VNM 1800 UTC	t	σ	td	σ	ppp (hPa)	σ	appp (hPa)	σ
Pinar del Río	23-25	0,7	21-23	0,7	1 014-1 016	0,7	Pinar del Río	29-31	0,6	20-23	0,8	1 014-1 016	0,7	0,5-(-0,1)	0,2
Artemisa, Mayabeque y La Habana	22-25	0,9	20-22	0,4	1 014-1 016	0,8	Artemisa, Mayabeque y La Habana	30-31	0,5	19-22	1,0	1 013-1 015	0,7	0,1-(-0,5)	0,2
Matanzas	21-23	0,8	21-22	0,3	1 014-1 016	0,8	Matanzas	30-32	0,7	19-22	1,1	1 014-1 015	0,6	0,2-(-0,7)	0,4

TABLAS 3 y 4

Umbrales obtenidos para los BTS que ocurrieron en presencia de las BFS para los horarios de las 1200 UTC y las 1800 UTC

BF 1200 UTC	t	σ	td	σ	ppp (hPa)	σ	BF 1800 UTC	t	σ	td	σ	ppp (hPa)	σ	appp (hPa)	σ
Pinar del Río	24-25	0,5	22-23	0,3	1 015-1 017	0,7	Pinar del Río	29-31	0,8	20-23	0,7	1 016-1 017	0,7	0,2-0,6	0,1
Artemisa, Mayabeque y La Habana	24-25	0,6	23-24	0,4	1 016-1 018	0,7	Artemisa, Mayabeque y La Habana	30-31	0,6	19-22	0,8	1 015-1 017	0,7	0,3-(-0,1)	0,1
Matanzas	23-24	0,4	22-23	0,2	1 015-1 017	0,7	Matanzas	30-32	0,7	19-22	0,7	1 015-1 017	0,6	0,2-(-0,2)	0,1

TABLA 5 y 6

Umbrales obtenidos para los BTS que ocurrieron en presencia de FF sobre el SE del Golfo de México para los horarios de las 1200 UTC y las 1800 UTC

FF 1200 UTC	t	σ	td	σ	ppp (hPa)	σ	FF 1800 UTC	t	σ	td	σ	Ppp (hPa)	σ	appp (hPa)	σ
Pinar del Río	22-25	1,1	20-23	0,7	1 011-1 013	0,8	Pinar del Río	29-32	1,3	19-24	1,6	1 010-1 012	0,7	0,7-(-0,2)	0,4
Artemisa, Mayabeque y La Habana	21-24	0,8	20-21	0,6	1 011-1 012	0,7	Artemisa, Mayabeque y La Habana	28-30	0,3	19-22	1,0	1 011-1 013	0,8	-0,1-(-0,8)	0,3
Matanzas	22-24	1,0	20-22	0,6	1 011-1 013	0,7	Matanzas	26-28	0,9	19-21	0,7	1 011-1 013	0,4	0,5-(-0,3)	0,3

