

Campos de viento y temperatura a mesoescala en la región oriental de Cuba para la ocurrencia tormentas locales severas. Estudio de caso

Wind and temperature fields to mesoscale in the eastern region of Cuba for the occurrence of severe local storms. Case study

Yanneyis Rojas-Díaz^{1✉}, Mario Carnesoltas-Calvo²

¹ Centro Meteorológico Provincial de Guantánamo, Instituto de Meteorología, Cuba

² Centro de Física de la Atmósfera, Instituto de Meteorología, Cuba

Resumen

Se presenta una parte del resultado de una investigación dirigida a encontrar las configuraciones a meso escala que adoptaron los campos del viento y de la temperatura en superficie sobre en el territorio de las cinco provincias orientales de Cuba bajo la ocurrencia de tormentas locales severas entre 1980 - 2011. El resultado mostró que dos de los principales factores que determinaron las zonas donde se iniciaron y se desarrollaron la convección profunda sobre dicho territorio, fueron las componentes del flujo ageostrófico y el campo de la diferencia de temperatura a mesoescala. Las características físico-geográficas específicas de la región oriental provocan que ambos campos adopten diferentes configuraciones bajo la influencia de cada uno de los patrones a escala sinóptica favorables para la ocurrencia de severidad local. En el análisis realizado a la muestra tomada se encontraron dos zonas fundamentales como fuentes de calor para el desarrollo de la convección profunda: la extensa llanura de la cuenca del río Cauto y el Valle de Guantánamo. Aunque el extenso informe donde se presentaron los resultados se acompañó de los mapas correspondientes a cada patrón, solamente se expone la TLS ocurrida en las inmediaciones de la estación meteorológica de Veguitas, provincia de Granma, el 28 de junio de 2007 a las 22 UTC, con una racha máxima medida de 19.4 m/s.

Palabras clave: mesoescala, tormentas locales severas, Cuba

✉ Autor para correspondencia: Yanneyis Rojas-Díaz. E-mail: yanneyis.rojas@gtm.insmet.cu

Recibido: 21 de octubre de 2016

Aceptado: 20 de marzo de 2017

Abstract

A partial result of an investigation addressed to determine wind mesoscale and surface temperature configurations over the five Eastern provinces at times when severe local thunderstorms occurred, between 1980 and 2011 is presented. The output shows that two of the main factors that determined the zones where deep convection started and developed were the components of the ageostrophic flux and the mesoscale temperature difference field. The specific physical and geographical characteristics of this region force these fields to assume different configurations under the influence of each of the different synoptic patterns favorable to the occurrence of local severity. In the analysis made to the sample taken, two main heat sources for the development of deep convection were detected: The wide plain of the Cauto river basin and the Guantánamo valley. Though in the extensive report where all results were presented there were maps accompanying each pattern, only the local thunderstorm that took place near Veguitas meteorological station on Jun 28 2007 at 22h UTC is presented here, which had a maximum observed gust of 19.4 m/s.

Key words: mesoscale, local severe thunderstorms, Cuba

Introducción

Las Tormentas Locales Severas (TLS) se desarrollan entre las escalas β -meso y la α -micro ([Anexo I](#)), de acuerdo a la clasificación de [Orlanski \(1975\)](#). Sin embargo, el comportamiento de la convección profunda, como el resto de los fenómenos meteorológicos asociados a ella, ocurren en una estrecha interacción entre los procesos de diferentes escalas atmosféricas. En este caso se relacionaron los 26 patrones de la escala llamada “sinóptica” que resultan favorables para la ocurrencia de TLS en Cuba ([Aguilar et al., 2009, 2010](#); [Carnesoltas et al., 2010](#)). Por su parte, la escala sinóptica abarca los procesos entre las escalas β -macro hasta una parte de la β -meso.

Por sus impactos negativos, al tema de las TLS y los procesos asociados se les ha dedicado especial interés por parte de los investigadores en la mayoría de los territorios afectados. Por mencionar sólo algunos ejemplos, aparecen los aportes de los conceptos de celda convectiva de [Byers & Braham \(1948\)](#); de la etapa de madurez

severa de [Browning & Atlas, \(1965\)](#); y la amplia documentación de [Doswell III \(1985\)](#), y [Doswell III & Schultz \(2006\)](#). En Cuba durante las últimas tres décadas también se han venido realizando diversas investigaciones sobre las circulaciones locales, la convección profunda y las TLS, entre los que pueden mencionarse la cronología de [Alfonso \(1994\)](#), y [Benedico et al., \(2005\)](#); los numerosos trabajos dirigidos por [Aguilar et al. \(2005, 2009, 2010\)](#), [Aguilar \(2006\)](#), y [Bermúdez \(2009\)](#); los aspectos teóricos de [Carnesoltas \(1987, 2002a, 2002b, 2011\)](#), [Rojas \(2006\)](#), [Martínez \(2008\)](#), [Carnesoltas et al. \(2010a, 2010b, 2013\)](#), y [Rabelo \(2012\)](#).

En el resultado que se presenta se incluyó un análisis de un periodo mayor de años y se profundiza más en las relaciones con la mesoescala y en las condiciones necesarias y suficientes para la ocurrencia de severidad local. Abarca el análisis para todo el año (tanto para el período poco lluvioso como el lluvioso), teniendo en cuenta los 26 patrones a escala sinóptica favorables para la ocurrencia de TLS en Cuba propuestas por [Aguilar et al. \(2005\)](#),

con el comportamiento de elementos a mesoescala que determinaron y el lugar de inicio y el de desarrollo de la nube de tormenta en la región oriental. El volumen de información disponible permitió depurar algunos datos que se consideraron erróneos y/o no relevantes que pudieran afectar negativamente el resultado esperado.

El objetivo principal de la investigación consistió en identificar las configuraciones típicas que adoptaron los campos de viento y temperatura a mesoescala cuando la región oriental se encontraba bajo la influencia de los patrones a escala sinóptica favorables para las TLS.

Materiales y Métodos

Información empleada. Partiendo de los 26 patrones a escala sinóptica favorables para la ocurrencia de TLS en Cuba ([Aguilar et al., 2005](#)), y los reportes existentes de días con TLS en las 5 provincias orientales (Las Tunas, Holguín, Granma, Santiago de Cuba y Guantánamo), se extrajeron los datos de dirección, velocidad del viento y temperatura a las 1800 UTC de las estaciones meteorológicas del INSMET en el periodo desde 1980 – 2011. Además, se tomaron las variables viento, temperatura y humedad relativa de los mapas de los niveles superficie, 850, 700 y 500 hPa en el horario de las 1800 UTC de los días con reportes de TLS, y el geopotencial del nivel de 700 hPa a las 0000 UTC para identificar el patrón que correspondía a cada día con reportes (todos del sitio <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/composites/hour/> del National Center of

Environmental Prediction, NCEP), de cada día del período desde el año 1980 hasta el 2011. La muestra total fue de 850 reportes. Con los mapas de temperatura y flujo en superficie del día del reporte se determinaron los campos de temperatura y flujo que existía sobre la región de estudio.

Teniendo en cuenta la extensión del informe final de la investigación, en el presente trabajo solamente se expone como ejemplo, el estudio de caso de la TLS ocurrida en las inmediaciones de la estación meteorológica de Vaguitas, provincia de Granma, el 28 de junio de 2007 a las 22 UTC, con una racha máxima medida de 19.4 m/s. esta TLS se desarrolló bajo las condiciones del patrón 19 ([Carnesoltas et al., 2010a](#)).

