

LLUVIAS LOCALMENTE INTENSAS ASOCIADAS CON TORMENTAS LOCALES SEVERAS. CONDICIONES SINÓPTICAS Y MESOESCALARES

LOCALLY INTENSE RAINS ASSOCIATED WITH SEVERE LOCAL STORMS. SYNOPTIC AND MESOSCALE CONDITIONS.

Lic. Eric Peinó Calero¹, MSc. Alis Varela de la Rosa², MSc. Yinelys Bermúdez Souza³

¹ *Instituto de Meteorología, Centro de Pronóstico, eric.calero@insmet.cu*

² *Instituto de Meteorología, Centro de Pronóstico, alis.varela@insmet.cu*

³ *Instituto de Meteorología, Centro de Pronóstico, yinelysb.souza@insmet.cu*

RESUMEN

A partir de treinta casos de estudio se determinaron las condiciones sinópticas y de mesoescala que favorecieron la ocurrencia de lluvias localmente intensas asociadas con Tormentas Locales Severas (TLS) en las regiones central y oriental de Cuba durante el período lluvioso. Se identificaron cinco configuraciones sinópticas fundamentales caracterizadas por un ambiente de débil cizalladura vertical del viento en la capa superficie- 500 hPa y un predominio de altos valores de humedad relativa en niveles bajos con una capa seca en niveles medios. El análisis de las imágenes de satélite, las observaciones de radar y las salidas del modelo WRF arrojaron que las celdas convectivas que provocaron un evento de lluvia localmente intensa en combinación con un evento severo, se caracterizaron por presentar eco centroides de gran extensión en la vertical por encima de la isoterma de 0°C y en su disipación los ecos centroides de máxima reflectividad se encontraban por debajo de los 5 km de altura, generados principalmente por la interacción de los rollos convectivos horizontales con el frente de brisa de mar.

Palabras claves: Tormentas locales severas, lluvias localmente intensas, mesoescala.

ABSTRACT

From thirty cases of study were determined the synoptic and mesoscale conditions that favored the occurrence of locally intense rains associated with Severe Local Storms (TLS) in the central and eastern regions of Cuba during the rainy season. Five fundamental synoptic configurations were identified characterized by an environment of weak vertical wind shear in the surface layer - 500 hPa and a predominance of high relative humidity values at low levels with a dry layer at medium levels. The analysis of the satellite images, the radar observations and the outputs of the WRF model showed that the convective cells that caused a locally intense rain event in combination with a severe event were characterized by having large centroid echoes in the vertical by above the

isotherm of 0°C and in its dissipation the centroid echoes of maximum reflectivity were below 5 km in height, generated mainly by the interaction of the horizontal convective rolls with the sea breeze front.

Keywords: Severe local storms, locally intense rains, mesoscale.

Introducción

En los últimos años, el estudio de los fenómenos meteorológicos severos asociados a las Tormentas Locales Severas (TLS) en Cuba, ha sido un tema de gran interés científico y constituye a la vez un importante problema de carácter práctico relacionado con la capacidad de respuesta de los decisores en la sociedad cubana a reducir la vulnerabilidad ante fenómenos de este tipo.

El investigador Arnaldo Alfonso en 1994, definió una TLS en Cuba como: “aquella tormenta local, en general eléctrica, con manifestación de uno o varios fenómenos tales como el granizo, vientos lineales fuertes de 96 Km/h o más, tornados y/o trombas marinas”. Conceptualmente no incluyó las lluvias localmente intensas en cortos intervalos de tiempo dentro de esta categoría; sin embargo se refirió a la importancia que se les debía dar a la hora de hacer una clasificación, debido precisamente a los daños y pérdidas que generan en un corto período de tiempo.

En el Glosario de términos meteorológicos del Sistema Nacional de Pronósticos (INSMET, 2018), se considera lluvia intensa, como la precipitación que produce acumulados de 100 mm o más en un período de 24 horas o menos; o 50 mm o más en 12 horas o menos. Dicho fenómeno, a escala local, ocasiona tantos o más daños que cualquier otro evento severo en Cuba relacionado con TLS, lo que puede generar una situación meteorológica compleja de rápida evolución en el tiempo.

Aguilar (2006) consideró como un paso lógico dentro del desarrollo científico dentro de esta línea de investigación, elaborar análisis más pormenorizados de las diferentes manifestaciones individuales de severidad. Esto se vio reflejado en trabajos de Hernández (2015) y Armas (2016), en los cuales se incluyen las lluvias localmente intensas como otra manifestación de severidad basados en las grandes afectaciones que ocurren en la región donde se producen, debido especialmente, a los acumulados de precipitaciones que se registran.

Aunque a nivel mundial también, lo común es considerar a las lluvias localmente intensas como un fenómeno peligroso, países fundamentalmente europeos han tomado la iniciativa de incluirlas como fenómenos de tiempo severo. Tal es el caso del European Storm Forecast Experiment (ESTOFEX), una iniciativa de un equipo de meteorólogos europeos, quienes a partir del año 2009 las incluyeron dentro de esta categoría. Esto lo justifican, estadísticamente, por ser el tipo de tiempo severo con mayor impacto, protagonistas de inundaciones repentinas y derrumbes en ciudades importantes y con alta densidad poblacional.

Por ello la investigación tiene como objetivo: determinar las condiciones sinópticas y de mesoescala que favorecen la ocurrencia de lluvia localmente intensa asociadas con las TLS en la mitad oriental

de Cuba; lo que hace posible la utilización de sus resultados en la elaboración de predicciones de este tipo de fenómenos a corto plazo.

Materiales y métodos.

Región de estudio y selección de la muestra:

La región de estudio seleccionada en esta investigación, comprendió las provincias desde Sancti Spíritus hasta Guantánamo, abarcando así casi toda la región central y oriental del archipiélago cubano, teniendo en cuenta un período entre los años 2011 y 2017. Los casos de estudio seleccionados se limitaron, además, al período lluvioso del año puesto que es, según Alfonso (1994), en el que con mayor frecuencia se observan los fenómenos de tiempo severo, incluyendo la lluvia localmente intensa.

