

Factores que influyen en la duración e intensidad de las lluvias intensas de corta duración: análisis con radar



<https://cu-id.com/2377/v31n2e10>

Factors that affect the duration and intensity of short-duration heavy rainfall: radar analysis

Beatriz Valdés Díaz^{1*}, Alis Varela de la Rosa², Mario Carnesoltas Calvo³, José Ángel Calzadilla Pérez⁴

¹Oficina Principal y de Vigilancia Meteorológica, Empresa Cubana de Navegación Aérea, Cuba.

²Centro de Pronósticos, Instituto de Meteorología, Cuba. E-mail: alis.varela@insmet.cu

³Centro de Física de la Atmósfera, Instituto de Meteorología, Cuba

⁴Universidad Nacional Autónoma de México, México. E-mail: jcalzadilla@iingen.unam.mx

RESUMEN: Las tormentas eléctricas se forman y se mantienen gracias a fuertes corrientes ascendentes que transportan las gotas de agua hacia las porciones superiores de la nube. Estas gotas precipitan y generan acumulados en la superficie, que, al alcanzar cierto umbral, se clasifican como “lluvias localmente intensas de corta duración”. Dichas lluvias pueden causar afectaciones en las infraestructuras sociales y económicas, así como representar un riesgo para la seguridad humana. La predicción de estas tormentas es muy compleja debido a su gran variabilidad espacial y temporal, así como a los complejos mecanismos y la multiplicidad de factores que intervienen en su formación. El objetivo principal de esta investigación fue identificar los factores meteorológicos que discriminan la ocurrencia de estos eventos intensos. Para ello, se seleccionaron una serie de factores como posibles discriminantes, los cuales, en función de leyes y procesos físicos, influyen en la duración de la precipitación. Para evaluar la efectividad de las tormentas, se realizó una comparación entre los casos en los que se generaron lluvias localmente intensas de corta duración y aquellos en los que no se produjeron fenómenos similares. Los resultados más significativos indican que la longitud del sistema nuboso en la dirección de su desplazamiento, el número de celdas convectivas y las interacciones simultáneas con la velocidad de desplazamiento del sistema son los factores que más influyen en los acumulados significativos de precipitación.

Palabras claves: lluvias localmente intensas de corta duración, radar, tormentas eléctricas.

ABSTRACT: Thunderstorms are formed and sustained by strong updrafts that carry water droplets to the upper portions of the cloud. These droplets precipitate and create accumulations on the surface, which, upon reaching a certain threshold, are classified as “locally intense short-duration rainfall.” Such rainfall can cause damage to social and economic infrastructure and pose a risk to human safety. Predicting these storms is quite complex due to their significant spatial and temporal variability, as well as the intricate mechanisms and multiple factors that contribute to their formation. The primary objective of this research was to identify the meteorological factors that distinguish the occurrence of these intense events. To this end, a series of factors were selected as potential discriminants, which, according to physical laws and processes, influence the duration of precipitation. To assess the effectiveness of the storms, a comparison was made between cases that produced locally intense short-duration rainfall and those that did not exhibit similar phenomena. The most significant findings indicate that the length of the cloud system in the direction of its movement, the number of convective cells, and the simultaneous interactions with the system's movement speed are the factors that most significantly influence substantial precipitation accumulations.

Keywords: locally intense short-duration rains, thunderstorms, radar.

*Autor para correspondencia: beatrizvaldesdiaz9@gmail.com

Recibido: 12/11/2024

Aceptado: 21/04/2025

Conflicto de intereses: declaramos, no tener ningún conflicto de interés

Contribución de autoría: Concepción de la idea: Beatriz Valdés Díaz, Mario Carnesoltas Calvo y Alis Varela de la Rosa.

Manejo de los datos: Beatriz Valdés Díaz y José Ángel Calzadilla Pérez. **Análisis de los datos:** Beatriz Valdés Díaz y José Ángel Calzadilla Pérez.

Investigación: Beatriz Valdés Díaz y José Ángel Calzadilla Pérez. **Metodología:** Beatriz Valdés Díaz,

Mario Carnesoltas Calvo y Alis Varela de la Rosa. **Supervisión:** Mario Carnesoltas Calvo y Alis Varela de la Rosa. **Validación**

de los resultados: Beatriz Valdés Díaz, Mario Carnesoltas Calvo, Alis Varela de la Rosa y José Ángel Calzadilla Pérez.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

INTRODUCCIÓN

A menudo se habla de precipitación intensa cuando se refiere a la acumulación en una hora o en pocos segundos de lluvia o incluso, realizando comparaciones lineales entre ambas. Sin embargo, el comportamiento natural de la precipitación hace que sea necesario hablar de una relación no lineal para referirse a cómo cambia la intensidad de la precipitación con el intervalo de tiempo medido (Monjo, 2008). “Según los registros pluviométricos, las lluvias de corta duración suelen ser más intensas en los intervalos de tiempo inferiores a 60 minutos y las de larga duración, particularmente, las ciclónicas, en los intervalos de tiempo superiores a 60 minutos” (Planos *et al.*, 2004).