Procesamiento de los datos. El vector del viento resultante (V_{RESULT}), o sea, el medido instrumentalmente en cualquier estación meteorológica ([Carnesoltas, 1987](#)), es la suma vectorial de las componentes de todas las fuerzas a las distintas escalas que están actuando sobre el punto a cada instante. De esta forma en la α -meso escala estarán comprendidos los procesos de la escala sinóptica inferior (vector del viento geostrófico V_g y el vector ageostrófico a esta escala V_{ag}), en las componentes β -meso escala estará la circulación de la brisa de mar y tierra (V_b), y en la γ -meso escala los efectos orográficos (V_{or}), la fricción con la superficie terrestre (V_{fr}), los disturbios producidos por las estructuras coherentes de la convección, las fluctuaciones turbulentas $(\sum V_i)_{\gamma\text{-meso}}$ mientras que el resto serán los efectos de la micro escala $(\sum V_j)_{\text{micro}}$ ([ecuación 1](#)).

$$\vec{V}_{RESUL} = (\vec{V}_g + \vec{V}_{ag})_{\alpha\text{-meso}} + [(\vec{V}_b) - \vec{V}_{or} - \vec{V}_{fr}]_{\beta\text{-meso}} + \left(\sum_i \vec{V}_i \right)_{\gamma\text{-meso}} + \left(\sum_j \vec{V}_j \right)_{\text{micro}} \quad (1)$$

Luego, es posible determinar las componentes de la β -meso escala, con una aceptable aproximación, mediante la resta de las componentes de la α -meso escala al vector resultante ([ecuación 2](#)).

La suma de las componentes de los vectores a α -meso escala $(\vec{V}_g + \vec{V}_{ag})_{\alpha\text{-meso}}$, resultan fácil de obtener de los re-análisis disponibles, mientras que la suma de las componentes a γ -meso escala y de la micro escala se consideraron una aproximación aceptable al ser de menores órdenes de magnitud que para el objetivo propuesto en la investigación, y a su vez, imposibles de tenerlos en cuenta dado que, la densidad de la red de estaciones existentes no permite detectar los pequeños procesos a estas pequeñas escalas ([ecuación 3](#)).

$$\left[\left(\sum_i \vec{V}_i \right)_{\gamma\text{-meso}} + \left(\sum_j \vec{V}_j \right)_{\text{micro}} \right] \quad (3)$$

Así, a las componentes del vector del viento resultante en cada estación meteorológica $(u, v)_{RESUL}$ se les restaron las componentes del flujo general a escala sinóptica $(u_g + u_{ag}, v_g + v_{ag})_{\alpha\text{-meso}}$, según la [ecuación 2](#).

$$\left(\sum_k \vec{V}_k \right)_{\beta\text{-meso}} = \vec{V}_{RESUL} - \left(\sum_n \vec{V}_n \right)_{\alpha\text{-meso}} - \left[\left(\sum_i \vec{V}_i \right)_{\gamma\text{-meso}} + \left(\sum_j \vec{V}_j \right)_{\text{micro}} \right] \quad (2)$$

$$(u_g + u_{ag})_{\alpha\text{-meso}} = -ff_g \text{sen}(dd_g) \quad (v_g + v_{ag})_{\alpha\text{-meso}} = -ff_g \text{cos}(dd_g) \quad (4)$$

$$u_{RESUL} = -ff_e \text{sen}(dd_e) \quad v_{RESUL} = -ff_e \text{cos}(dd_e) \quad (5)$$

$$(u_{ag})_{\text{meso}} = u_{RESUL} - (u_g + u_{ag})_{\alpha\text{-meso}} \quad (v_{ag})_{\text{meso}} = v_{RESUL} - (v_g + v_{ag})_{\alpha\text{-meso}} \quad (6)$$

$$(dd_{ag})_{\text{meso}} = \arctg\left(\frac{u_{ag}}{v_{ag}}\right) \quad (ff_{ag})_{\text{meso}} = \sqrt{(u_{ag})^2 + (v_{ag})^2} \quad (7)$$

Donde: ff_g y dd_g son la velocidad (m/s) y la dirección del viento

De manera similar con la temperatura reportada por cada estación (tt_e) se determinó la diferencia con respecto a los valores del campo general de temperatura a α -meso escala (tt_g)

$$\Delta t = tt_e - tt_g \quad (8)$$

Esto permitió obtener las componentes ageostróficas (u_{ag}, v_{ag}) y las diferencias de temperatura (Δt), ambas a β -meso escala, en cada estación con respecto a las condiciones generales a mayor escala por cada patrón identificado.

El asentamiento de los datos ([ecuación 7](#)) y ([ecuación 8](#)) se llevó a cabo con el programa “digital atmosphere”. La velocidad (ff_{ag}) en el vástago de la dirección se asienta en m/s y la diferencia de temperatura en grados Celsius.

Resultados y Discusión

Distribución por patrones. De los 850 reportes de TLS entre 1980 y 2011 tomados como muestra, el 77,6 % corresponden al periodo lluvioso (Mayo-Octubre). De ellos, ocurrieron 542 días con tormentas severas, mientras 21 días de la muestra no pudieron ser asociados con claridad a ninguno de los 26 patrones favorables a escala sinóptica.

Si los reportes de días con TLS tomados en la muestra en las 5 provincias orientales se clasifican de acuerdo al patrón sinóptico y su grupo correspondiente, se puede observar en la [tabla 1](#). En ella se puede observar que para la región de las 5 provincias orientales la mayor frecuencia de TLS ocurre bajo las condiciones meteorológicas que se presentan durante los

meses de abril y mayo (54.2%), seguida de las que se presentan durante el resto del periodo lluvioso en presencia de la TUTT (30.5%).

En el análisis de los histogramas ([Figura 1](#)), de la cantidad de días con TLS reportados en las 5 provincias orientales de acuerdo a los patrones y grupos correspondientes se evidenció que, en

Tabla 1. Distribución (en %) de los días con TLS de acuerdo al patrón y grupo correspondiente

PERIODO	GPO.	CARACTERISTICAS	PATRONES	%
Poco Lluvioso	1	Anticiclón Subtropical con la dorsal hasta 700 hPa sobre Cuba	1, 4, 5, 10, 14, 15	5.8
	2	Ondas Polares sobre el Golfo México	2, 7, 9, 12, 13, 16	8.4
	3	Ciclogénesis en el Golfo de México	3, 6, 8, 11	1.1
Lluvioso	4	Presencia de TUTT. Dorsal Anticiclónica niveles bajos y medios	17, 18, 21, 22, 25	30.5
	5	Dorsal anticiclónica extendida sobre los E.U. flujo del estesusdeste en superficie	19, 20, 23, 24, 26	54.2