Para la selección de los casos de estudio se consultaron, los resúmenes mensuales confeccionados por los Centros Meteorológicos Provinciales (CMP) de cada una de las provincias, los informes del Estado General del Tiempo, elaborados por el Centro de Pronósticos del Instituto de Meteorología, así como la información trihoraria de la precipitación, registrada en los pluviómetros de la red nacional de estaciones del Instituto de Meteorología de Cuba (INSMET).

Finalmente, se encontraron 30 casos en los que ocurrió en el mismo lugar, lluvia localmente intensa con acumulados de 50 mm o más de precipitación en menos de 3 horas y a su vez, una o más manifestaciones de TLS (figura 1).

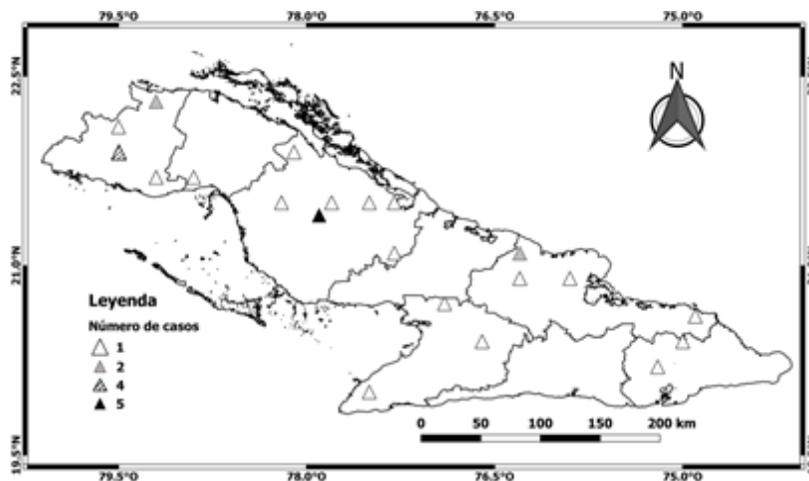


Figura 1. Distribución de los casos de TLS que generaron lluvias localmente intensas.

Para el análisis sinóptico:

Las condiciones a escala sinóptica fueron analizadas a partir de una malla limitada en el plano horizontal entre los 10° y los 40° de latitud norte y entre los 60° y 110° de longitud oeste, área lo suficientemente amplia para considerar la evolución a corto plazo (24-36 horas) de los sistemas de escala sinóptica que intervienen en las condiciones del tiempo sobre Cuba.

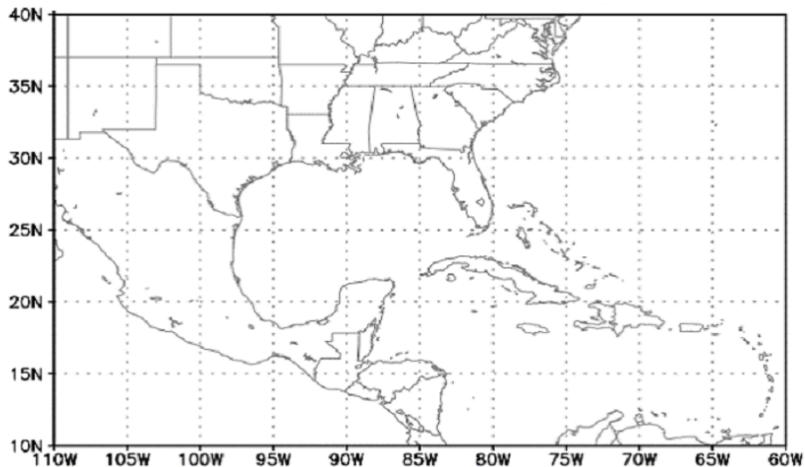


Figura 2. Región sinóptica empleada

De forma individual, se analizaron las situaciones sinópticas para los 30 casos de estudio en los horarios de las 0000 UTC y las 1800 UTC, considerando los campos de presión atmosférica en la superficie a nivel medio del mar y la altura geopotencial en cuatro niveles de la tropósfera (850, 700, 500 y 200 hPa). Los mapas fueron extraídos del sitio web <http://www.cdc.noaa.gov>, el cual contiene datos diarios del Re-análisis del Nacional Center of Environmental Predicción (NCEP), con una rejilla de 2,5 grados de resolución.

Se tuvo en cuenta los valores medios diarios de la humedad relativa (%) y la temperatura del aire (°C), a partir del análisis de cortes verticales en la tropósfera que tomaron toda la región de estudio longitudinalmente (72°W-87°W) para cada una de las configuraciones sinópticas identificadas.

Para el análisis a mesoescala:

Se utilizaron imágenes desde el satélite GOES 13, en el canal visible obtenidas del sitio <http://www.nsof.clases.noaa.gov/sala/productos/welcome>. Este canal tiene una resolución de 1 km, lo que permitió detallar la nubosidad imperante en los casos de estudio, así como su evolución.

Se utilizaron las observaciones digitalizadas del radar de Camagüey con un intervalo máximo entre cada observación de 15 min, factor que determinó que a solo 15 casos de estudio se le pudiera realizar el análisis utilizando esta herramienta. Dichas observaciones fueron analizadas con la utilización de la versión 5.3.19.4 del Vesta Proceso.

Las variables analizadas fueron las propuestas por Gamboa (2004), las cuales de entrada permiten caracterizar de forma cuantitativa y cualitativa el comportamiento de una tormenta. Estas variables fueron: altura del tope máximo (km) (TM), reflectividad máxima (dBz) (ZM), altura de la reflectividad máxima (km) (HZ) y contenido de agua líquida verticalmente integrada (kg/m²) (VIL).