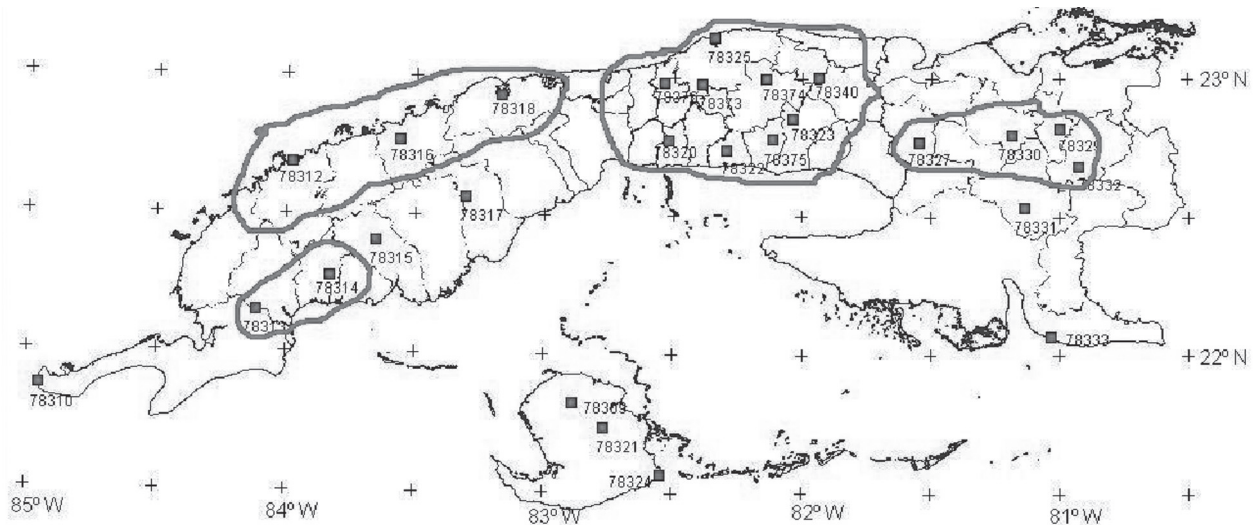


Fig. 7 Localización en la β mesoescala de las zonas donde ha ocurrido la severidad.

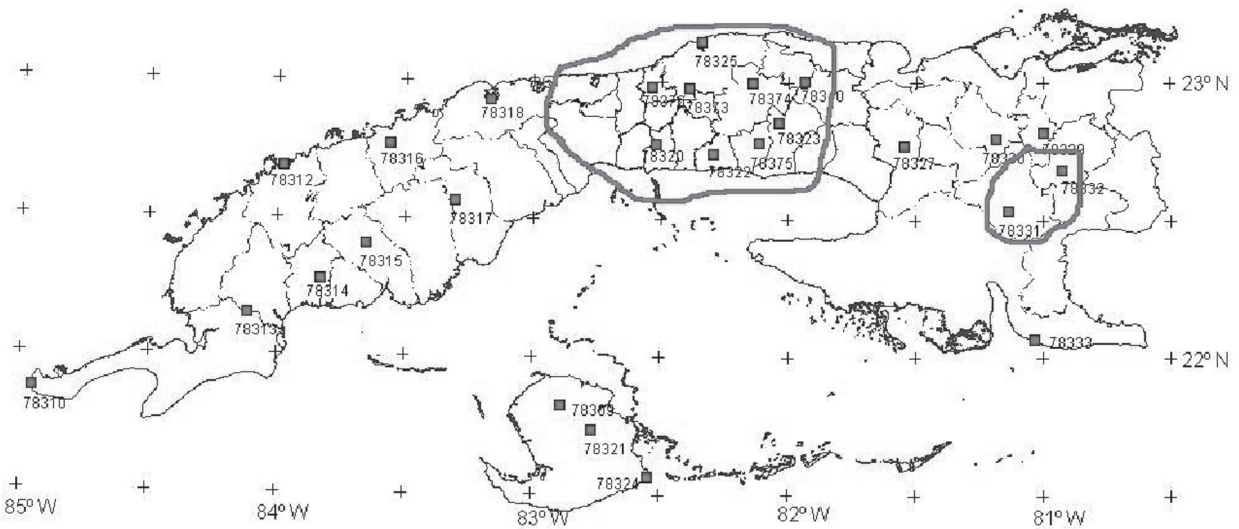


Fig. 8 Localización en la β mesoescala de las zonas donde ocurrió la severidad.

clónica cerrada en el nivel de 200 hPa, en combinación con los umbrales mostrados en las tablas 3 y 4. El análisis de los grupos relacionados con la TUTT permitió valorar que para la ocurrencia de BTS en combinación con los umbrales a mesoescala descritos (ver Tablas 3 y 4) es necesario que, al menos, exista una circulación ciclónica cerrada en 200 hPa, ubicada en las zonas I, II y V mostradas en la figura 4.

La figura 9 muestra que las condiciones más favorables para la ocurrencia de BTS bajo la presencia de FF sobre el SE del Golfo de México se originaron en las localidades de Artemisa, Mayabeque y La Habana, así como en el SE de Matanzas, que se localizaron en

las inmediaciones de las áreas mencionadas. El brote del 16 de mayo de 1999 se desarrolló en varias localidades del occidente; en especial, para la localidad de Calimete, en la provincia de Matanzas, se observaron temperaturas relativamente bajas, un ambiente seco y valores positivos de la tendencia barométrica, y se constató la formación de un tornado.