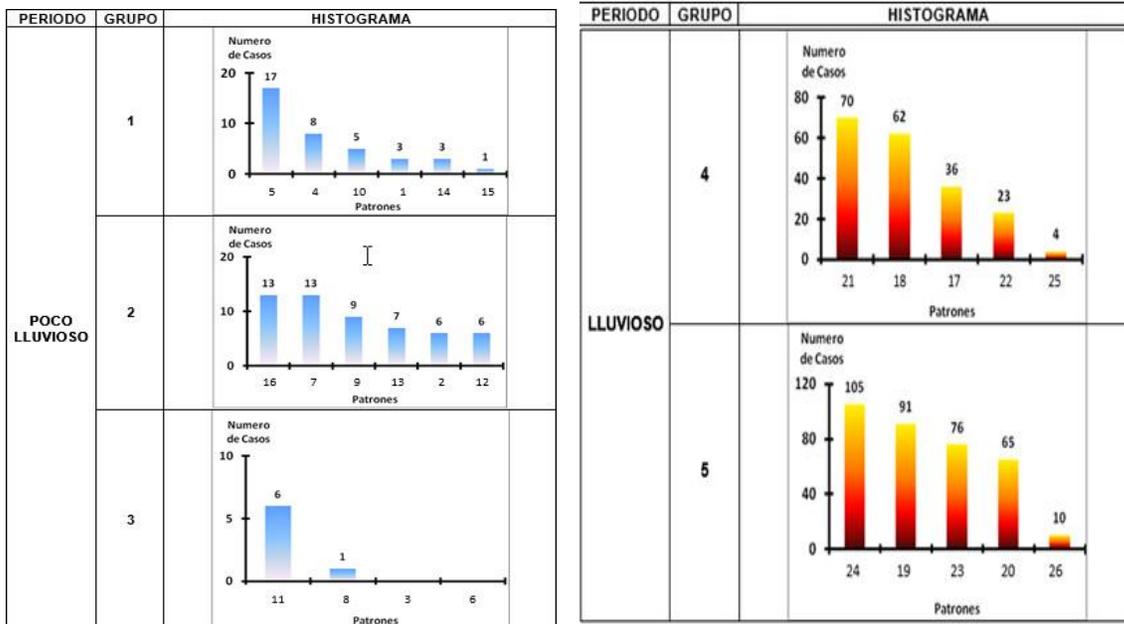


Figura 1. Histogramas de la cantidad de días con TLS reportados en las 5 provincias orientales de acuerdo a los patrones y grupos correspondientes

correspondencia con la baja frecuencia que se presentaron los patrones del grupo 3 ([Tabla 1](#)), no se encontró ningún reporte en presencia de los patrones 3 y 6, infiriéndose de ello que las condiciones meteorológicas de estos patrones no son representativos para la ocurrencia de severidad local en dicha región, en particular por las condiciones en los niveles medios.

También los patrones de mayor frecuencia en cada grupo fueron el 5, 16, 11, 21 y el 24. En la muestra tomada se encontraron 2 reportes durante el periodo poco lluvioso correspondientes a los patrones 23 y 26, a pesar de ser estos dos patrones del periodo lluvioso, y al profundizar en las causas se encontró a que ambos ocurrieron durante el periodo de transición, en el cual como se conoce, puede presentarse cualquier patrón.

No obstante a que los resultados encontrados reflejan con bastante claridad la realidad observada en la región oriental, el tratamiento estadístico para encontrar las configuraciones a mesoescala, tiene la característica que cuando el tamaño de la muestra tiende a la población se pierden las particularidades y se gana en generalidad; Por el contrario, cuando la muestra tiende a la unidad se pierde generalidad pero se ganan singularidades. Las pérdidas de singularidades se tratan de resolver con el análisis de estudio de casos. Lo ideal sería disponer de suficiente cantidad de reportes en cada patrón, lo que en la realidad es difícil de lograr. Por otra parte, el incremento de la cantidad de reportes, aunque pudiera mejorar lo general de cada configuración, no deberá modificar sustancialmente el histograma de los patrones, cuestión que se evidenció en la investigación, ya que éste reflejó la

frecuencia real de los propios patrones en la región de estudio.

Condiciones necesarias y suficientes.

Mucho se ha escrito sobre las “condiciones necesarias” y las “condiciones suficientes” que deben estar presentes para que una tormenta eléctrica pase de la fase de “madurez” a la fase de “madurez severa” ([Browning & Atlas, 1965](#)). Sin embargo, todos los factores que intervienen en ello son posibles enmarcarlos en tres condiciones necesarias cualitativamente fundamentales ([Carnesoltas et al., 2010a, 2013; Carnesoltas, 2011](#)):

1. Suficiente contenido de vapor de agua en los niveles bajos para lograr nubes convectivas de gran desarrollo vertical y aire inestable en la vertical
2. Suministro estable y suficiente de energía en forma de calor a la Capa Fronteriza Atmosférica (CFA) para generar estructuras coherentes y circulaciones locales que, con sus interacciones, logren la convección profunda
3. Condiciones apropiadas en los niveles medios y/o altos para producir severidad local

La condición suficiente resulta del acoplamiento simultáneo en la vertical de las 3 condiciones necesarias.

La ubicación de Cuba en la faja tropical en general y la de región oriental como caso particular, garantizan que la primera condición necesaria esté presente en la mayor parte del año, con la excepción de los días bajo la influencia de la circulación de región norte de los anticiclones migratorios con masas de aire con escaso contenido de humedad.

Al igual que para el resto de las regiones del país, la tercera condición necesaria para la severidad, no depende de las

características específicas de la región, sino que está determinada por la interacción de los campos de temperatura y de humedad con el flujo en los niveles medios de la tropósfera, en especial de la capa 600 – 300 hPa, de la Energía Potencial Convectiva Disponible en la vertical (CAPE), y además, la presencia de procesos dinámicos de sistemas como las bajas frías superiores.

Sin embargo, la ubicación de las celdas de convección profunda dentro de cada región, estará determinada por las configuraciones del flujo y del campo de temperatura dentro de la CFA. De esta manera, cada región “responderá” de una forma diferente bajo un mismo patrón de escala sinóptica. Por lo tanto, la determinación de las configuraciones del flujo y de la temperatura en superficie forma parte inseparable de las condiciones necesarias, por lo que se decidió que fuera el objetivo principal de la investigación.

Ubicación de las TLS en la región de estudio. [Bermúdez \(2009\)](#), mostró la distribución de la TLS correspondiente a la parte de la región oriental de Cuba, obtenida con la información de los reportes entre 1980 y 2008. Ahora, con el comportamiento de las TLS recopiladas en la base de datos desde el año 1980 hasta el 2011 y con nuevos elementos, fue posible determinar 4 zonas y 2 sub-zonas dentro la región oriental, atendiendo a los siguientes criterios:

1. Características físico - geográficas (altitud y posición geográfica)
2. Frecuencia de ocurrencia de TLS:
 - De 1 a 12 (muy pocas)
 - De 13 a 24 (pocas)
 - De 25 a 42 (abundantes)
 - Más de 42 (muy abundantes)

Con dichos criterios se determinaron las características de cada una de las zonas que se muestran en la [figura 2](#).