Para el análisis de los casos se tomaron en cuenta además, las salidas del modelo Weather Research and Forecasting (WRF) bajo el sistema de predicción a muy corto plazo (SisPi), desarrollado por el Centro de Física de la Atmósfera del INSMET, tomando las resoluciones de 3 km y 1 km, lo que

resulta completamente aceptado de acuerdo con el fenómeno que se está tratando. Para la interpretación y análisis de los datos se utilizó el sistema Grid Analysis and Display System (GrADS).

A partir de las salidas del modelo numérico se analizaron para 9 días de la muestra utilizada las variables meteorológicas: altura geopotencial (m), componente vertical del viento w (m/s), temperatura del aire y temperatura del punto de rocío ($^{\circ}\text{C}$), humedad del aire (%), dirección (grados) y velocidad del viento (m/s) y cizalladura vertical (s^{-1}) en los niveles 1000, 950, 900, 850, 800, 750, 700, 650, 600, 550, 500, 400, 300, 200 hPa; así como los índices termodinámicos: Energía Potencial Disponible Convectiva (CAPE) e Inhibición Convectiva (CIN), nivel de condensación por ascenso (NCA), nivel de convección libre (NCL) y el índice de levantamiento (LI).

Resultados y Discusión:

La intensidad de la lluvia reportada para cada caso analizado, en relación con el intervalo de tiempo en la que se desarrolló, mostró grandes acumulados en períodos de tiempo inferiores, incluso a las tres horas escogidas como criterio, como por ejemplos los casos del día 9 de agosto de 2017 en Nuevitas, Camagüey, donde ocurrieron 71,5 mm en 2 horas o el acumulado del día 1 de agosto de 2015 en Guáimaro, con 54 mm en tan solo 30 minutos. Estos resultados concuerdan con Planos *et al.* (2013), donde se plantea que las lluvias asociadas a TLS suelen ser de carácter intenso y que ocurren en intervalos de tiempo muy pequeños, dos factores de riesgo para la ocurrencia de inundaciones súbitas y repentinas, que al combinarse con los otros fenómenos de tiempo severo pueden llegar a provocar un evento hidrometeorológico extremo.

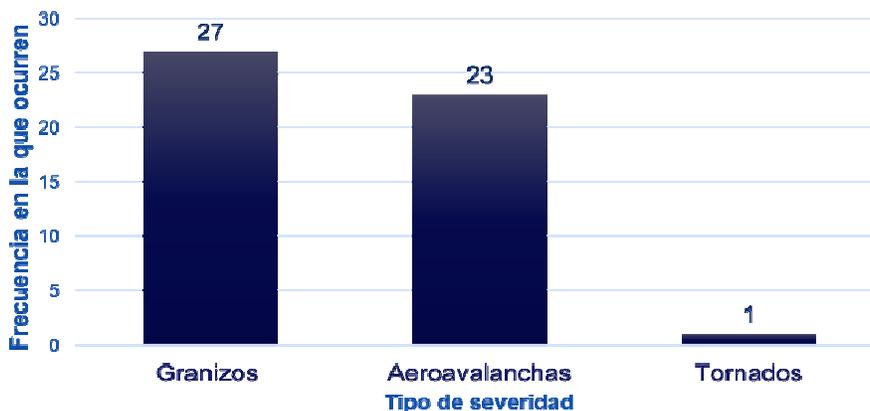


Figura 3. Comportamiento del tipo de severidad manifestado en las tormentas locales que generaron lluvia intensa

El 80 % de las tormentas que se analizaron (24 casos) presentaron más de una manifestación de severidad junto a la presencia de lluvia localmente intensa, lo que constituye un indicativo del gran desarrollo e intensidad que lograron alcanzar las tormentas analizadas. El evento de tiempo severo más frecuente junto a la lluvia localmente intensa (figura 3) fue la caída de granizos, presentándose en 27 casos analizados, lo que representa el 90 % de la muestra, seguido de los 23 casos de aeroavalanchas. Solamente se registró un caso de tornado asociado a estas tormentas generadoras de lluvias localmente intensas, lo que conlleva a pensar que el origen de los tornados no ocurre dentro

de la nube convectiva, como es el caso de los granizos, las aeroavalanchas y las lluvias localmente intensas, sino como plantea Varela (2017) que el origen de los tornados en el trópico insular se encuentra por debajo de la nube, debido a “la vorticidad generada por interacciones entre estructuras coherentes y superficies de discontinuidad en la Capa Fronteriza Atmosférica”.

Condiciones sinópticas favorables a la ocurrencia de TLS que generan lluvias localmente intensas

Quedaron identificadas cinco situaciones sinópticas fundamentales (divididas en grupos) que coinciden con las encontradas por Aguilar *et al.* (2005) y Pérez (2015), favorecedoras del desarrollo de tiempo severo y lluvias intensas en las regiones central y oriental de Cuba; donde la vaguada de niveles medios y altos, la influencia anticiclónica subtropical y las bajas frías superiores resultaron ser las más significativas (figura 4).

Las configuraciones sinópticas encontradas fueron:

- **Grupo I:** Influencia de la dorsal anticiclónica subtropical.
- **Grupo II:** Bajas frías superiores.
- **Grupo III:** Ondas polares sobre el golfo de México y la región occidental de Cuba que generan frentes en superficie.
- **Grupo IV:** Vaguada de niveles medios y altos de la tropósfera.
- **Grupo V:** Ondas tropicales

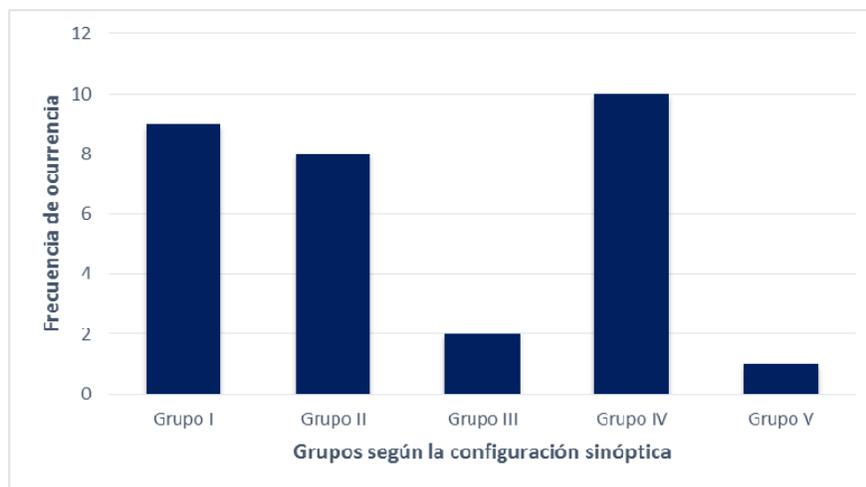


Figura 4. Distribución de los casos según la configuración sinóptica en la que se desarrollaron