En Cuba, el criterio considerado como lluvia intensa fue el definido por Rivero *et al.* (1981), el cual considera aquella precipitación que produce un acumulado en superficie igual o mayor a 100 mm en 24 horas o igual o mayor a 50 mm en 12 horas. Sin embargo, según Byers & Braham (1948), las lluvias intensas también pueden estar asociadas al ciclo de vida de tormentas eléctricas que puede durar desde algunos minutos hasta algunas pocas horas. Estas lluvias localmente intensas de corta duración, aunque no están consideradas dentro de las Tormentas Locales Severas (TLS), definidas por Alfonso (1994), pueden causar impactos negativos en las infraestructuras sociales, incluso en la seguridad humana. Por lo que es imperante su estudio y consideración entre los eventos severos que cada día pueden ocurrir.

Tanto los eventos locales severos como las lluvias localmente intensas de corta duración, que pertenecen a la α - micro escala (Orlanski, 1975), son eventos discretos tanto espacial como temporalmente. Según Doswell *et al.* (1996) “la duración de la lluvia viene determinada por el movimiento del sistema nuboso, su tamaño y su forma”. Es decir, que el tiempo que puede estar influyendo dicho sistema en un punto puede expresarse como:

$$\Delta t = \frac{L_s}{|V_s|} \quad (1)$$

Donde: V_s es la velocidad del sistema nuboso y L_s , la longitud en la dirección de la velocidad (figura 1).

Partiendo de lo antes expuesto, para lograr un futuro pronóstico de estas lluvias en las tormentas eléctricas, las investigaciones deben estar dirigidas a resolver los factores y elementos que interaccionan y generan un acumulado igual o mayor a 30 mm en una hora de duración en superficie (Organización Meteorológica Mundial, 1992). Teniendo en cuenta esto, la investigación se plantea como objetivo principal: determinar los factores meteorológicos que influyen en la duración e intensidad de las lluvias intensas de corta duración mediante observaciones de radar en La Habana, Artemisa y Mayabeque.

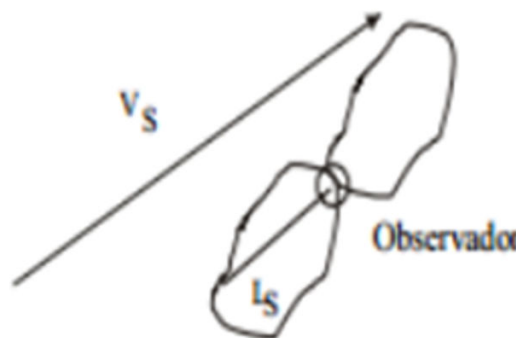


Figura 1. Esquema de la duración de la lluvia (Tomado de Doswell *et al.*, 1996).

MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio comprende las provincias de La Habana, Artemisa y Mayabeque, ubicadas en el occidente de Cuba. Esta región se seleccionó por dos razones fundamentales: concentra la mayor densidad de estaciones meteorológicas del país (10 en total) y reviste gran importancia para el desarrollo económico nacional. Artemisa y Mayabeque son zonas predominantemente agrícolas, mientras que La Habana, al ser la capital del país y la provincia más densamente poblada, añade relevancia adicional a esta elección.

Esta región también fue seleccionada debido a la disponibilidad de registros digitales automáticos de los acumulados de los pluviogramas de la Red de Estaciones Meteorológicas, correspondientes al periodo comprendido entre 2003 y 2017. Estos registros, obtenidos a través de una investigación en el Instituto Técnico Militar “José Martí” (ITM), permitieron calcular acumulados reales para intervalos de una hora y optimizar la selección de los casos de estudio.

Con base en lo anterior, se eligieron finalmente los casos de estudio de lluvias localmente intensas de corta duración dentro del periodo de 2011 a 2019. A partir de estos datos digitalizados, se seleccionaron aquellos eventos que mostraron acumulados iguales o superiores a 30 mm en una hora o menos. Además, se revisaron los reportes de Tormentas Locales Severas y la base de datos del Centro del Clima para identificar otros casos, analizando los acumulados de precipitación en función del intervalo de tiempo de la medición y calculando la intensidad media de la precipitación para una hora.

Se seleccionó el estudio de casos como vía para realizar un proceso de análisis e indagación de situaciones por separado; por lo que se basó en el entendimiento de las condiciones físicas que generaron el fenómeno de las lluvias localmente intensas de corta duración. Este conocimiento se derivó del análisis descriptivo de las situaciones

meteorológicas, realizado mediante observaciones de radar y el software de visualización Vesta Proceso 5.3.19.4. Una herramienta de código abierto desarrollada por el Centro de Radares de Camagüey.