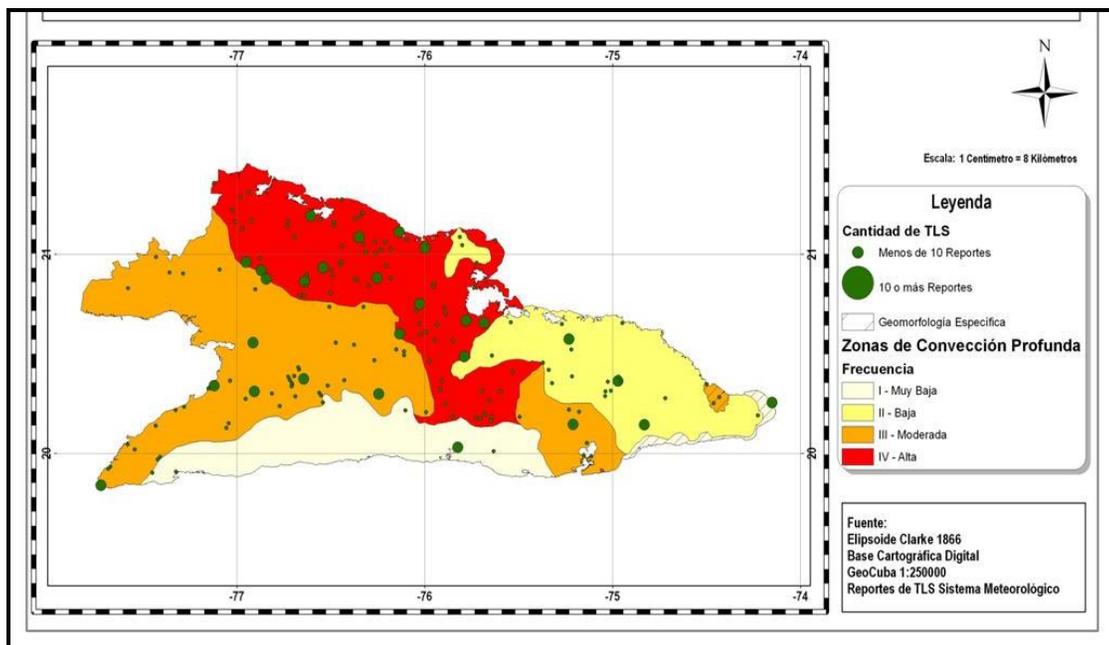


Figura 2. Zonas de convección profunda y el desarrollo de TLS en las cinco provincias orientales

Zona I: *Muy baja frecuencia de convección profunda.* Se corresponde con la zona más alta del territorio, con altitud entre 400 y 1972 m snmm. Coincide con la Sierra Maestra y se extiende, desde la provincia Granma abarcando la de Santiago de Cuba y la porción más occidental de la provincia de Guantánamo. En ella abundan las rocas magmáticas, tanto intrusivas como efusivas y se caracteriza por la poca ocurrencia de TLS, solamente 22 reportes, fundamentalmente hacia la porción Norte de la misma donde la superficie tiende al amesetamiento.

Zona IA: *Muy baja frecuencia de convección profunda.* Esta zona presenta una variante en su parte sedeste, en la que las terrazas marinas sobre rocas sedimentarias del grupo calizas les imprimen un aspecto geomorfológicamente aterrazado contrastante con las características climatológicas que determinan pocas precipitaciones, dando lugar a que la ocurrencia de TLS sea poco significativa, excepto en la Punta de Maisí con reportes de hasta 22 TLS, pero concentradas sólo en dos puntos.

Zona II y IIA: *Baja frecuencia de convección profunda.* Se encuentra representada, en sentido general, por las elevaciones de la montaña del nordeste macizo Sagua-Baracoa (II) y el Grupo Maniabón (II A), las alturas oscilan entre 400 y 1300 m snmm. La zona abarca fundamentalmente la porción nororiental de la región ocupando las provincias de Guantánamo y Holguín. Desde el punto de vista geológico se encuentran rocas metamórficas e ígneas en sus variedades intrusivas y efusivas. Según los reportes de TLS, en estas dos zonas han ocurrido 69 eventos severos concentrándose el mayor número de ellos en el municipio de Yateras

(Guantánamo), donde se pudo observar una franja de incidencia en dirección nordeste - suroeste, mientras que en la cercanía a la costa la incidencia es casi nula.

Zona III: *Frecuencia moderada de convección profunda.* Esta zona se caracteriza por ser geomorfológicamente llana, donde predominan las rocas terrígenas arcillosas y terrígenas carbonatadas en importantes cuencas fluviales como la del río Cauto y el valle de Guantánamo (alturas inferiores o hasta 200 m snmm). Se extiende por las provincias de Granma y Guantánamo respectivamente, ocupando las porciones centro occidental y parte suroriental. En ellas es moderadamente frecuente la ocurrencia de TLS en localidades del Municipio de Guantánamo, el de Bayamo y el de Campechuela, entre otros. Solo 6 puntos de la extensa área que ocupa la zona, reportaron más de 24 casos.

Zona IV: *Frecuencia alta de convección profunda.* La zona se caracteriza geomorfológicamente por sus altas mesetas (altura entre 200 y 400 m snmm) se extiende por las provincias de Las Tunas, Holguín y Santiago de Cuba, ocupando las porciones noroccidental y central de la región oriental de Cuba. Las rocas son del tipo sedimentarias ricas en carbonato de calcio. En esta zona se reportaron la mayor cantidad de TLS (607), siendo significativo el municipio de Holguín con un total de 108, y se destacan además otras localidades (aproximadamente 20) con más de 12 TLS en el mismo periodo. En la [figura 3](#) se muestra el mapa con la ubicación de la TLS en la región de estudio de acuerdo a los criterios adoptados.

La forma casi triangular y la compleja orografía que presenta el territorio de las 5 provincias orientales, le imprimen

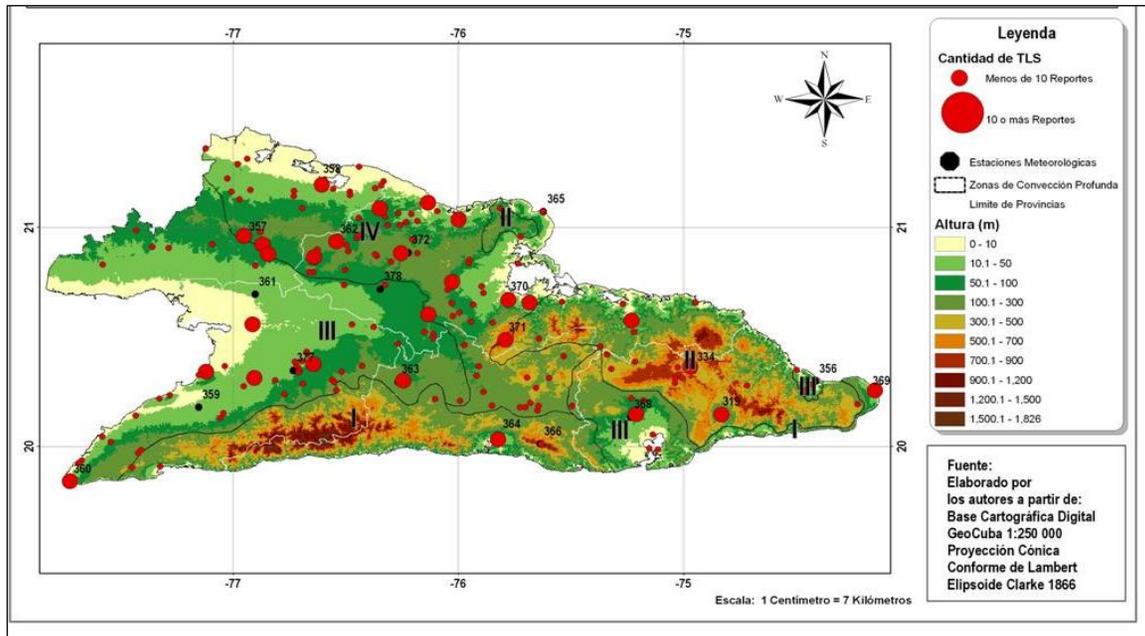


Figura 3. Ubicación de las TLS en la región de estudio

características particulares a sus campos de flujo y de temperatura a nivel de superficie. En esta región no se puede hablar de los casos de un flujo general paralelo a ambas costas con calentamiento en el interior que provoque frente de brisa de mar (F_{bm}) en las dos costas, como suele ocurrir en otras regiones del país.