Con vistas a utilizar los resultados obtenidos en la práctica, fue necesario aplicar un procedimiento para la clasificación de las condiciones en la γ mesoescala, según los umbrales obtenidos para cada variable meteorológica analizada. Los umbrales se clasificaron como *favorables*, si sus valores concor-

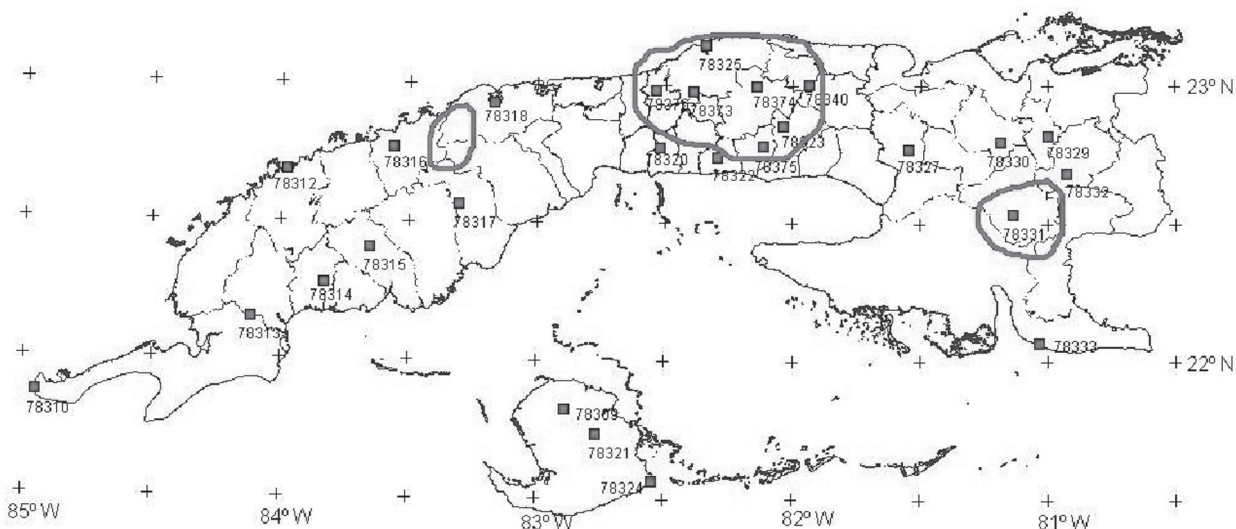


Fig. 9 Localización en la β mesoescala de las zonas donde ocurrió la severidad.

daban con los obtenidos en las tablas de la 1 a la 6; *desfavorables*, cuando se encontraban por debajo del valor medio; y *muy favorable*, cuando los valores se hallaron por encima. Para el promedio de las clasificaciones se asignó un número de 0 a 3 (Tabla 7); el resultado es un valor adimensional al cual se denominó *potencial de severidad* (PS).

TABLA 7

Clasificación de los umbrales

Clasificación de los umbrales	Potencial de severidad
0 Desfavorable	$0 < P_s \leq 1$
1 Marginalmente favorable	$1 < P_s \leq 2$
2 Favorable	$2 < P_s \leq 3$
3 Muy favorable	$3 < P_s$

Estudio del caso del 27 de abril de 2012

El 27 de abril de 2012, a las 1200 UTC, la región occidental de Cuba se encontraba bajo la influencia de las altas presiones, con su centro retirado hacia el Atlántico, manteniendo un flujo del NE en la región occidental de Cuba. En los niveles bajos y medios se observó una vaguada bien representada sobre el sureste del Golfo de México y próxima a Pinar del Río, que imponía corrientes del SE en el occidente cubano (Fig. 10).

Cuando se analizaron los umbrales de las variables meteorológicas en la γ mesoescala a las 1800 UTC, se encontraron condiciones favorables para la ocurrencia de severidad entre la ciudad de Pinar del Río y Paso Real de San Diego, así como en el sur de Mayabeque; en cambio, en el resto del territorio eran desfavorables (Fig. 11).