También se eligieron casos de tormentas eléctricas (TE) que no produjeron acumulados de precipitación significativos, para compararlos con los casos anteriores y poder establecer un análisis discriminante de los factores físico-meteorológicos. Estos días se escogieron en fechas cercanas a los casos ya seleccionados de lluvia localmente intensa de corta duración, para la misma estación, lo que garantizó que, tanto los cambios en el terreno como los cambios estacionales no fueran factores que influyeran en la variación de las condiciones.

Teniendo en cuenta las condiciones planteadas anteriormente y la disponibilidad de el mayor número de herramientas para su análisis, del total inicial de 89 días con eventos de lluvias localmente intensas de corta duración en el periodo considerado, finalmente se dispuso de 10 días para el estudio de casos. En cinco de los días estuvo presente el fenómeno de lluvia localmente intensa de corta duración (TEC) y en los cinco restantes este fenómeno no estuvo presente (TES). Las [tablas 1 y 2](#) muestran los días finalmente seleccionados para el estudio de casos.

Observaciones de radar

El radar utilizado en esta investigación correspondió al de Casablanca, localizado en la ciudad de La Habana, y cuyas observaciones fueron facilitadas por el equipo del Centro de Radares en Camagüey. La [figura 2](#) muestra el mapa con la ubicación del radar y su radio óptimo de medición que oscila entre los 110 y 150 km, quedando la región de estudio dentro de dicho radio. La [tabla 3](#) muestra las características del radar.

Las observaciones de radar contaron con una resolución temporal de 15 min y 10 min, lo que permitió precisar con mayor detalle la evolución

de la tormenta desde su formación hasta su disipación. Para procesar las mismas se empleó el software Vesta Proceso en su versión 5.3.19.4. Se determinaron las coordenadas más exactas de las tormentas desde la formación hasta la disipación, además se procesaron productos como tope máximo, reflectividad máxima y contenido de agua líquida integrada verticalmente (VIL). Se hicieron cortes verticales para determinar la altura de los valores de reflectividad de 45 dBz, los de máxima reflectividad y la altura de los topes máximos. Estas variables fueron propuestas por [Gamboa \(2004\)](#) para caracterizar de forma cuantitativa y cualitativa el comportamiento de una tormenta.

A partir de las observaciones de radar, además del análisis de las variables antes mencionadas, se determinaron y analizaron factores como: los movimientos de las tormentas, sus velocidades de desplazamientos, las longitudes de los sistemas nubosos en dirección a sus desplazamientos, números de celdas convectivas y las posiciones del centro de la tormenta con respecto a las estaciones meteorológicas.

Factores físico-meteorológicos que contribuyen a la duración de la lluvia

Velocidad de desplazamiento del sistema nuboso:

“Para el caso de sistemas convectivos, la velocidad del sistema, es la suma de la velocidad media de las celdas convectivas que la componen y la velocidad de propagación, debida a la aparición, desarrollo y posterior fusión de celdas convectivas en su periferia, proceso denominado regeneración” ([Corfidi et al., 1996](#)). “La velocidad de las celdas convectivas es fácilmente pronosticable, coincide con el viento medio entre los niveles en los cuales están inmersas dichas celdas. La predicción de la velocidad de propagación es más difícil, ya que la convección puede interactuar con el entorno, si este reúne las condiciones termodinámicas adecuadas, para desarrollar nuevas celdas o disiparlas alrededor

Tabla 1. Días con tormentas eléctricas que generaron lluvias localmente intensas de corta duración.

Fecha	Provincia	Estación	Nombre	Acum.total (mm)	Intensidad (mm/h)
18/4/2017	La Habana	78373	Santiago de las Vegas	46,0	46,0
8/6/2017	Mayabeque	78340	Bainoa	130,4	43,5
8/6/2017	Mayabeque	78374	Tapaste	96,8	48,4
4/4/2019	Mayabeque	78323	Güines	70,0	70,0
10/7/2019	Artemisa	78318	Bahía Honda	7,8	52,0

Tabla 2. Días con tormentas eléctricas que no generaron lluvias localmente intensas de corta duración

Fecha	Provincia	Estación	Nombre	Acum.total (mm)	Intensidad (mm/h)
20/4/2017	La Habana	78373	Santiago de las Vegas	40,0	20,0
7/6/2017	Mayabeque	78340	Bainoa	5,7	4,6
7/6/2017	Mayabeque	78374	Tapaste	8,1	4,1
5/4/2019	Mayabeque	78323	Güines	6,8	6,8
5/7/2019	Artemisa	78318	Bahía Honda	7,8	7,8