El golfo de Guacanayabo con su costa cóncava, siendo uno de los tres lugares en Cuba donde se presentan un frente de brisa de mar (F_{bm}) del oeste bien desarrollado ([Carnesoltas, 1987](#)), es el más amplio, con un extenso valle al este (la cuenca del río Cauto) y un importante sistema montañoso al sur (la Sierra Maestra).

Cuando la región oriental se encontraba bajo la influencia de un patrón a escala sinóptica que inducía un flujo general de región sur, el F_{bm} aparece en la costa norte de las provincias de Las Tunas y Holguín, interactuando con las nubes convectivas que se desarrollaron sobre la cuenca del

Cauto alineadas a rollos convectivos horizontales (HCRs por sus siglas en inglés). Esta situación es una de las causas de la alta frecuencia de convección profunda y con mayor probabilidad de TLS como lo atestiguan los reportes en la zona IV.

Mientras que, cuando cualquiera de los patrones a escala sinóptica indujo un flujo de región norte, el F_{bm} del golfo de Guacanayabo (de la anterior zona III) es muy débil o no se desarrolla, aparece entonces el F_{bm} de la cuenca del río Guaso en Guantánamo ([Rojas, 2006](#)) y la convección profunda ocurre en una línea paralela a la meseta del Guaso, o sea, al “fondo” de la propia cuenca, reflejada en la zona III de moderada frecuencia.

Descripción de los patrones

[Aguilar et al. \(2005\)](#), lograron definir dentro del periodo poco lluvioso 3 grupos

de patrones a escala sinóptica: el primero relacionado con la presencia del Anticiclón subtropical con la dorsal hasta los 700 hPa sobre Cuba, el segundo vinculado con ondas polares sobre el Golfo de México y Cuba, mientras el tercero se refiere a los casos de presencia de bajas extra tropicales y ciclogénesis en el Golfo de México. Para el periodo lluvioso definieron 2 grupos de patrones a escala sinóptica: el primero relacionado con la presencia de la vaguada de niveles altos (conocida por su siglas en inglés TUTT, Upper Tropospheric Tropical Trough), típica del periodo lluvioso en esta área, mientras el segundo grupo se relaciona con la presencia de la vaguada al este de los Estados Unidos.

La investigación abarcó todos los patrones y permitió describir las características de las configuraciones encontradas en el flujo ageostrófico y en el campo de temperatura a mesoescala, para todos los casos reportados en ambos periodos, de acuerdo a cada uno de los grupos y a los patrones en orden decreciente de los casos de TLS reportados. En el presente artículo sólo se presenta el estudio de caso del 28 de junio de 2007 bajo la influencia del patrón 19, para el cual se incluye, al igual que para el total de los patrones, la situación general, la situación particular a escala sinóptica, la situación específica, el cumplimiento de las condiciones necesarias y suficientes, las imágenes obtenidas por satélite, el reporte de lo ocurrido y la conclusión del caso.

Estudio de caso del 28 de junio del 2007

Situación general y particular a escala sinóptica. El reporte de Tormenta Local Severa del 28 de Junio de 2007 ocurrió bajo las condiciones generales del Grupo 5 del periodo lluvioso, que incluye aquellos

patrones donde la vaguada medio - oceánica no resulta posible identificarla con claridad, pero en niveles medios sí es posible definir la presencia de una vaguada sobre el este de los Estados Unidos. Las condiciones particulares a escala sinóptica fueron impuestas por patrón 19. Este patrón parece reflejar las condiciones típicas de los días del periodo lluvioso en Cuba, en los cuales, aparentemente no existen condiciones favorables a escala sinóptica para la ocurrencia de severidad. Sin embargo, este patrón posee un factor distintivo: la presencia de la hondonada de niveles medios con una configuración que favorece la entrada de aire relativamente más húmedo en estos niveles y la existencia además de convergencia en niveles bajos. La presencia de estos elementos configuran un entorno sinóptico que, bajo determinadas combinaciones a mesoescala, pueden favorecer la ocurrencia de convección profunda y al menos, una de las manifestaciones de severidad local.

Situación específica. En los mapas de geopotencial en los niveles de 1000 y 700 hPa y del viento en superficie, el día 28 de Junio de 2007 a las 1800 UTC, se aprecia la presencia de una vaguada sobre el este de los Estados Unidos a partir del nivel de 700 hPa. En superficie el flujo era del este.

La humedad relativa a las 1800 UTC sobre la región oriental, era en superficie de 70%, en 850 hPa de 75%, mientras que en 700 hPa era de 55%. Por lo tanto, a esa hora se cumplía la primera de las condiciones necesarias: “Suficiente contenido de vapor de agua en los niveles bajos para lograr nubes convectivas de gran desarrollo vertical”.

De manera simultánea, el campo de temperatura en superficie a las 1800 UTC ([figura 4a](#)), mostraba que en el centro de la

cuenca del Cauto las temperaturas del aire oscilaban entre 33.0 y 35.0°C.

En correspondencia con ello, según la [ecuación 8](#), el campo de la diferencia de temperatura ([figura 4b](#)), presentó en dicha zona una diferencia máxima de 5.7°C, con una línea ligeramente curvada de máximos valores en la cuenca del río Cauto orientada al nordeste, que se extiende hasta la bahía de Nipe, y otra línea desde el Valle Central orientada al sudeste sobre la meseta del Guaso, en Guantánamo.

Con un flujo general medio del este de 4.0 m/s ([figura 5a](#)) impuesto por el patrón

19, la región oriental presentó un flujo resultante casi paralelo sobre la mitad sur del territorio y divergente en su mitad norte. Sin embargo, el campo de divergencia en el flujo ageostrófico ([figura 5b](#)) muestra una línea de convergencia en superficie desde el sur del valle del Cauto – Pinares de Mayarí – norte del Valle Central – Meseta del Guaso - Sierra de Imías hasta la costa sur. Otra línea desde el norte de Las Tunas orientada al sudeste que se extiende hasta el sur de la provincia de Holguín.