En el estudio de caso del día 27 de abril de 2012 (ver Fig. 11), se observó que las variables meteorológicas en la γ mesoescala se tornaron favorables en el SW de la provincia de Pinar del Río, específicamente en las estaciones 313, 314 y la 315, indicando una elevada probabilidad de que ocurriera convección profunda. La temperatura del aire se clasificó de muy favorable (3), al mostrar valores por encima de los umbrales obtenidos; el punto de rocío era marginalmente favorable (1); la velocidad del viento era marginalmente favorable (1); y la dirección del viento mostraba un cambio de cuadrante entre las estaciones 314 y 315 de la provincia de Pinar del Río, con una caída de presión de -2.9 hPa, clasificada de muy favorable (3). Al promediar las clasificaciones de acuerdo con los valores asignados resultó un valor de 2.0, por lo cual se clasificó de elevada la probabilidad para la ocurrencia de convección profunda. Se reportó la caída de granizos de 1 cm de diámetro en el Reparto Hermanos

– **Artículos originales:** Condiciones meteorológicas a mesoescala
que favorecen la ocurrencia de convección profunda en el Occidente de Cuba –

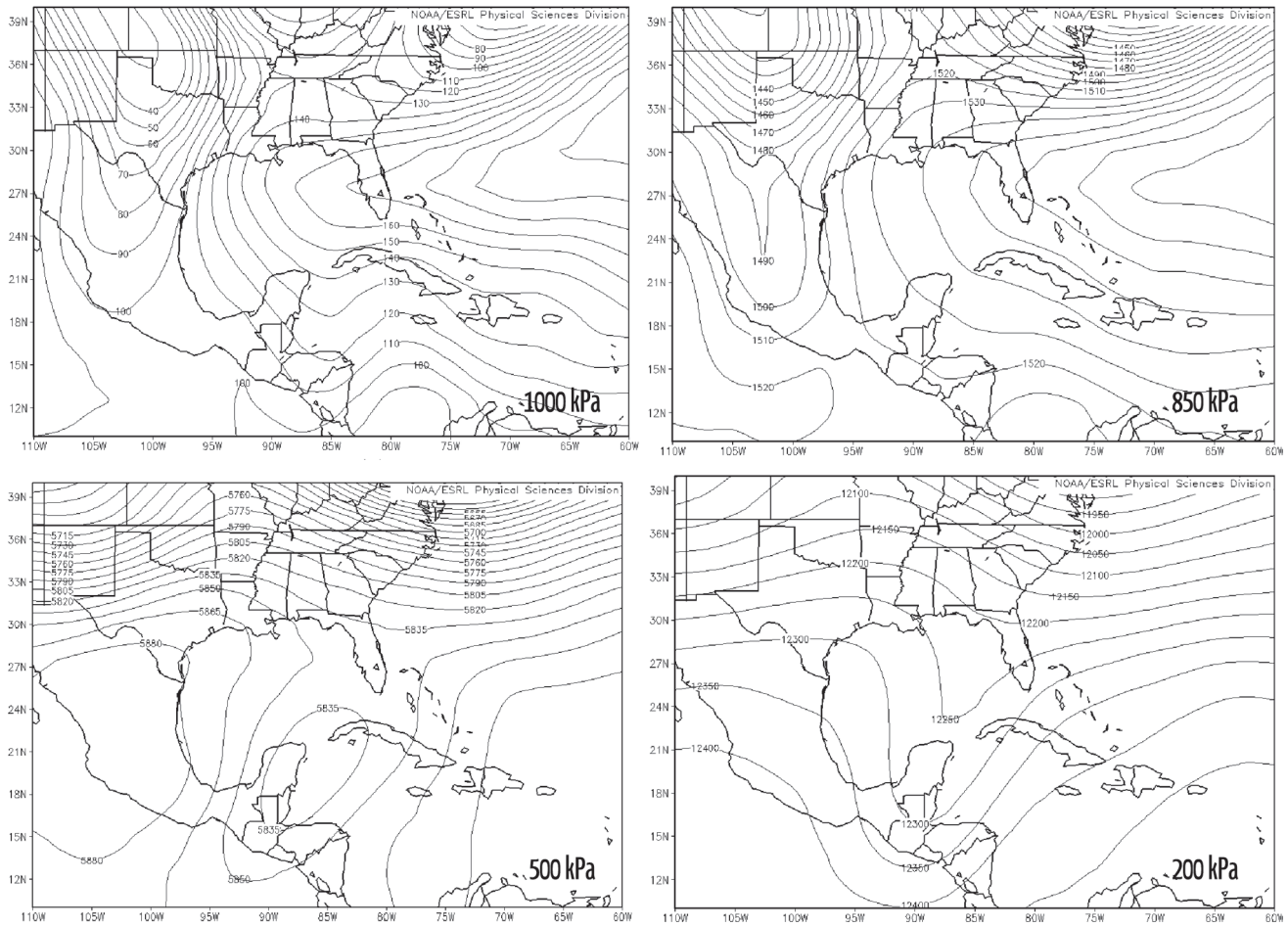
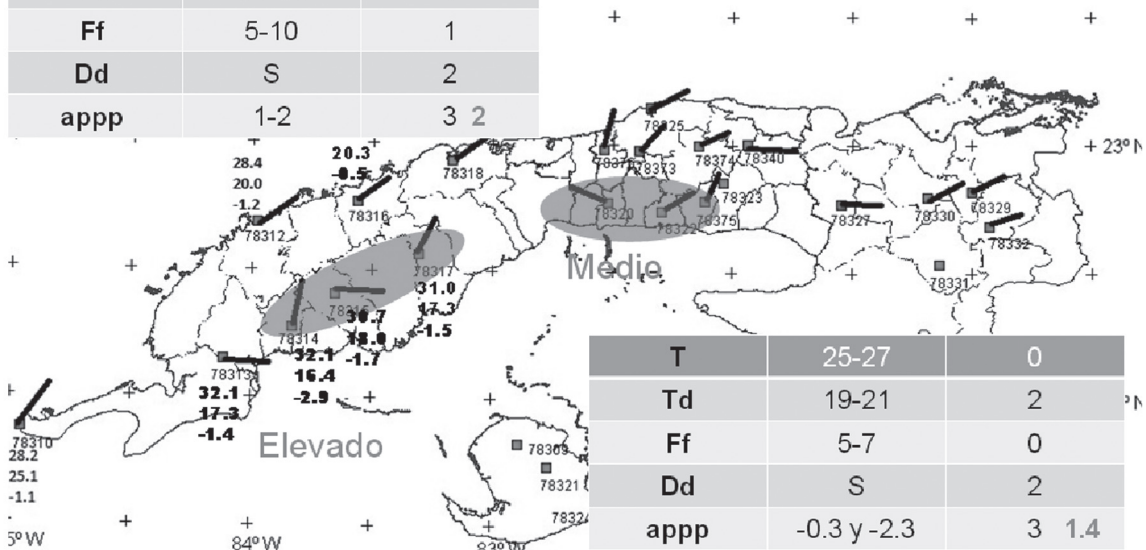


Fig. 10 Configuración sinóptica del 27 de abril de 2012.

T	30-32	3
Td	16-18	1
Ff	5-10	1
Dd	S	2
appp	1-2	3 2



T	25-27	0
Td	19-21	2
Ff	5-7	0
Dd	S	2
appp	-0.3 y -2.3	3 1.4

Fig. 11 Análisis de superficie, a las 1800 UTC, de los umbrales en la Y mesoescala para determinar las zonas más propicias a producir convección profunda.