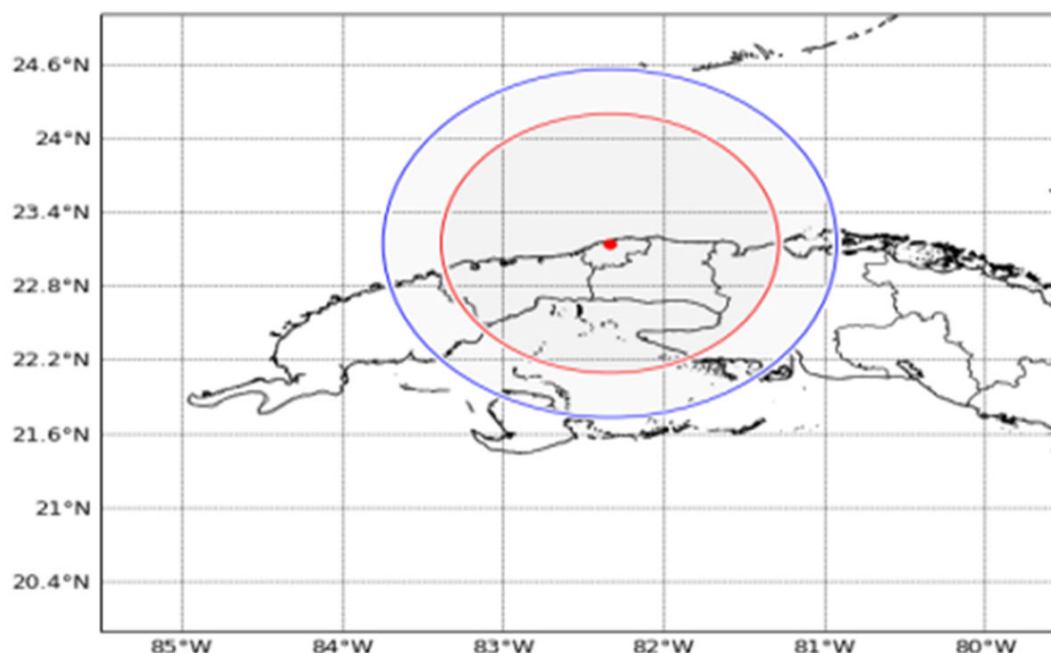


Figura 2. Localización y radio de medición óptimo del radar de Casa Blanca, La Habana. (confeccionado por la autora). El punto rojo indica la localización del radar, la circunferencia roja, el radio de medición óptimo para los 110 km y la azul para los 150 km.

Tabla 3. Características del radar de Casablanca localizado en La Habana.

Radar	Localización	Tipo	Distancia Antena (m)	Altura Antena (m)	Longitud de onda (cm)	Alcance (m)	Radio óptimo (km)
Casa Blanca	Municipio Regla (LHA)	MRL-5 (M)	4.5	62	10	450	110-150

de las celdas principales. Si el sistema se propaga a sotavento del viento troposférico medio, se produce entonces una aceleración en el movimiento del sistema, a este tipo de propagación se le denomina “hacia delante”. Si la propagación ocurre a barlovento se le denomina “hacia atrás”. Con este último tipo de propagación se suelen producir eventos de lluvia intensa” (Doswell *et al.*, 1996).

Posición del centro de la tormenta con respecto a la estación meteorológica: La intensidad de la lluvia disminuye desde el centro hacia la periferia de la nube de tormenta. Esto se debe a la organización de sus corrientes ascendentes y descendentes. Si el centro de la tormenta permaneciera casi estacionario sobre el punto de medición del acumulado de lluvia en superficie, se obtendría un acumulado de precipitación casi ideal de toda el agua precipitable que contendría la nube, en el lugar de mayor intensidad de la precipitación. Sin embargo, no siempre las condiciones son las ideales y las nubes de tormenta no siempre se sitúan sobre los pluviómetros; muchas veces estos quedan entre el centro y la periferia sin poder mostrar la verdadera cantidad de precipitación contenida en la misma.

Longitud del sistema nuboso en dirección a su desplazamiento y número de celdas convectivas: La longitud del sistema nuboso en dirección a su desplazamiento y el número de celdas convectivas

determinan en gran medida el tiempo en que este sistema puede estar influyendo sobre determinado punto en la superficie terrestre, aumentando la cantidad de lluvia que se registraría en un punto. Los sistemas convectivos de gran diámetro pueden generar acumulados significativos pudiendo hasta generar una inundación súbita, situación que pudiera agravarse si el sistema se moviera lentamente o tuviera una propagación hacia atrás, en el caso de haber afectado al punto en tierra o hacia delante en caso de no haberlo afectado todavía.

Velocidad del viento en el nivel de la corriente directriz: Las celdas convectivas se mueven por el flujo de los niveles troposféricos a alturas donde concentra su mayor contenido de agua, tanto en estado líquido como sólido. Si la intensidad del viento en el nivel de la corriente directriz es débil se incrementará el intervalo de tiempo en que las tormentas afectarían la estación meteorológica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de máxima reflectividad definidos a lo largo del ciclo de vida de las celdas que generaron lluvias localmente intensas de corta duración (TEC) oscilaron entre 50 y 60 dBz, siendo inferiores en las TE que no generaron lluvias localmente intensas (TES), con valores máximos que oscilaron

entre 46 y 51 dBz durante todo el ciclo de vida de las celdas convectivas. Durante el ciclo de vida de las TEC la extensión vertical de los centroides de máxima reflectividad se concentró en alturas por encima de los 3,0 km hasta aproximadamente los 5,4 km, mientras que para las TES la máxima reflectividad estuvo por debajo de los 4,6 km.