En la superposición de los campos del vector y de la velocidad ageostrófica del

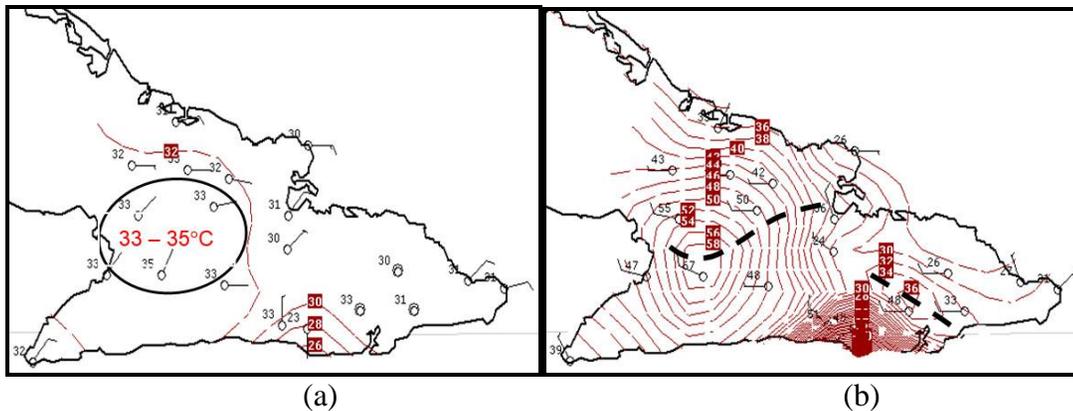


Figura 4. Campo de temperatura en superficie el 28 de Junio de 2007 a las 1800 UTC. (a) temperatura del aire, (b) diferencia de temperatura según [ecuación 8](#)

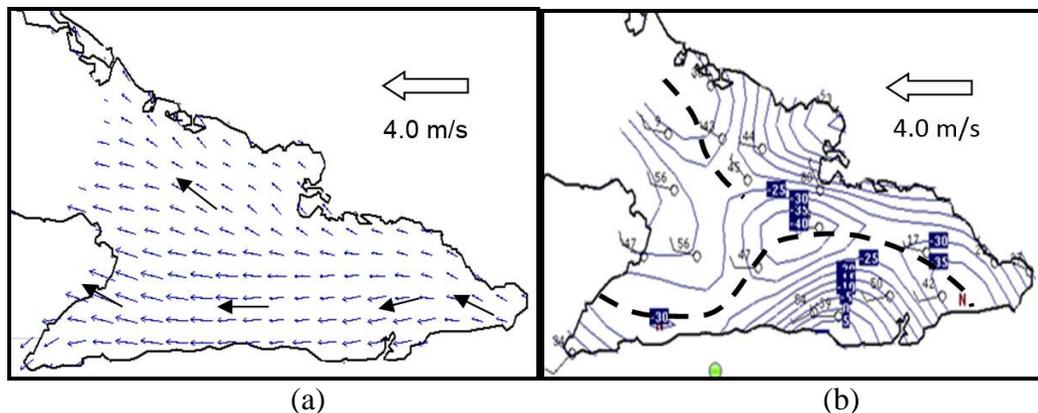


Figura 5. Configuraciones a mesoescala bajo las condiciones a escala sinóptica impuestas por el patrón 19: (a) vectores del flujo resultante; (b) divergencia del flujo ageostrófico

viento sobre la región ([figura 6](#)), se encontraron dos líneas relacionadas estrechamente con los campos de divergencia del flujo ageostrófico, y de diferencia de temperatura: la relacionada a la línea costera del golfo de Guacanayabo, que posteriormente se convertiría en el F_{bm} , y la segunda al nordeste de la cuenca del río Guaso en Guantánamo. Sin embargo, no se observó relación con la línea de convergencia en el flujo al norte de Las Tunas.

Con tales centros de máxima temperatura y los fuertes gradientes creados con respecto a sus alrededores, además de los sistemas convectivos que se generaron desde las horas del mediodía, resultaba muy

alta la probabilidad que se cumpliera la segunda condición necesaria para la generación de la convección profunda: “Suministro estable y suficiente de energía en forma de calor a la Capa Fronteriza Atmosférica para generar estructuras convectivas y circulaciones locales que, con sus interacciones, logren la convección profunda”.

En la [figura 7](#) se muestra la imagen de satélite en la banda visible del día 28 de Junio de 2007 a las 1745 UTC, donde se pueden apreciar las líneas de nubes convectivas sobre la cuenca del Cauto y la convección profunda que comenzó a desarrollarse sobre el Valle Central al este de la región.

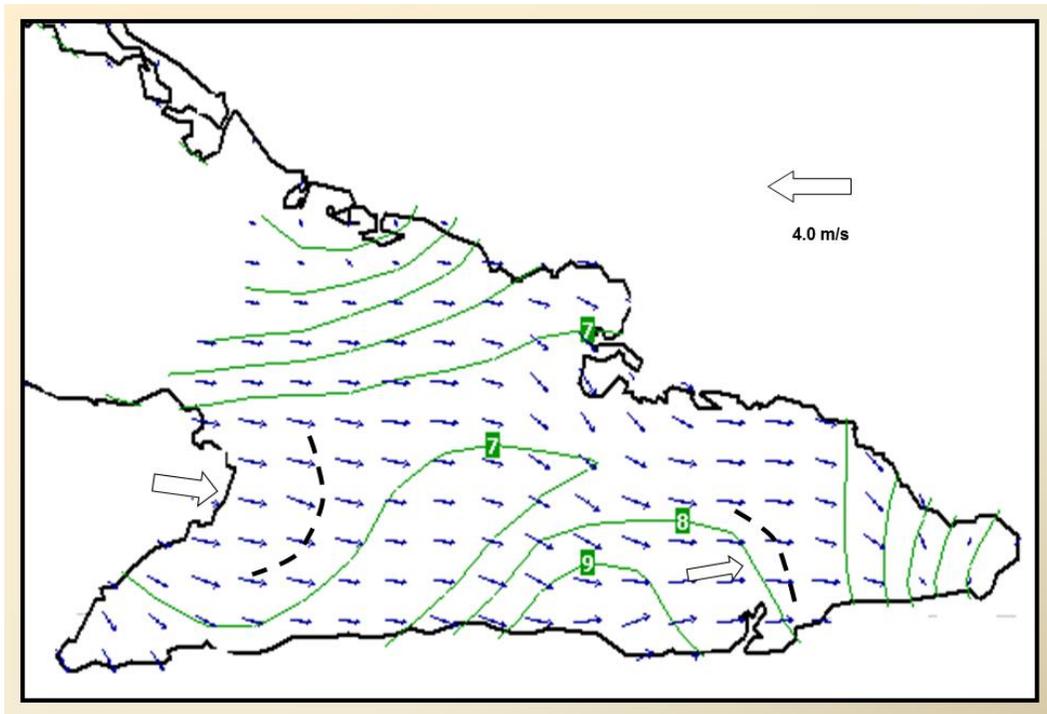


Figura 6. Vector y velocidad ageostrófica del viento correspondiente al 28 de Junio de 2007 a las 1800 UTC

En el campo de humedad relativa en el nivel de 500 hPa a las 1800 UTC sobre la región oriental se observó un valor de 55%, valor que, si bien con respecto a los niveles inferiores no tiene una diferencia significativa, se puede considerar apropiado para generar corrientes descendentes de ligeras a moderadas dentro de la nube de la tormenta. De la misma forma el campo de temperatura mostraba un valor de -5.7°C , que no tiene mucha significación para la caída de granizos, pero que no impide la generación de una corriente descendente de ligera a moderada dentro de la nube de la

tormenta. Luego, aunque no existían valores extremos de ambos campos, tampoco constituían ninguna limitación que pudiera impedir el cumplimiento de la tercera condición necesaria para la generación de la convección profunda: “Condiciones apropiadas en los niveles medios y altos para producir severidad local”.