Un análisis de la humedad relativa horas antes de la ocurrencia de los eventos de tiempo severo y lluvias localmente intensas, así como a la hora de ocurrencia de estos, registró muy poca variación, independientemente de la configuración sinóptica predominante. Aún así, el 100 % de los casos tuvieron presentes la influencia anticiclónica subtropical en superficie y los altos valores de geopotencial en niveles bajos, imponiéndose un flujo débil del este al sudeste.

La tabla 1 muestra los valores medios de humedad relativa registrados en los distintos niveles de la tropósfera, para cada una de las configuraciones sinópticas determinadas. En esta se aprecian los altos valores de esta variable en niveles bajos, superiores al 60 % en todos los casos; en contraste con los valores mostrados en los niveles medios donde no sobrepasan el 45%.

Según Aguilar (2006) esto indica, que la presencia de este sistema favorece la irrupción de aire cálido en estos niveles, lo que da lugar al ascenso forzado de aire seco en niveles medios que generan condiciones potencialmente favorables al desarrollo de convección profunda.

Tabla 1. Comportamiento medio de la humedad relativa (%) entre las 1800 UTC y las 0000 UTC, manifestado en los casos de estudio agrupados según la situación sinóptica en la que ocurrieron en los distintos niveles

	1000 hPa	850 hPa	700 hPa	500 hPa	300 hPa
Grupo I	74	60	40	30	30
Grupo II	76	60	50	40	68
Grupo III	70	78	76	45	86
Grupo IV	76	60	50	40	50
Grupo V	76	60	62	36	52

El comportamiento de la temperatura del aire en la columna troposférica tampoco mostró cambios significativos horas antes y durante la ocurrencia de los fenómenos estudiados en cada una de las configuraciones sinópticas encontradas. A continuación se muestran en la tabla 2 los valores medios registrados:

Tabla 2. Comportamiento medio de la temperatura del aire (° C) entre las 1800 UTC y las 0000 UTC, manifestado en los casos de estudio agrupados según la situación sinóptica en la que ocurrieron

	Superficie	850 hPa	700 hPa	500 hPa
Grupo I	30	19	10	-9
Grupo II	32	20	10	-8
Grupo III	27	18	8	-11
Grupo IV	29	19	10	-10
Grupo V	28	20	9	-8

Como se evidencia en la tabla 2, la profunda capa fría en la tropósfera media, con valores inferiores a -7°C en todos los casos, coincide con el umbral en 500 hPa determinado por Aguilar (2006) para la ocurrencia de severidad. Esta situación en combinación con los altos valores en superficie, favorecieron una fuerte inestabilidad en el área que contribuyó a la formación de actividad convectiva profunda, así como a la formación de gotas de gran diámetro e incluso cristales de hielo dentro de la tormenta que pudieron llegar a la superficie sin derretirse.

En general, en los casos analizados el ambiente sinóptico mostró condiciones favorables para el desarrollo de convección profunda que pudiera ser capaz de generar tiempo severo y lluvia localmente intensa, en cuanto al comportamiento de la humedad, así como la temperatura en la troposfera baja y media. Sin embargo, no permiten identificar los mecanismos específicos que

condicionaron la generación de los eventos de tiempo severo en el horario y los lugares donde ocurrieron.

Aún así, las estructuras sinópticas que generaron tales condiciones actúan como elemento de fondo, coincidiendo con Aguilar (2006), y en estos casos son, precisamente, las circulaciones locales las que pueden aportar las condiciones necesarias para la presencia de estos sucesos. Teniendo esto presente, a continuación se realiza un análisis a mesoescala, utilizando las imágenes de satélite, las observaciones de radar y las salidas del modelo WRF, que de forma puntual ofrecen información detallada sobre dichos mecanismos.

Análisis de las imágenes de satélite

El análisis de las imágenes de satélite reflejó, en la mayoría de los casos examinados, la presencia desde horas tempranas de la mañana de Rollos Convectivos Horizontales (HCR) a lo largo del flujo medio de la capa fronteriza atmosférica, estructuras que favorecen la convergencia en los niveles bajos. La interacción de dichas estructuras coherentes con el frente de brisa de mar produjo un incremento en el desarrollo vertical de la nubosidad en el borde delantero de dicho frente, lo que resultó ser el detonador principal para la convección profunda y organizada hacia horas de la tarde, coincidiendo con lo planteado por Carnesoltas (2002) y Varela (2017). Esta interacción en los casos analizados y producto de un flujo del este- sudeste en las capas bajas de la tropósfera, se produjo hacia el interior y la costa norte de la región de estudio, hacia donde se concentró la actividad convectiva, comprobado por las imágenes de satélite (figura 5).