Los valores de reflectividad de 45 dBz en los casos de TES se encontraron desde la superficie hasta los 4,0 km y en las TEC alcanzaron hasta los 8,0 km. Esto demostró que las tormentas generadoras de lluvias localmente intensas tuvieron gran cantidad de gotas de agua por debajo de la isoterma de 0°C, predominando los procesos de colisión-coalescencia que favorecieron la intensidad y la eficiencia de la precipitación.

Los topos máximos de los cinco casos de TEC se localizaron entre los 12,0 y 17,0 km (figura 3).

Estas tormentas estuvieron caracterizadas por corrientes ascendentes muy fuertes, capaces de elevar y concentrar volúmenes de agua durante más tiempo en su ciclo de vida, lo que coincidió con lo encontrado por Armas (2016). En cambio, las TES presentaron topos máximos entre 9,0 km y 13,0 km de altura (figura 4), lo que infiere la presencia de corrientes ascendentes menos fuertes en estas tormentas.

Los valores del contenido de agua líquida integrada verticalmente (VIL) de las TEC se encontraron entre 10,5 y 41,0 Kg/m². Los valores para esta variable en el caso de las tormentas que no generaron lluvias localmente intensas se encontraron entre 9.5 y 21.5 Kg/m². Lo que sigue demostrando la mayor concentración de agua en estado líquido que debe tener las nubes que generan los eventos de lluvia intensa, en comparación con el resto de las tormentas.

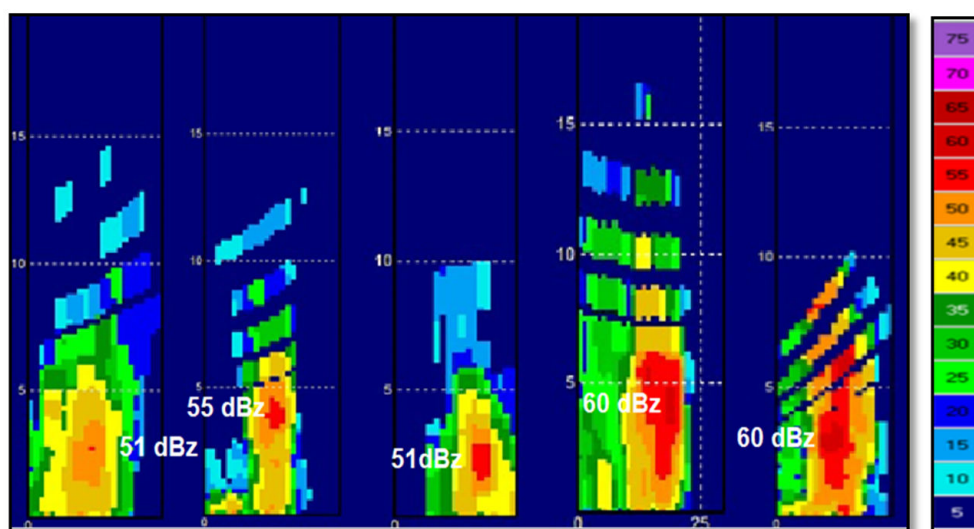


Figura 3. Cortes verticales de las tormentas que generaron lluvias localmente intensas de corta duración, en el momento de máxima intensidad.

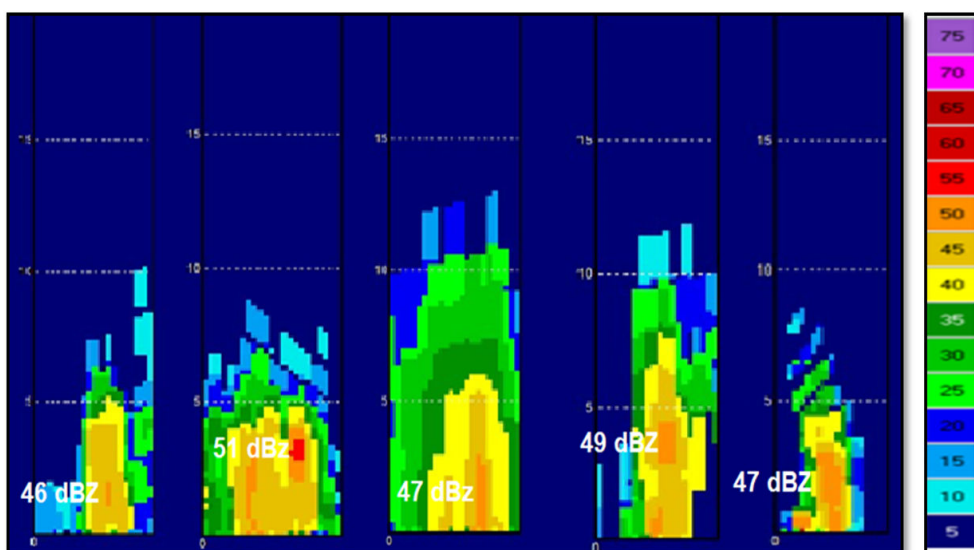


Figura 4. Cortes verticales de las tormentas que no generaron lluvias localmente intensas de corta duración en el momento de máxima intensidad.

