

## Estudio del índice de tiempo severo en Camagüey



### Study of the severe weather index in Camagüey

<https://cu-id.com/2377/v29n4e05>

<sup>✉</sup>Eduardo Lauro Estrada Canosa\*, <sup>✉</sup>Dainelaine Navarro Silva, <sup>✉</sup>Omar Rodríguez López,  
<sup>✉</sup>Luis E Bisbé Sifontes, <sup>✉</sup>Dania Guerra Nordelo, <sup>✉</sup>Tamara Gonzales López del Castillo

Centro Meteorológico Provincial de Camagüey, Avenida Finlay km 7 ½, Camagüey, Cuba.

**RESUMEN:** El presente trabajo, analiza el comportamiento de las variables y los índices empleados en el índice de tiempo severo, para estructuras que caracterizan las Tormentas Locales Severas con flujos de componente norte, noreste y sureste entre niveles medios y altos en la provincia de Camagüey. Los resultados son el producto del análisis de los reportes de tormentas locales severas obtenidos del Aire Resource Laboratory, producidas por bajas frías superiores y vaguada tropicales troposféricas como proyección de diagnóstico a través del índice de tiempo severo, implementando los patrones de selección que propicie el diagnóstico de las tormentas locales severas. Los resultados que se presentan tienen un carácter innovador a partir de la aplicación y análisis de su comportamiento con la combinación de criterios que fortalecen cada indicador empleado en el índice, cuya importancia va a manifestar su impacto en la toma de decisiones que contribuyan a su predicción. Esto justifica en gran medida un aporte al conocimiento del comportamiento de las diferentes estructuras que pueden presentar las tormentas locales severas en nuestra región, trazándose como objetivo nuevas formas de soluciones a los problemas de limitación que presenta los índices de tiempo severo. Por lo antes expuesto, la búsqueda de soluciones para su posible diagnóstico, concede gran importancia para el Servicio Meteorológico cubano, obteniéndose resultados más eficientes con la diversificación en su empleo a partir de los resultados obtenidos con nuevas visiones de empleo, para el análisis y diagnóstico.

**Palabras claves:** Índice de tiempo severo, Tormenta Local Severa.

**ABSTRACT:** The present work, analyzes the behavior of the variable and the index employees in the index of severe time, for structures that characterize the Local Severe Storms with flows of north component, northeast and southeast among levels means and high in the county of Camagüey. The results are the product of the analysis of the reports of obtained TLS of the Air Resource Laboratory, taken place by drops cold superiors and water-course tropical troposféricas like diagnosis projection through the index of severe time, implementing the selection patterns that it propitiates the diagnosis of the local severe storms. The results that they show up they have a character innovator starting from the application and analysis of their behavior with the combination of approaches that you/they strengthen each indicator employee in the index whose importance will manifest its impact in the taking of decisions that contribute to its prediction. This justifies in great measure a contribution to the knowledge of the behavior of the different structures that TLS can present in our region, tracing you as objective new forms of solutions to the limitation problems that it presents the indexes of severe time. For the ones exposed, the search of solutions for its possible diagnosis, grants great importance for the Meteorological Cuban Service, obtaining you more efficient results with the diversification in its employment starting from the results obtained with new employment visions, for the analysis and diagnosis.

**Key words:** Index of severe time, local severe storm.

\*Autor para correspondencia: Eduardo Lauro Estrada Canosa. E-mail: [eduardo.estrada@cmw.insmet.cu](mailto:eduardo.estrada@cmw.insmet.cu)

Recibido: 01/08/2023

Aceptado: 28/08/2023

Dainelaine Navarro Silva. E-mail: [nanin@cmw.insmet.cu](mailto:nanin@cmw.insmet.cu),

Omar Rodríguez López. E-mail: [omar@cmw.insmet.cu](mailto:omar@cmw.insmet.cu)

Luis E Bisbé Sifontes. E-mail: [bisbe@cmw.insmet.cu](mailto:bisbe@cmw.insmet.cu)

Dania Guerra Nordelo. E-mail: [dania.nordelo@cmw.insmet.cu](mailto:dania.nordelo@cmw.insmet.cu)

Tamara Gonzales López del Castillo. E-mail: [tamara@cmw.insmet.cu](mailto:tamara@cmw.insmet.cu)

**Conflicto de interés.** Declaramos, no tener ningún conflicto de interés contribución de autoría

**Contribución de los autores: Concepción de la idea:** Eduardo Lauro Estrada Canosa, Dainelaine Navarro Silva, Omar Rodríguez López, Luis E Bisbé Sifontes, Dania Guerra Nordelo, Tamara Gonzales López del Castillo. **Manejo de los datos:** Eduardo Lauro Estrada Canosa, Dainelaine Navarro Silva, Omar Rodríguez López, Luis E Bisbé Sifontes, Dania Guerra Nordelo, Tamara Gonzales López del Castillo.