En las imágenes de satélite de la [figura 8](#) se observa el resultado de la ocurrencia simultánea en la “zona” de las 3 condiciones necesarias para TLS. En la imagen de las 2015 UTC se puede apreciar

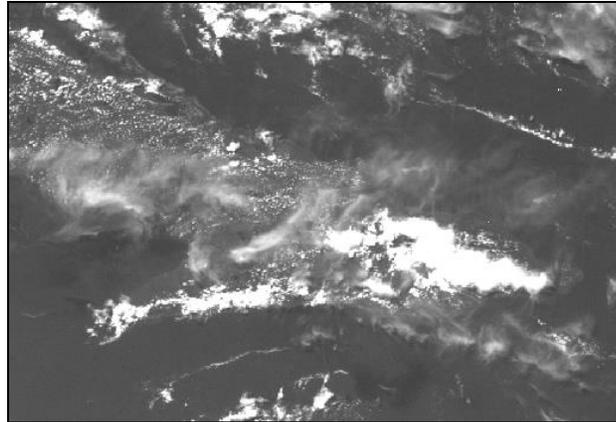


Figura 7. Imagen de satélite en la banda visible de la región oriental de Cuba el día 28 de Junio de 2007 a las 1745 UTC

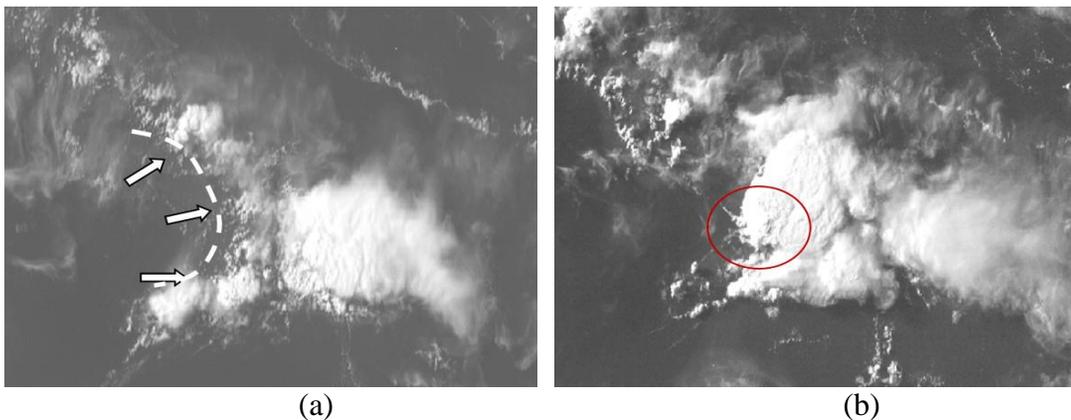


Figura 8. Imágenes del satélite meteorológico en la banda visible del día 28 de Junio de 2007, (a) a las 2015 UTC; (b) a las 2201 UTC

la distribución de la nubosidad convectiva a lo largo de la línea del frente de brisa de mar desde el golfo de Guacanayabo (señalados por las saetas en la [figura 8a](#)), en concordancia con el flujo de la figura 3.5; de igual forma, en la imagen de las 2201 UTC ya se puede observar la tormenta (dentro del círculo de la [figura 8b](#)), que causó los vientos lineales entre 16.6 – 18.1 m/s, con la racha máxima de 19.4 m/s que fueron medidos en la estación meteorológica más cercana. De acuerdo a las condiciones analizadas de los niveles medios, no se reportaron caída de granizos, ni tornados. Como información adicional se debe decir que en la muestra tomada en el periodo 1980 – 2002 ([Aguilar, 2006](#); [Carnesoltas et al., 2010a](#)), con el patrón 19 se encontraron la mayor cantidad de vientos lineales que cualquier otra de las manifestación de severidad.

Reporte de lo ocurrido. El 28 de Junio de 2007 a las 2200 UTC, se reportó una TLS en la estación meteorológica de Veguitas, provincia Granma, con vientos entre 60 y 65 km/h (16.6 – 18.1 m/s) con una racha máxima de 70 km/h (19.4 m/s). El observador de la estación y vecinos del lugar vieron una tormenta más fuerte al norte de la estación. La observación del radar de Camagüey informó que la nube de tormenta tenía topes de 20 km de altura. Este reporte se consideró TLS por dos aspectos: el hecho de haberse medido con radar un tope de 20 km, y en segundo lugar, a que a pesar de que la racha máxima medida en la estación fue inferior a los 25.0 m/s establecidos como mínimo para las TLS, el centro de la nube de tormenta no estaba sobre el punto de medición, y con un tope tal elevado es fácil inferir que la velocidad bajo la misma nube de tormenta superó el valor umbral de los 25.0 m/s.

Conclusiones del caso. Los elementos tomados en cuenta para el análisis del caso reportado el día 28 de Junio de 2007, permiten concluir que bajo las condiciones sinópticas impuestas ese día por el patrón 19 a la región oriental y la respuesta a meso escala de la propia región, se cumplieron las condiciones necesarias y suficientes para el evento local severo reportado, a pesar de no ser un caso de severidad extrema. Se pudo constatar además, la estrecha coincidencia espacio - temporal que guardaban los campos analizados a meso escala en superficie a las 1800 UTC. Y que, las configuraciones del flujo y de la temperatura en superficie, fueron factores determinantes en la ubicación de la convección profunda y de las propias tormentas que se desarrollaron dentro de la región. De esta forma pudo comprobarse el cumplimiento de las características que definen la presencia del patrón 19:

- A escala sinóptica desde horas de la mañana aparentemente no existían condiciones favorables para la ocurrencia de severidad. Sin embargo, estaba presente la hondonada de niveles medios y una entrada de aire relativamente más húmedo
- Se produjo convergencia en los niveles bajos por la interacción del frente de la brisa con el resto del flujo
- El entorno en su conjunto se transformó favorable para la ocurrencia de convección profunda y severidad

Conclusiones

Teniendo en cuenta los resultados del análisis del total de casos en el periodo y en particular el expuesto como ejemplo, se

pudo arribar a las conclusiones generales siguientes:

1. Los dos factores determinantes de las zonas donde se inicia y se desarrolla la convección profunda sobre el territorio de las cinco provincias orientales, son el flujo ageostrófico y el campo de la diferencia de temperatura a mesoescala.
2. Las características físico – geográficas específicas de la región oriental provocan que el flujo ageostrófico y el campo de diferencia de temperatura, adopten diferentes configuraciones bajo la influencia de cada uno de los patrones a escala sinóptica favorables para la ocurrencia de severidad local.
3. En el análisis realizado a la muestra tomada se encontraron dos zonas fundamentales como fuentes de calor para el desarrollo de la convección profunda: la extensa llanura de la cuenca del río Cauto y el valle de Guantánamo.
4. En la relación de cada patrón a escala sinóptica con las configuraciones a mesoescala sobre las cinco provincias orientales, se encontró lo siguiente:
 - La mayor cantidad de casos ocurrieron con el patrón 24 del Grupo 5, que incluye la presencia de bajas frías superiores;
 - En presencia de los patrones 3 y 6 del Grupo 3, no se reportó ningún tipo de severidad;
 - El análisis bajo las condiciones que impuso el patrón 19 del Grupo 5, requirió siempre de un análisis mucho más profundo que para el resto, pues las condiciones necesarias para la severidad no se presentaron con la misma claridad que para los otros patrones;

- Los 6 reportes de severidad en presencia del patrón 13 del Grupo 2, presentaron direcciones totalmente variables en el flujo general, por lo que para este caso el resultado es dudoso y no refleja adecuadamente la realidad.
5. El mapa obtenido de la distribución por zonas refleja con mayor exactitud la distribución de las TLS en el territorio de las cinco provincias orientales atendiendo a sus características físico – geográficas.