Comprobación de los posibles factores que influyen en la duración de la precipitación en las nubes de tormentas

Tanto la longitud del sistema nuboso en dirección a su desplazamiento como el número de celdas convectivas son factores que discriminan correctamente la ocurrencia de lluvias localmente intensas de corta duración en tormentas eléctricas. Las relaciones de estos factores con la intensidad media de la precipitación para una hora demuestran estas discriminaciones (figura 5). La línea negra horizontal representa el valor crítico de la intensidad media de la precipitación teniendo en cuenta los casos analizados, que tiene un valor de 30 mm/h. La línea negra vertical representa el valor crítico de cada factor, siendo igual a 17,0 km para la longitud del sistema (figura 5a), mientras que entre 1 y 2 celdas para el número de celdas convectivas en la muestra tomada (figura 5b).

Las longitudes de las TES en dirección a sus desplazamientos oscilaron entre los 10,0 y 15,0 km, mientras que las TEC presentaron longitudes superiores a los 17,0 km. En los casos de TES las estaciones fueron afectadas solamente por una celda convectiva, mientras en los casos de TEC, los eventos de lluvias intensas se debieron a que las estaciones meteorológicas fueron afectadas por sistemas nubosos con más de una celda, alcanzando como máximo hasta tres celdas convectivas. Las tormentas que se regeneran alrededor de las celdas principales y la gran longitud de las mismas posibilitan que se incrementen los intervalos de tiempo de actividad convectiva sobre la estación meteorológica, lo que contribuye

al incremento de los acumulados de precipitación en ese punto.

Las relaciones entre la velocidad de desplazamiento y la posición del centro de la tormenta con respecto a la estación meteorológica (figura 6) no discriminaron la ocurrencia de lluvias localmente intensas de corta duración en los casos analizados. La TEC del día 10 de julio de 2019 tuvo un desplazamiento lento (6,0 km/h), resultando ser la de menor velocidad en comparación con el resto de los casos, localizándose su centro sobre la estación meteorológica. En este caso, al parecer, los mencionados factores resultaron favorables para el incremento del acumulado de lluvia registrado en superficie; sin embargo, no todas las TEC tuvieron un desplazamiento lento ni localizaron sus centros sobre las estaciones. Las velocidades de los otros casos de estudio oscilaron entre 26,9 y 60 km/h.

Las distancias desde el centro de las tormentas con respecto al punto de medición en superficie oscilaron entre 0,0 y 7,6 km, sin poder discriminar entre TEC y TES. En contraposición en otra TEC, aunque localizó su centro a una distancia considerable de la estación (7,6 km), logró producir un acumulado de precipitación que superó los 30 mm en una hora. Esto, al parecer, estuvo asociado con la dimensión horizontal que esta TEC tenía, por lo que la estación siempre quedó dentro de su radio de afectación.

A partir del análisis individual de los factores antes determinados se puede decir que los que mejor discriminaron la generación de lluvias localmente intensas de corta duración fueron: la longitud del sistema nuboso y el número de celdas convectivas que pueden afectar una localidad. Por su parte, la velocidad de desplazamiento como factor individual no pudo discriminar entre TEC y TES.