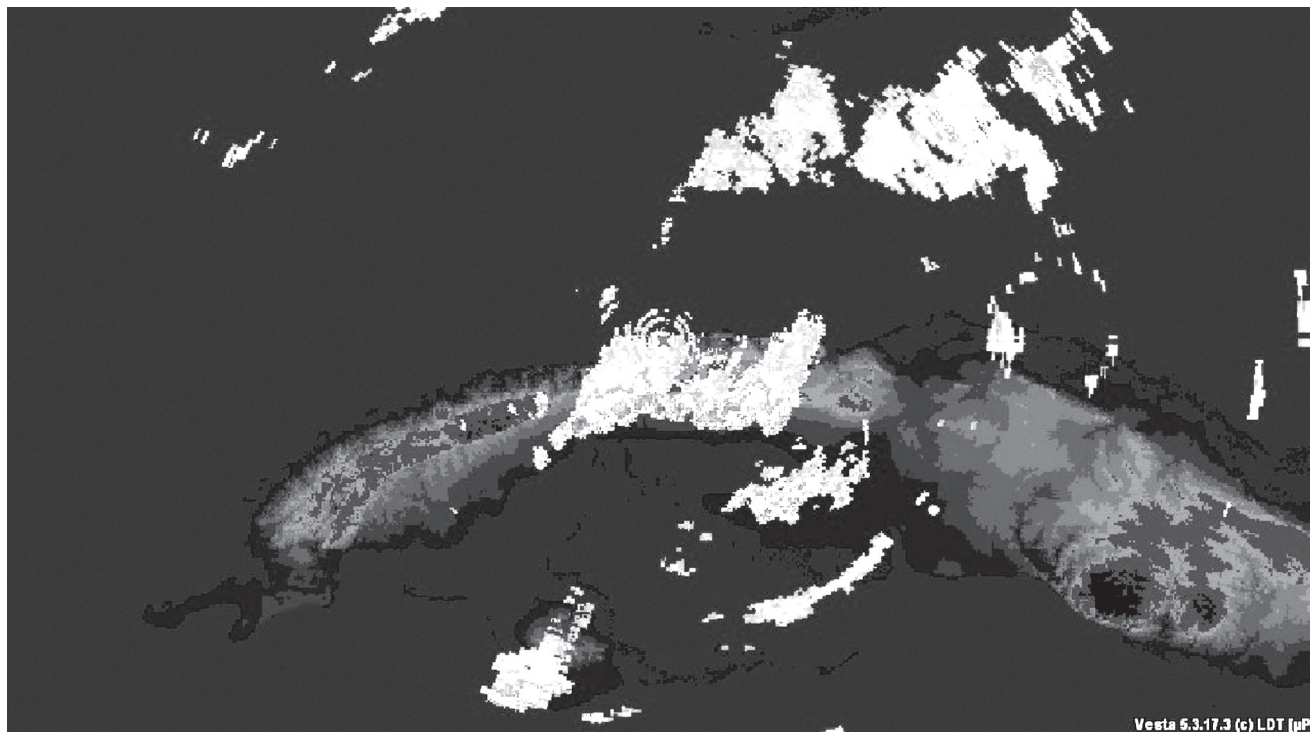


Fig. 12 Imagen del radar meteorológico de Casablanca, a las 18:30 UTC del día 27 de abril de 2012.

Cruz, perteneciente a la ciudad de Pinar del Río, así como vientos fuertes de hasta 64 km/h.

De igual manera, se realizó el análisis para el SW de Mayabeque: los valores de temperatura eran desfavorables (0); el punto de rocío presentaba valores favorables (2) cercanos a la media; la velocidad del viento era desfavorable (0); la dirección del viento indicaba un cambio de cuadrante entre las estaciones 320 y 322, y entre las estaciones 376, 373 y 320, con una caída de presión entre -0.3 hPa y -2.3 hPa, clasificada de muy favorable (3); el promedio de estos valores resultó ser 1.4, siendo media la probabilidad de ocurrencia de convección profunda, lo cual pudo comprobarse con la imágenes del radar de Casa Blanca (Fig. 12), donde se observan fuertes núcleos de reflectividad sobre esta zona. En la estación meteorológica de Melena del Sur, a las 21:48 UTC, se reportó caída de granizo y viento fuertes.

En el estudio de caso las áreas donde ocurrió la severidad coincidieron con las zonas seleccionadas en la investigación como zonas favorables en

la β mesoescala para la ocurrencia de convección profunda, bajo el patrón sinóptico correspondiente a la VNM localizada cerca de la provincia de Pinar del Río.