Agradecimientos

Los autores desean reconocer la ayuda prestada en el desarrollo de la investigación a la Dra. Gisell Aguilar, Dra. Eduviges Minguí Carbonel, M. Sc. Armando Caymares, M. Sc. Enrique Perigó Román, M. Sc. Yamilis Gimeno, M. Sc. Nivian Laborde, M. Sc. Jorge Proenza, M. Sc. Alina Rivero, Lic. Elier Pila, Lic. Carlos Román González, Lic. Aylin Justin, Lic. Alejandro Otero, Lic. Yusmary Blancar, Lic. Liena Beltrán, Lic. Andrés Aragón y en especial a toda nuestra familia por el apoyo brindado. Además, en la revisión y útiles sugerencias al presente artículo al Lic. Israel Borrajero y la Dra. Lourdes Alvarez del Centro de Física del INSMET.

Referencias

- Aguilar, O. G. 2006. Condiciones a escala sinóptica para la ocurrencia de aeroavalanchas asociadas a las Tormentas Locales Severas en Cuba. Un esquema para su predicción. Tesis de Doctorado, La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología, 124 p.
- Aguilar, O. G.; Carnesoltas, C. M.; Fernández, B. C. & Naranjo, D. L. 2005.

- “Climatología de las Tormentas Locales Severas en Cuba en el período 1987–2002. Resultados de la modelación de un caso de estudio”. *Revista Cubana de Meteorología*, 12(1): 3–10, ISSN: 0864-151X.
- Aguilar, O. G.; Carnesoltas, C. M. & Naranjo, D. L. 2009. “Condiciones a escala sinóptica favorables para la aparición de tormentas locales severas en Cuba. Parte I: período poco lluvioso”. *Revista Cubana de Meteorología*, 15(1): 85–108, ISSN: 0864-151X.
- Aguilar, O. G.; Naranjo, D. L. & Carnesoltas, C. M. 2010. “Sistema Experto para la Predicción de Tormentas Severas en Cuba (ROSET v. 2.0)”. *Revista Cubana de Meteorología*, 16(1): 3–12, ISSN: 0864-151X.
- Alfonso, A. 1994. *Climatología de las tormentas locales severas en Cuba*. La Habana, Cuba: Academia, 168 p., ISBN: 959-02-0060-5, Available: <https://books.google.com/cu/books/about/Climatolog%C3%ADa_de_las_tormentas_locales_s.html?id=JloxNQAACAAJ&redir_esc=y>, [Consulted: April 1, 2017].
- Benedico, O.; Carnesoltas, M. & Aguilar, G. 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 Avila, Cuba”. *Revista Cubana de Meteorología*, 12(2): 43–50, ISSN: 0864-151X.
- Bermúdez, Y. 2009. *Distribución de las Tormentas Locales Severas en Cuba. Informe de Resultado*, La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología, 78 p.
- Browning, K. A. & Atlas, D. 1965. “Initiation of Precipitation in Vigorous Convective Clouds”. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 22(6): 678–683, ISSN: 0022-4928, DOI: [10.1175/1520-0469\(1965\)022<0678:IOPIVC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1965)022<0678:IOPIVC>2.0.CO;2).
- Byers, H. R. & Braham, R. R. 1948. “Thunderstorm structure and circulation”. *Journal of Meteorology*, 5(3): 71–86, ISSN: 0095-9634, DOI: [10.1175/1520-0469\(1948\)005<0071:TSAC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1948)005<0071:TSAC>2.0.CO;2).
- Carnesoltas, M. 1987. *La circulación local de brisa en Cuba*. Tesis de Doctorado, La Habana, Cuba, 89 p.
- Carnesoltas, M. 2002a. “El frente de la brisa de tierra”. *Revista Cubana de Meteorología*, 9(2): 13–31, ISSN: 0864-151X.
- Carnesoltas, M. 2002b. “La brisa de mar y tierra. Conceptos fundamentales”. *Revista Cubana de Meteorología*, 9(1): 39–60, ISSN: 0864-151X.
- Carnesoltas, M. 2011. “Transformación de la energía en la convección atmosférica”. *Revista Cubana de Meteorología*, 17(1): 88–97, ISSN: 0864-151X.
- Carnesoltas, M.; Aguilar, G. & Naranjo, L. 2010a. “Condiciones a escala sinóptica favorables para la aparición de Tormentas Locales Severas en Cuba. Parte II, periodo lluvioso”. *Revista Cubana de Meteorología*, 16(1): 13–31, ISSN: 0864-151X.
- Carnesoltas, M.; Sierra, M. & Quintana, N. 2010b. *Características de los principales parámetros que intervienen en el proceso convectivo relacionado a la severidad sobre la región centro oriental de Cuba. Informe de Resultado*, La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología, 46 p.
- Carnesoltas, M.; Sierra, M.; Rabelo, D. & Fernández, E. 2013. *Factores físicos que influyen en la caída de Granizos y en las Aeroavalanchas sobre Cuba. Informe de*

Resultado, La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología, 65 p.

Doswell III, C. A. 1985. The operational meteorology of convective weather. (ser. NOAA technical memorandum ERL ESG, no. ser. 15), vol. 2, Boulder, Colo.: Environmental Research Laboratories - Environmental Sciences Group, 252 p.

Doswell III, C. A. & Schultz, D. M. 2006. "On the Use of Indices and Parameters in Forecasting Severe Storms". E-Journal of Severe Storms Meteorology, 1(3), ISSN: 1559-5404, Available: <<http://www.ejssm.org/ojs/index.php/ejssm/article/view/11>>, [Consulted: April 1, 2017].

Martínez, Y. 2008. Condiciones favorables para la caída de granizos en Cuba. Trabajo de Diploma, La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología, 48 p.

Orlanski, I. 1975. "A rational subdivision of scales for atmospheric processes". Bulletin of the American Meteorological Society, 56(5): 527-530, ISSN: 0003-0007, 1520-0477.

Rabelo, D. 2012. Procedimiento para la estimación de la velocidad de la racha máxima de una aeroavalancha. Trabajo de Diploma, La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología, 53 p.

Rojas, Y. 2006. Las tormentas locales en la provincial de Guantánamo. Tesis de Maestría, La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología, 83 p.

ANEXO I

Escala espacio – temporal de los procesos en la Atmósfera (basada en Orlanski, 1975)						
Ts \ Ls	1 seg. (L/U)	1 min. (g/H) ^{-1/2}	1 hora (g/θ dθ/dz) ^{-1/2}	1 día (f) ⁻¹	1 mes (βL _R) ⁻¹	
10 000 km				Ondas Perman.	Ondas Ultra larg. Ondas de Mareas	α macro escala
2 000 km				Ondas Baroclinicas		β macro escala
200 km				Frentes y Huracanes		α meso escala
20 km			ILLJ Nocturno Lineas de Turb. Ondas Inerciales Agrup. Nubosas Dist. valle-Mont.			β meso escala
2 km			Turbonadas I. G. W. C. A. T. Efectos urbanos			γ meso escala
200 m		Tornados Convección Profunda Ondas cortas Gravit.				α micro escala
20 m	Remolinos de Polvo					β micro escala
2 m	Penachos Rugosidad Turbulencia					γ micro escala
	Micro escala		Meso escala	Escala sinóptica	Escala Climatológica y Planetaria	