**Análisis de los datos:** Eduardo Lauro Estrada Canosa, Dainelaine Navarro Silva, Omar Rodríguez López, Luis E Bisbé Sifontes, Dania Guerra Nordelo, Tamara Gonzales López del Castillo. **Investigación:** Eduardo Lauro Estrada Canosa, Dainelaine Navarro Silva, Omar Rodríguez López, Luis E Bisbé Sifontes, Dania Guerra Nordelo, Tamara Gonzales López del Castillo. **Metodología:** Eduardo Lauro Estrada Canosa, Dainelaine Navarro Silva, Omar Rodríguez López. **Supervisión:** Eduardo Lauro Estrada Canosa, Dainelaine Navarro Silva, Omar Rodríguez López.

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

El empleo del índice de tiempo severo, constituye un indicador integrador para evaluar las condiciones termodinámicas favorables a la ocurrencia de Tormentas Locales Severas (TLS), por su incidencia en la vida social y económica del país, además de ser interés de estudio en el campo de la meteorología por muchos investigadores y especialistas.

La presencia de fenómenos severos con representación de bajas frías superiores (BFS) de componente del norte noreste (NE) y este noreste (ENE), (primer cuadrante), constituyen otros de los tipos de estructuras en niveles medios y altos, de interés para nuestra región geográfica, condición no abordada dentro de los patrones de dirección característicos en los resultados propuestos por Miller, 1972, donde solo emplea el nivel medio, para predominio de componentes del SW y W en la región de los Estados Unidos. Esto ocasiona desestimar dichas condiciones, obteniéndose valores del índice bajos que no responde a los umbrales definidos para diagnóstico de fenómenos severos.

A partir de la propuesta planteada por Miller, 1972, y teniendo en cuenta las diferentes referencias expuestas por muchos autores, como, (Aguilar *et al.*, 2005) quienes identificaron como sistemas sinópticos que incentivan la aparición de severidad, la Vaguada Tropical Troposférica Superior (TUTT, por sus siglas en inglés), en cuyo seno se gesta la mayoría de las BFS que llegan al Caribe, es necesario considerar que producto a la presencia de estas pueden estar presentes estructuras del norte (N) noreste (NE) y este sureste (ESE) que los caracterizan.

Algunos investigadores (Doswell & Schultz, 2006), plantean, que los índices, no son necesariamente parámetros de pronóstico, más bien constituyen un conjunto de variables de diagnóstico. Sin embargo, constituyen parámetros que aportan visión acertada en combinación con otros factores, cuando son empleados de acuerdo a las condiciones de cada región, que deben ser combinados con criterios de selección y análisis, afines a la actividad severa que contribuyan a su diagnóstico para el empleo de tomas de decisiones. Bancho, (2017) evaluó la utilización de índices de inestabilidad calculados con (Global Forecast System) GFS para pronosticar granizo

En Cuba la actividad severa no está dada solamente por los organismos tropicales, sino son formados por los sistemas de convección profunda a escala local que bajo situaciones favorables se convierten en tormentas locales severas (TLS) (Aguilar *et al.*, 2005).

Caridad & Pila, (2013) hacen referencia que las bajas frías superiores se caracterizan por presentar una circulación ciclónica, mejor definida entre los niveles de 200 hPa y 300 hPa, y estar acompañadas de un núcleo frío en 300 hPa. El hundimiento del aire en el interior de la baja genera corrientes en ascenso a su alrededor, más marcadas en el cuadrante sureste

de la baja, donde predominan corrientes difluentes del suroeste, lo que de igual forma se caracteriza los chorros de componente ENE por la posición geográfica de Cuba.

Estas condiciones, cuando son propicias a la combinación de aire más frío a partir de niveles medios, genera procesos dinámicos favorables al intercambio de formación de vorticalidad ascendente y descendente eficientes, que dan lugar a la aparición de tiempos severo, comportamiento que de igual forma se presenta cuando las BFS influyen entre 200, 300 y 500 hPa, presentándose los chorros más fuertes entre 200 y 300 hPa.

Por otra parte Caridad & Pila, (2013) refieren lo citado por Rivero (comunicación personal, 2011), quien expresa que en las corrientes del noreste, para el nivel de 200 hPa, asociadas a las BFS puede generarse una corriente en chorro de región norte (N) que tiene asociada una divergencia superior, en cierta medida podemos afirmar que en la región de Camagüey son incidente los chorros del norte, noreste con estas características.