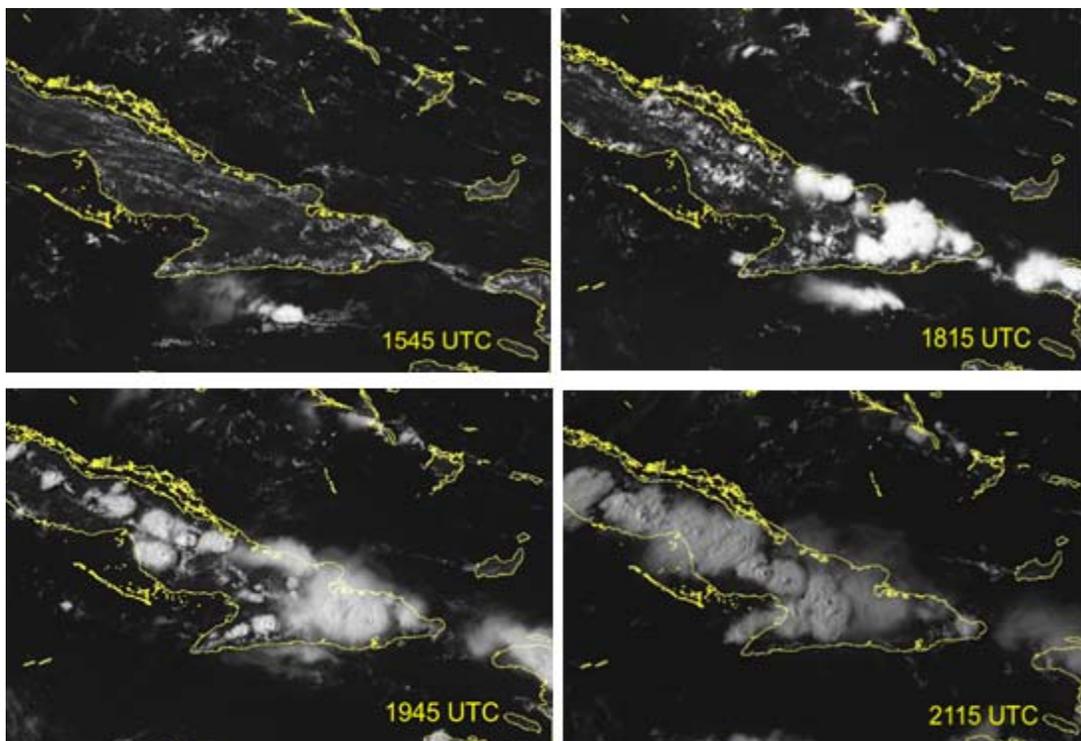


Figura 5. Secuencia de imágenes de satélite GOES 13, del día 13 de agosto de 2015 donde se observa la formación de actividad convectiva fuerte

La nubosidad convectiva pudo apreciarse desde las primeras horas de la tarde hasta el final de esta y/o principios de la noche; situación que estuvo relacionada con la regeneración de nuevas celdas convectivas a partir de los frentes de rachas de las tormentas en disipación. Este resultado concuerda con lo planteado por Varela (2017), quien afirma que el movimiento de los frentes de rachas de las tormentas en disipación en una dirección paralela a la orientación de las costas permite interactuar con el frente de brisas de mar nuevamente e influir en el inicio de otras tormentas.

Análisis de las observaciones de radar

De forma conjunta para los 15 casos analizados, se comprobó que la ocurrencia de tormentas productoras de lluvias localmente intensas en presencia de otra manifestación de tiempo severo está generalmente asociada a tormentas de celdas simples, con un tiempo de vida entre 30 y 60 minutos. Aunque los propios mecanismos de regeneración que se manifestaron en estas celdas convectivas, permitieron que el área de estudio se viera incidida por más tiempo, lo que provocó mayores acumulados de precipitación.

Los valores de máxima reflectividad definidos a lo largo del ciclo de vida de las celdas analizadas oscilaron entre los 50 y 60 dBz, fueron superiores en algunos de ellos, con valores máximos de hasta 68 dBZ, lo que evidencia el potencial severo que presentaban dichas celdas. Estos resultados concuerdan con los umbrales definidos por Hernández (2015) para tormentas que provocan lluvias intensas en el período lluvioso en la región occidental de Cuba.

La altura de máxima reflectividad alcanzó un umbral que osciló entre los 9 y 10 km, lo que coincidió con lo encontrado por Gamboa (2004). Este resultado manifiesta la concentración de valores de máxima reflectividad por encima de la isoterma de 0°C, ubicada para estos casos entre los 4 y los 5 km. Esto permitió la formación de cristales de hielo dentro de la tormenta, así como garantiza la intensidad de las propias corrientes verticales de dichas tormentas, que son capaces de soportar esa cantidad de agua en su interior.

También se manifestaron durante el ciclo de vida de las tormentas eco centroides de máxima reflectividad localizados por debajo de los 4 km de altura. Esto demostró que tenían gran cantidad de gotas de agua por debajo de la isoterma de 0°C, predominando los procesos de colisión - coalescencia que favoreció la intensidad y eficiencia de la precipitación. A esto se le suman, además, los altos valores de VIL que presentaron las tormentas, con valores por encima de los 50 kg/m² en todos los casos. Esto demostró los grandes acumulados de agua que eran capaz de sostener dichas tormentas convectivas (figura 6).

Otra muestra del potencial severo que presentaban las tormentas convectivas analizadas lo constituye el hecho de la dimensión que alcanzaron los ecos de reflectividad superiores a 50 dBz en el interior de ellas, los cuales se extendieron desde la base de la nube hasta los 12 y 15 km de altura, lo que permitió que pudieran conjugarse en la misma tormenta, altas concentraciones de cristales de hielo por encima de la isoterma de 0°C y por debajo de esta, altos valores de agua líquida.

Los topos máximos oscilaron entre los 12 y 15 km, aunque en cinco casos fueron superiores a los 18 km (figura 7); característico de celdas con corrientes ascendentes muy fuertes, capaces de elevar y concentrar volúmenes de agua e incluso granizo durante más tiempo en su ciclo de vida. Este umbral coincide con los planteados por Armas (2016) y es muy superior al definido por Gamboa

(2004), quien estableció como umbral para la identificación de ecos asociados a fenómenos meteorológicos potencialmente peligrosos valores superiores a 8 km.