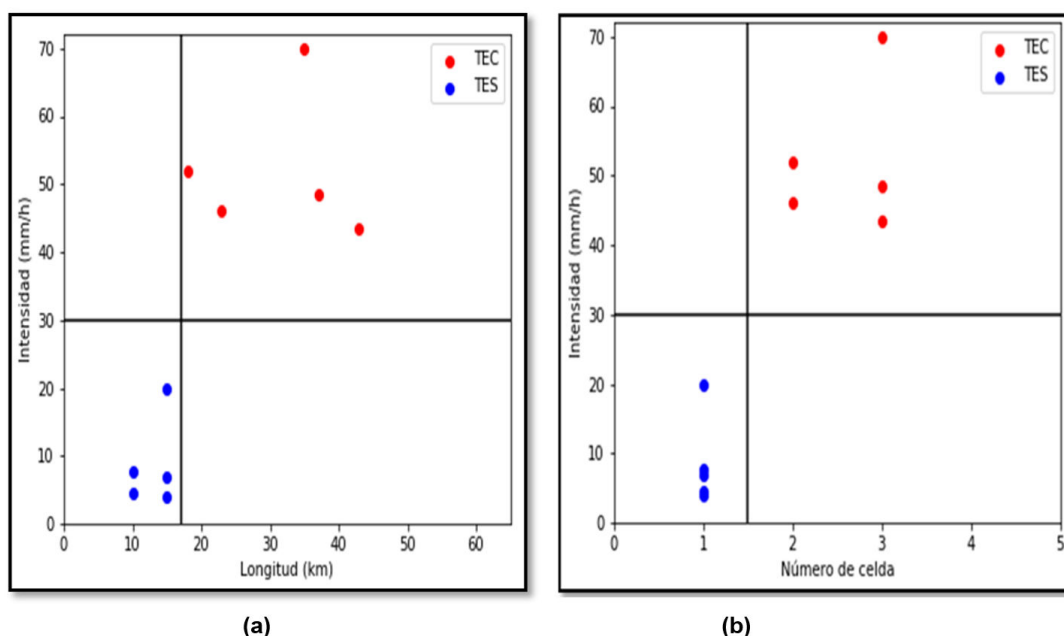


Figura 5. Relación de la longitud del sistema nuboso en dirección a su desplazamiento y la intensidad media de la precipitación para una hora (a), Relación entre el número de celdas convectivas y (b) la intensidad media de la precipitación para una hora.

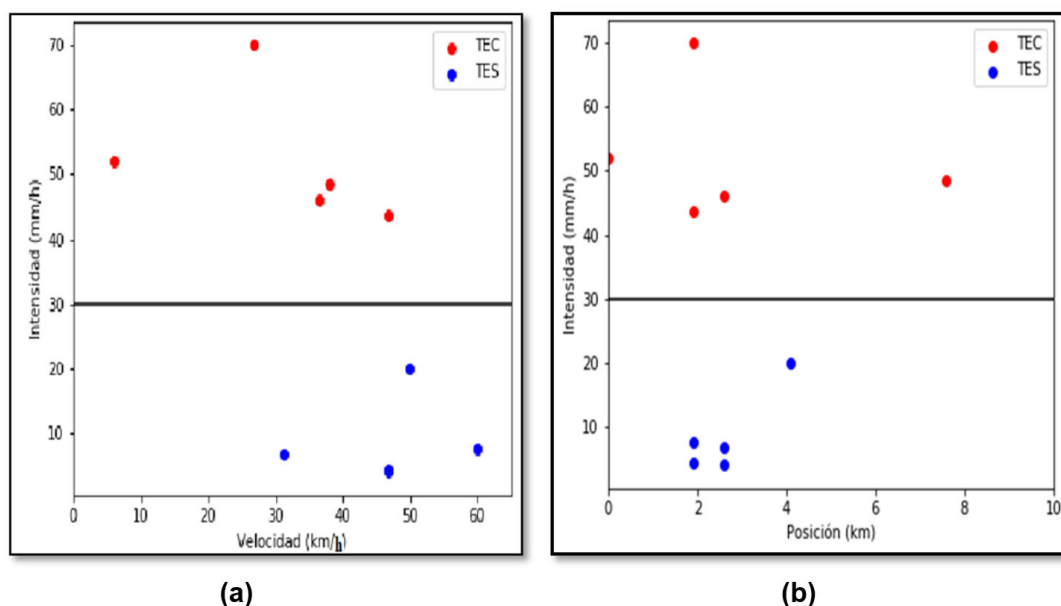


Figura 6. Relación entre la velocidad de desplazamiento del sistema nuboso y la intensidad media de la precipitación para una hora (a), Relación entre la posición del centro de la tormenta con respecto a la estación y (b) la intensidad media de la precipitación para una hora.

De todo lo antes expuesto también se observó que la generación de los eventos de lluvia localmente intensa de corta duración ocurrió por la interacción simultánea de varios de los factores antes mencionados. Las interacciones que mejor discriminaron la ocurrencia de estos eventos severos fueron las que correspondieron a: la razón entre la longitud del sistema nuboso en dirección a su desplazamiento con su velocidad y la razón entre esta velocidad de desplazamiento y el número de celdas convectivas (figura 7).

El valor crítico de la razón entre la longitud y la velocidad fue igual a 33,5 min y el de la razón entre la velocidad y el número de celdas fue igual a 24,5 km/h (figura 7). Teniendo en cuenta las dimensiones de las TE analizadas y su velocidad de desplazamiento, se encontró que las velocidades de las TEC fueron superiores a 26.9 km/h en los sistemas con longitudes superiores a 23,0 km y con más de una celda convectiva, mientras que en solo un caso la velocidad fue igual a 6,0 km/h con una longitud de 18,0 km.