Arias *et al.*, (2023) hace un análisis de los índices termodinámicos tradicionales, en diferentes situaciones sinópticas propias de los periodos poco lluvioso y lluvioso en Cuba en los años 2008 y 2019, en las que ocurrieron Tormentas Eléctricas.

En Camagüey se han empleado tradicionalmente los índices de estabilidad en trabajos investigativos (Rivero *et al.*, 2002; Aroche *et al.*, 1999, 2001; Gamboa *et al.*, 2001). Navarro *et al.*, (2018) proponen nuevos umbrales para determinados índices de estabilidad, que permiten pronosticar la formación y desarrollo de tiempo severo, a partir del procesamiento estadístico de los reportes de TLS coincidente con los datos de los sondeos aerológicos realizados en Camagüey

Eduardo *et al.*, (2020) realizaron un estudio de una Tormenta Local Severa, ocurrida en la ciudad de Camagüey el 5 de Mayo del 2018, la cual estuvo relacionada con la presencia de una vaguada en superficie, reflejo de una baja fría superior en niveles medios de la tropósfera con presencia de corrientes del noreste y este, siendo la segunda condición de más influencia en nuestra provincia, que junto a fuerte calentamiento y el incremento de la energía hacen la combinación necesaria de la actividad convectiva y sobre todo a la caída de granizos y vientos linealmente fuerte los cuales pueden causar daños a la economía, la población, e incluso la pérdida de vidas humanas.

Otros autores han dado importancia a los valores de humedad en los niveles bajos, (Jones *et al.*, 2001). Estas van a mostrar mayor incidencia de alto contenido de humedad en niveles bajos, con la presencia de cizalladura, entre niveles bajos con respecto a nivel medio o alto, las cuales son determinantes para que se produzcan fuerte interacción entre masas diferentes a partir de los movimientos de los núcleos donde predominan dichas BFS, lo que va a ocasionar un incremento de la vorticalidad ascendente y descendente.

(Varela & Carnesoltas, 2017), han referido que para el diagnóstico de potencial para tormentas locales severas, debe ser utilizada la evaluación de parámetros e índices termodinámicos el descubrimiento de patrones a escala sinóptica y el conocimiento climatológico de su comportamiento, siendo un elemento necesario que contribuya a la diversificación en el empleo del índice de tiempo severo.

En tanto es necesario patrones de comportamiento de humedad y de la componente del viento para estos casos que hagan demostrativo su mejor comportamiento, así como de los parámetros de los índices empleados con criterios que integren los factores influyente en la dinámica característica de tiempo severo a partir de dos condiciones necesarias que se definen en el presente estudio: primero, cuando la estructura se define a partir de 500 hPa y la fuerza del viento es mayor a la de niveles bajos, que se define como variante 1, y segundo cuando no se cumple en niveles medios, tomar el nivel de 300 hPa, si la fuerza del viento es mayor a la de niveles bajos, correspondiente a la variante 2, aplicándose la diferencia angular de forma inversa, entre 850 y 300 o entre 850 y 500 según el caso presente.

Para ello, el objetivo general de la presente investigación es caracterizar cada una de las variables empleadas en el índice de severidad, determinando umbrales característicos que se generan en días de TLS, con el análisis de presencia de componente Norte, Noreste y Sureste a partir de 300 y 500 hPa, cuando la dirección del nivel de 850 hPa es mayor a los presentes en alguna de las dos variantes propuestas con nuevas condicionantes dentro del índice para su diagnóstico.

## MATERIALES Y METODOS

Se realizó la selección de 55 días de tormentas locales severas, con sondeos del sitio web: <https://www.ready.noaa.gov/archives.php> (ARL), de los días correspondientes a los reportes del departamento de Pronóstico de Camagüey y Las Tunas, de forma aleatoria se confeccionó la base de datos para el estudio de ambas muestras, así como 48 casos de reportes de tormentas simples (TORMENTAS SIMPLES), con presencia de componente N, NE y ESE para los niveles de 300 y 500 hPa. Se caracterizaron y compararon ambas muestras, para definir los umbrales de cada variable en días de TLS, estimándose los valores medios del punto de rocío de 850 hPa ( $Td_{850}$ ) del valor medio, Percentiles 10 y 90, índice total cruzado (TC) y total de totales, a través del valor medio, mínimo y máximo y los Percentiles 25 y 75.