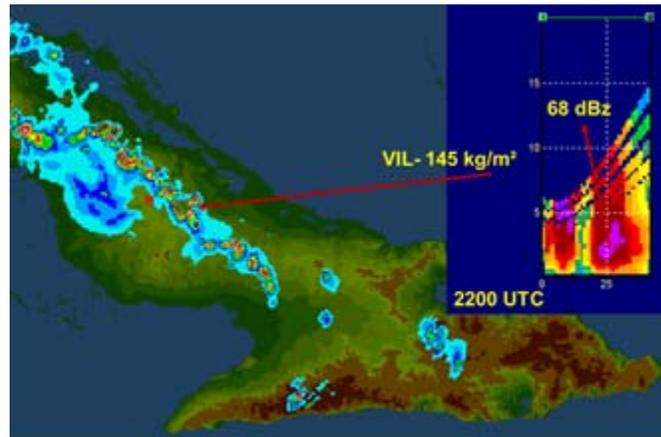


Figura 6. Corte vertical que muestra los altos valores de VIL y el eco de máxima reflectividad por debajo de los 5 km, el 2 de julio de 2014 en Camagüey

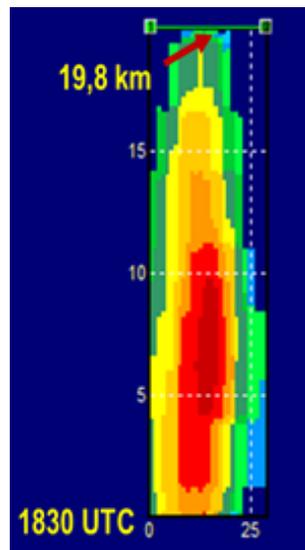


Figura 7. Corte vertical del día 24 de julio de 2017 en Niquero, Granma que muestra el tope alcanzado por la TLS generadora de lluvia intensa

Análisis de mesoescala de algunas variables e índice a partir de las salidas del modelo numérico WRF

A partir de las salidas del modelo WRF se encontró en los casos analizados un aumento de la humedad en los niveles bajos desde horas de la mañana hasta el horario de ocurrencia de las tormentas, en el que los valores que oscilaban entre los 50 - 60% sufrieron un incremento de hasta el 70 - 80%, incluso la humedad relativa alcanzó valores superiores en algunos casos. Los niveles medios constituyeron los más secos, con valores que oscilaron entre 30% y 50% y al contrario de los niveles bajos, tuvieron una ligera disminución entre las 1800 UTC y las 2100 UTC (ejemplo caso de la figura 8).

Uno de los factores fundamentales que condicionó la convección hacia el horario de la tarde fue precisamente este incremento de la humedad en niveles bajos, lo que provocó un cambio en la altura del nivel de condensación por ascenso (NCA) la que se encontró en todos los casos por debajo de los 1000 m (ejemplo caso de la figura 9), en el horario previo a la TLS, lo que unido al ascenso forzado del aire producto de la interacción del frente de brisa de mar con los HCR o los frentes de rachas de otras tormentas posibilitó rápidamente la condensación de la masa de aire.

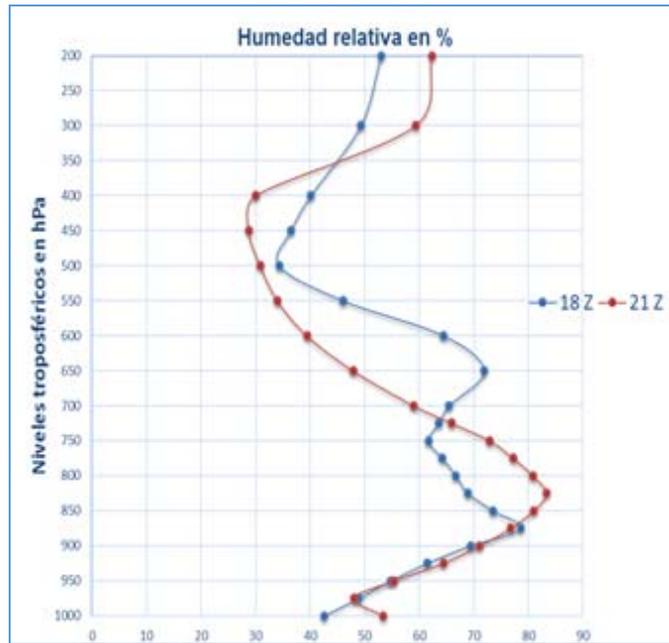


Figura 8- Comportamiento de la humedad relativa a las 1800 UTC y a las 2100 UTC del día 13/8/2017 en Velazco, Holguín

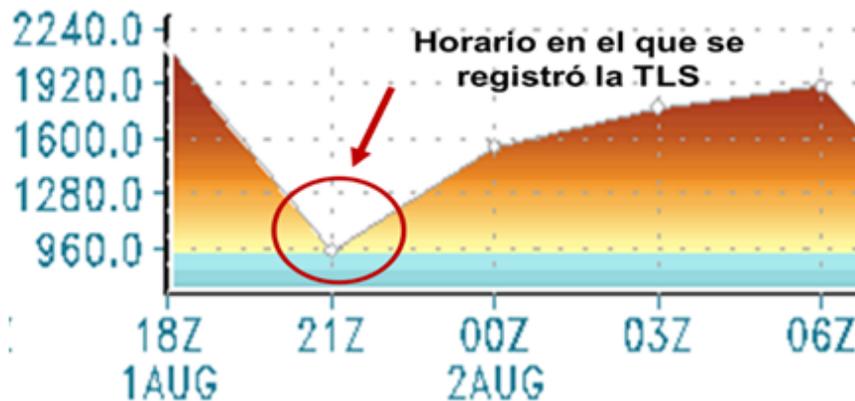


Figura 9. Meteograma que muestra la disminución de la altura del NCA en el horario cercano al que ocurrió la TLS, para el día 1/8/2015 en la estación meteorológica de Florida, Camagüey.

Las temperaturas, por otro lado, mostraron un comportamiento más homogéneo en los horarios analizados. Se evidencia altos valores en superficie, que oscilaron entre los 31°C y 35°C, en contraste con los niveles medios, en los que se encontraron valores inferiores a -7°C en todos los

casos, esto favorece la formación de cristales de hielo de gran tamaño dentro de las celdas convectivas.