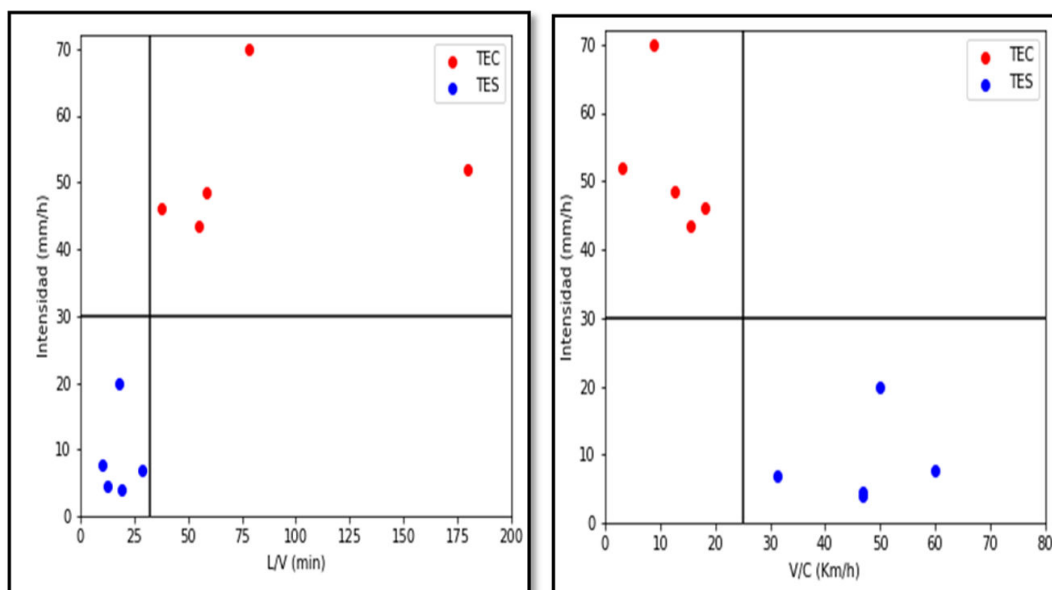


Figura 7. Relación entre la longitud del sistema nuboso y la velocidad de desplazamiento (panel izquierdo) con la intensidad media de la precipitación para una hora. Relación entre la velocidad de desplazamiento y el número de celdas convectivas, (panel derecho) con la intensidad media de la precipitación para una hora.

CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los casos analizados en esta investigación de lluvias localmente intensa de corta duración se pudo comprobar que:

- Las tormentas eléctricas con lluvias localmente intensas de corta duración tuvieron parámetros radáricos superiores que aquellas que no generan los eventos intensos, al tener corrientes ascendentes más potentes que lograron sostener grandes acumulados de lluvia en su interior.
- Los factores físico-meteorológicos que lograron discriminar, individualmente, la generación de lluvias localmente intensas de corta duración fueron la longitud en dirección al desplazamiento del sistema nuboso y el número de celdas convectivas.
- Las interacciones simultáneas entre los factores longitud en dirección al desplazamiento del sistema nuboso y el número de celdas convectivas con la velocidad de desplazamiento de la tormenta discriminaron correctamente los eventos de lluvias localmente intensos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfonso, A. P. 1994. "Climatología de las tormentas locales severas de Cuba". La Habana: Ed. Academia, 1994, 168 pp. ISBN: 959-02-0060-5. Consulted: abril 2022
- 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*, La Habana, pp. 61
- Byers, H.R. & Braham, R. R. 1948. "Thunderstorm Structure and Circulation". U.S. Weather Bureau. *Journal of Meteorology*, Vol.5. No. 3: 71-86
- Corfidi, S. F., Merritt, J. H., & Fritsch, J. M. (1996). "Predicting the movement of mesoscale convective complexes". *Weather and Forecasting*, 11(1), 41-46. [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1996\)011<0041:PTMOMC>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1996)011<0041:PTMOMC>2.0.CO;2)
- Doswell, C. A.; Brooks, H. E. & Maddox, R. A. 1996. "Flash Flood Forecasting: An Ingredients-Based Methodology". *Weather and Forecasting*, 11, 560-581. [https://doi.org/10.1175/1520-0434\(1996\)011<0560:FFFAIB>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0434(1996)011<0560:FFFAIB>2.0.CO;2)
- Gamboa, F. 2004. "Selección de indicadores radáricos como predictores de severidad". *Tesis presentada en opción al Título Académico de Master en Ciencias Meteorológicas*, pp. 55.
- Monjo, R., 2008 "El índice n de la precipitación intensa". *Departamento de Física de la Tierra y Termodinámica, Universidad de Valencia, Fundación para la Investigación del Clima*.
- Organización Meteorológica Mundial. (1992). *International meteorological vocabulary* (2ª ed., OMM-No. 182). https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4712
- Orlanski, I. 1975. "A rational subdivision of scale for atmospheric processes". *Bull. Met. Soc.*, 65(1):527-530.
- Planos, E., Limia, M. & Vega, R. 2004. "Intensidad de las precipitaciones en Cuba". *Resultado Científico. Programa Ramal: "Análisis y pronóstico del tiempo y el clima terrestre y espacial"*. 80 pp.
- Rivero, R., Antuña, J. C. & Pérez, C. A. 1981. "Climatología sinóptica de las lluvias de más de 100 mm en el territorial Camagüey - Ciego de Ávila". *Boletín Científico Técnico*, (5).