Conclusiones

1. El análisis de las variables meteorológicas escogidas permitió determinar umbrales e identificar zonas donde existe un mayor acoplamiento de los mecanismos a escala sinóptica y mesoescala para generar brotes de tiempo severo.
2. Los patrones relacionados con la vaguada de niveles medios son los que, en combinación con los elementos de mesoescala, generaron más de 50 % de los brotes de tiempo severo en la región occidental.
3. El estudio de caso presentado es un ejemplo de las potencialidades de la vigilancia a escala sinóptica y a mesoescala, como paso previo en la detección y el seguimiento de los brotes de tiempo severo, y permitirá perfeccionar la herramienta ROSET con mi-

ras al pronóstico a escala sinóptica de condiciones favorables para tormentas locales severas.

Referencias

- Acosta, G, 2008, Los tornados en Cuba. Análisis de algunas condiciones favorables para su desarrollo dentro del período lluvioso. Trabajo de diploma en opción al título de Licenciado en Meteorología. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas 68 pp.
- Alfonso, A. P, 1994, *Climatología de las tormentas locales severas de Cuba. Cronología*, Ed. Academia, La Habana. 168 pp.
- Aguilar, G, L. Naranjo y M. Carnesoltas, 2005a, Informe de resultado científico. Creación de un sistema experto de condiciones a escala sinóptica favorables para la ocurrencia de tormentas locales severas para el período poco lluvioso en Cuba, del proyecto Condiciones sinópticas favorables para la ocurrencia de tormentas locales severas en Cuba. Un esquema para su predicción, Instituto de Meteorología, 35 pp.
- _____ 2005b, Informe de resultado Científico. Establecimiento de condiciones de la circulación atmosférica a escala sinóptica en los alrededores de Cuba, favorables para la aparición de tormentas locales severas del proyecto Condiciones sinópticas favorables para la ocurrencia de tormentas locales severas en Cuba. Un esquema para su predicción, Instituto de Meteorología, 35 pp.
- _____ 2007, Condiciones a escala sinóptica para la ocurrencia de aeroavalanchas asociadas a las Tormentas Locales Severas en Cuba. Un esquema para su predicción. Tesis en opción al grado científico de doctor en Ciencias Meteorológicas, Insmet.
- Benedico O, M. Carnesoltas y G. Aguilar, 2005, “Línea de confluencia del flujo a mesoescala. Situaciones a escala sinóptica favorables para su ocurrencia y su relación con las precipitaciones convectivas sobre Ciego de Ávila, Cuba”, *Rev. Cubana de Meteor.*, 12, 2, 43-50.
- Bermúdez Y, G. Aguilar y A. Wallo, 2009, Distribución de las tormentas locales severas en Cuba. Informe de resultado científico del proyecto Distribución de las tormentas locales severas en Cuba y entorno favorable a mesoescala para su desarrollo, Instituto de Meteorología, 20 pp.
- Carnesoltas, M., M. Sierra, D. Rabelo y E. Fernández, 2013, Informe de resultado científico. Factores físicos que influyen en la caída de granizos y en las aeroavalanchas sobre Cuba, del proyecto ramal Los patrones de TLS en Cuba, su relación con la variabilidad climática y elementos a mesoescala que determinan el tipo de severidad, Instituto de Meteorología, 65 pp.
- González, C, 2012, Configuraciones a mesoescala de algunas variables meteorológicas que favorecen los brotes de tiempo severo en la región occidental de Cuba. Trabajo de diploma en opción al título de licenciado en Meteorología, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, 67 pp.
- Laguardia, I, 2011, Las bajas frías superiores sobre o próximas a Cuba y su relación con las tormentas locales severas. Trabajo de diploma en opción al título de licenciado en Meteorología, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, 171 pp.
- Orlanski, I, 1975, “A rational subdivision of scale for atmospheric processes”, *Bull. Met. Soc.*, 65, 1, 527-530.
- Purdom, J. F. W, 1982, *Subjective interpretation of geostationary satellite data for nowcasting. Nowcasting*, Ed. Academic Press, 149-166.
- Sitio de internet: http://nomad2.ncep.noaa.gov/ncep_data/.