Los valores de los índices termodinámicos reflejaron condiciones de gran inestabilidad sobre las áreas de estudio, estas se hicieron más elevados hacia las horas más cercanas de los reportes de los fenómenos de severidad. La CAPE fue superior a los 1500 J/kg en todos los casos, la que alcanzó valores extremos de hasta 3113 J/kg. El valor de la CIN fue inferior a los 50 J/kg, lo que demuestra que la energía que tenía el ambiente para limitar la convección era muy pequeña, y el LI se mantuvo para todos los casos inferiores a 0, con valores entre -2 y -7, lo que constituye un indicativo del aumento del potencial severo (figura 10).

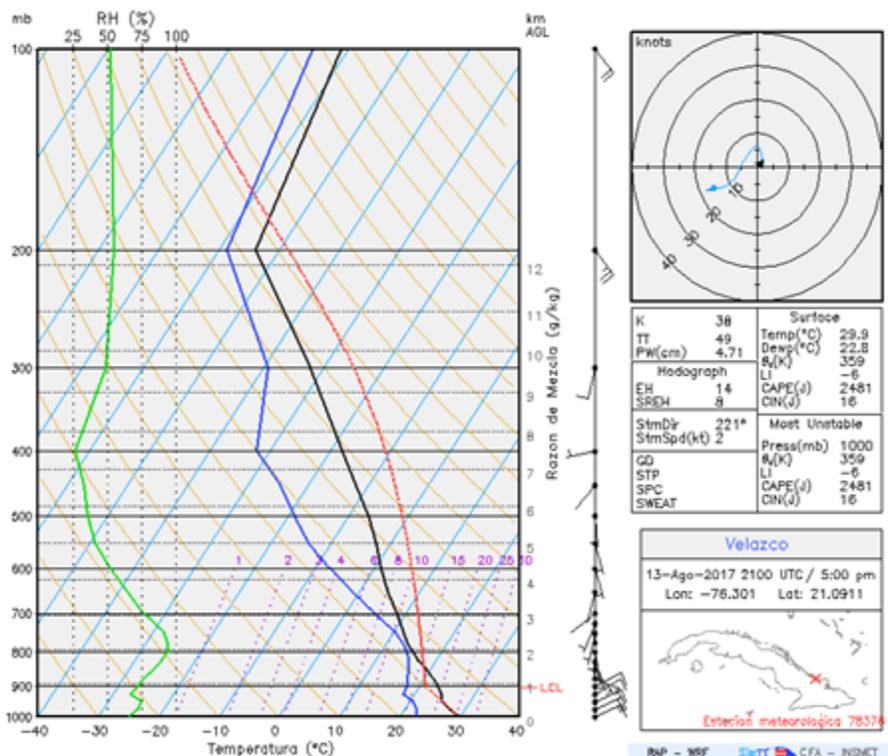


Figura 10. Sondeo del día 13 de agosto de 2017 en la estación meteorológica de Velazco, Holguín a las 2100 UTC

Las salidas del modelo en cuanto a la concentración de granizo y la concentración de agua líquida en la nube de tormenta, mostró niveles altos de este último hasta los 600 hPa y muy bajos por encima de este nivel, a la vez que las concentraciones de granizo no se manifestaron por debajo de los 600 hPa y por encima de este; en cambio existían altos valores que se extendían hasta los 400 hPa en el que alcanzaban un máximo (figura 11). Esto responde a la estructura interna que presentan este tipo de tormentas, en las que se conjugan el alto contenido de gotas de agua por debajo del nivel de congelación y el alto contenido de cristales de hielo por encima de la isoterma 0°C.

Un análisis de la cizalladura vertical del viento (figura 12) arrojó para la mayoría de los casos un comportamiento débil, tanto para las capas superficie- 850 hPa, superficie- 700 hPa como para superficie- 500 hPa.

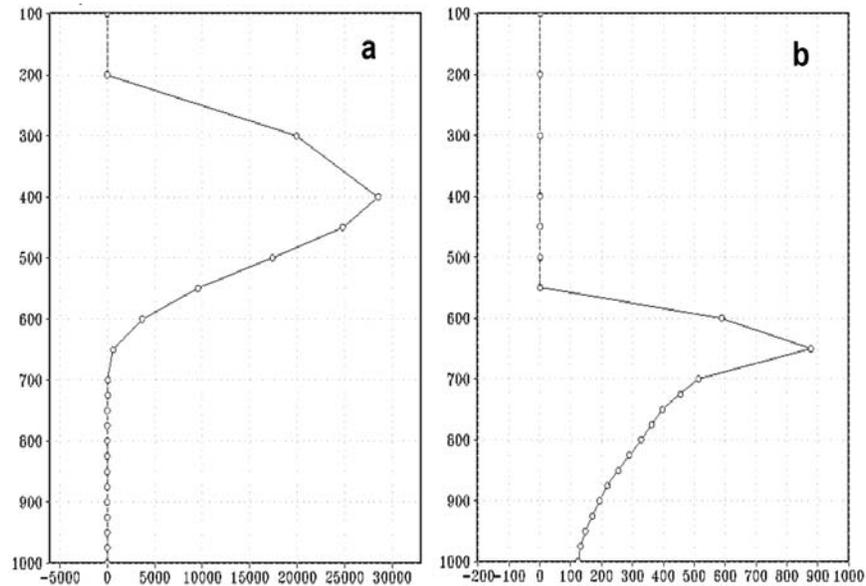


Figura 11- Corte vertical del contenido de granizo (a) y el contenido de lluvia (b) el 1/8/2015 a las 2100 UTC en la estación meteorológica de Florida, Camagüey

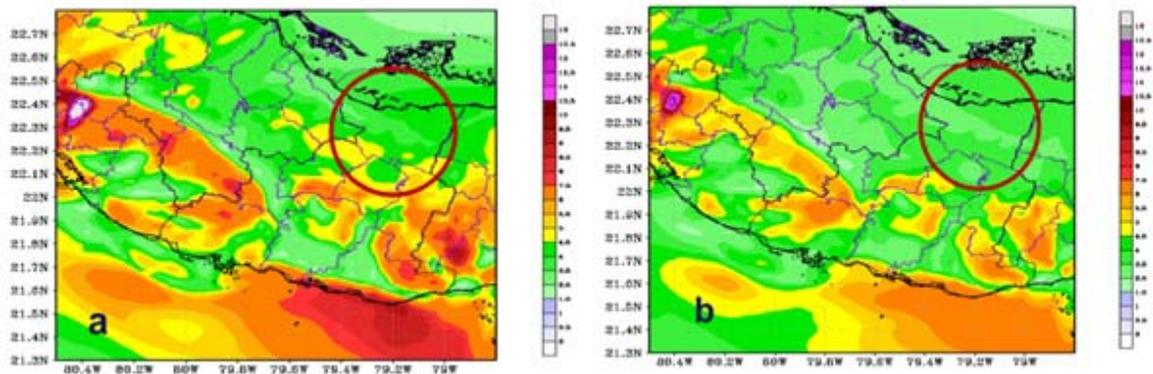


Figura 12. Comportamiento de la cizalladura vertical (a) en la capa superficie- 850 hPa (b) en la capa superficie- 700 hPa, en el municipio de Yaguajay el 29/5/2016

Esta débil cizalladura, que por lo general imperó en los casos de estudio, fue favorable para la formación de celdas simples, en las que la corriente descendente rápidamente interacciona con la ascendente, reemplazándola y disipando la tormenta.

Conclusiones:

- I. Los casos analizados se desarrollaron en un ambiente sinóptico caracterizado por la presencia de débil cizalladura vertical en la capa superficie- 500 hPa, con altos valores de humedad relativa en niveles bajos e intrusión de aire frío y seco en la capa media, bajo la presencia de cinco configuraciones sinópticas principales, en las que la vaguada de niveles medios y altos es la más significativa.

- II. Las celdas convectivas se caracterizaron por presentar eco centroides de gran extensión en la vertical por encima de la isoterma de 0°C, lo que provoca la formación de grandes concentraciones de cristales de hielo durante el desarrollo de la tormenta y en su disipación los ecos centroides de máxima reflectividad se encuentran por debajo de los 5 km de altura, favoreciendo la eficiencia de la lluvia.
- III. En todos los casos de estudio, la interacción de los rollos convectivos horizontales con el frente de brisa de mar resultó ser el detonante principal en la mesoescala para la convección profunda y organizada en horas de la tarde donde el nivel de condensación por ascenso osciló entre 900 y 1000 m.

Bibliografía:

Aguilar, G.; Naranjo, L. & Carnesoltas, M. 2005. *Creación de un Sistema Experto de condiciones a escala sinóptica favorables para la ocurrencia de tormentas locales severas para el período lluvioso en Cuba.* Informe de Resultado Científico del proyecto “Condiciones sinópticas favorables para la ocurrencia de Tormentas Locales Severas en Cuba. Un esquema para su predicción”, Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba, 35 p.

Aguilar, G. 2006. *Condiciones a escala sinóptica para la ocurrencia de aeroavalanchas en Cuba.* Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Meteorológicas. Instituto de Meteorología de Cuba, 75 p.

Alfonso, A. 1994. *Climatología de las tormentas locales severas de Cuba.* La Habana: Academia, 168 p.

Armas, O. 2016. *Estudio de la lluvia localmente intensa a muy corto plazo para la mitad oriental de Cuba en el período poco lluvioso.* Tesis en opción al título de Licenciado en Meteorología, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, La Habana, 61 p.

Carnesoltas, M. 2002. “La brisa de mar y tierra. Conceptos fundamentales”. *Revista Cubana de Meteorología*, 9(1): 39–60, ISSN: 0864-151X.

Gamboa, F. 2004. *Selección de indicadores radáricos como predictores de severidad.* Tesis presentada en opción al título de Máster en Ciencias Meteorológicas, La Habana, 55 p.

Hernández, A. 2010. *Condiciones favorables en la capa media atmosférica para la ocurrencia de granizo sobre Cuba.* Tesis en opción al grado de Licenciado en Meteorología, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, 48 p.

Hernández, F. 2015. *Estructura interna de las tormentas que generan tiempo severo a través de las imágenes del radar de Casa Blanca.* Tesis en opción al grado de Licenciado en Meteorología, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, 74 p.

INSMET, 2018. *Glosario de Términos Meteorológicos del Sistema Nacional de Pronósticos.* Instituto de Meteorología INSMET. La Habana, Cuba, 30 p.

Pérez, H. 2015. *Configuraciones Sinópticas generadoras de lluvia intensa en el período lluvioso desde Ciego de Ávila hasta Guantánamo.* Tesis en opción al título de Licenciado en Meteorología. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, La Habana, 107 p.

Planos, E; Vega, R. & Guevara, A. 2013. *Impacto del Cambio Climático y las medidas de Adaptación en Cuba.* Instituto de Meteorología, Agencia de Medio Ambiente. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. La Habana, Cuba. 430 p.

Varela, A. 2017. *Factores que intervienen en la formación de tornados en la región occidental de Cuba.* Tesis presentada en opción al grado de Máster en ciencias meteorológicas. La Habana, 102 p.



***COMPORTAMIENTO DE LOS FRENTES FRÍOS QUE HAN AFECTADO
A LA PROVINCIA DE SANTIAGO DE CUBA EN LA TEMPORADA INVERNAL
2005-2006 HASTA 2018-2019.***

Autor: Lic. Lisandra Zapata Despaigne.

MSc. Leonel Machado Ferrer.

MSc. Virginia Vinajera Suarez.

Centro Meteorológico Provincial Santiago de Cuba. Santiago de Cuba. Cuba.

Teléfonos: 641656, 644400, 643357. E-mail: lisandra.zapata@scu.insmet.cu.

“Año 61 de la Revolución”