Se caracterizó el comportamiento de la dirección del viento del nivel de 850 hPa para las muestras estudiadas, estimando los valores de la mediana, mínimo y máximo y los percentiles 10 y 90, para la fuerza del viento del nivel de 850 hPa y el promedio de superficie a 850 hPa, se emplearon los niveles de superficie

(Sfc), 950, 925 y 850 hPa, estimándose los valores de la mediana, mínimo y máximo y los percentiles 10 y 90.

Para los niveles medios y altos se agruparon los que mostraron condiciones en que la fuerza del viento es mayor se comportaron mayor a las del nivel de 850 hPa y la promedio de Sfc-850 hPa, donde 22 casos corresponden al nivel de 500 hPa y 33 casos al nivel de 300 hPa. Se estimaron los valores de la mediana, mínimo y máximo y los Percentiles 10 y 90 para ambas muestras, que contribuyeron a la selección de los rangos de mayor tendencia para ambos niveles.

Para los casos de diferencia angular se consideró como presencia de cizalladura valores de diferencia superiores a 179 donde el seno es cero ó toma valores negativos, con la propuesta de tomar valor de seno 1, para considerar el grado de cizalladura y hacerlo positivo, si cumple con los rangos determinados en el estudio de dirección y fuerza del viento para ambas variantes.

Se consignó variante 1 a las condiciones de flujos de componente Norte, Noreste y Sureste a partir de 500 hPa cuando la fuerza del viento es mayor al nivel de 850 hPa y se añadió el empleo de la fuerza promedio entre Sfc-850 hPa, y variante 2 a los flujos de componente Norte, Noreste y Sureste a partir de 300 hPa, que cumplan las mismas condiciones anteriormente planteadas. Se propuso el cálculo invertido de las dos variante entre (1), (850 - 500) y (2), (850-300 hPa).

El índice seleccionado corresponde a la segunda versión de Miller, 1972, donde se proponen los siguientes criterios de selección, y que serán de estudio para la propuesta de modificación:

Severe Weather Threat (SWEAT) index (Miller, *et al.*, 1971, 1972)

$$SWEAT = 12 \times Td_{850} + 20 \times TT - 49 + 2 \times f_{850} + f_{500} + 125 \times Ws + 0.2 \quad (1)$$

Donde:

si el punto de rocío del nivel de 850 hPa es negativo el termino asume valor 0,

TT = Total Totales (si TT es menor a 49, el termino es 0)

$f_{850}$  = 850 hPa velocidad del viento (kt)

$f_{500}$  = 500 hPa velocidad del viento (kt)

Ws = sin (dirección del viento de 500 mb - dirección del viento de 850 mb). Termino de cizalladura, 125 (S+0.2), el termino es 0, si no se cumple ninguna de las siguientes condiciones: (1) 850 mb, dirección del viento en los rangos de 130-250°, (2) 500 mb, dirección del viento en los rangos de 210-310°, en tanto la velocidad del viento sea igual o menor que 15 kt.

Los umbrales son los siguientes:

SWEAT > 300 son posibles tormentas severas.

SWEAT > 400 son posibles tormentas con tornados.

El índice TT fue empleado para discernir umbrales de comportamiento en que se puede presentar estos tipos de fenómenos severos, correspondiendo a la suma del total vertical (Tv) y el Tc. (Force, 1979)

El total vertical significa el gradiente de temperatura entre 850 y 500 hPa y el total cruzado es la suma del punto de rocío del nivel de 850 hPa y la temperatura de 500 hPa. Se calculó mediante la expresión siguiente:

$$TT = T_{850} - T_{500} + Td_{850} - T_{500} = Tv + Tc \quad (2)$$

Td<sub>850</sub> es la temperatura del punto de rocío en los 850 hPa.

T<sub>850</sub> es la temperatura en el nivel de 850 hPa.

T<sub>500</sub> es la temperatura en los 500 hPa.

Los umbrales del índice TT que se emplearon fueron:

TT > 44 = posibilidad de tormentas, baja probabilidad de tiempo severo.

TT > 50 = moderada probabilidad de tormentas locales severas.

TT > 55 = alta probabilidad de tormentas locales severas.

Se empleó para los cálculos estadísticos el método implícito en el sistema Microsoft Excel 2010.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Comportamiento del punto de rocío del nivel de 850 hPa

La tabla 1, muestra el análisis de comportamiento del punto de rocío, donde el valor medio en días de reportes de TLS es de 15°C, un mínimo de 11°C y máximo de 18°C, con el 80% de la distribución entre 12 y 17°C, algo inferiores a los días de tormentas simples (TS), con las mismas condiciones, donde la media es de 14°C, un mínimo de 5°C y máximo de 17°C, y el 80% de la distribución entre 11 y 16°C, lo que se asume como criterio de selección los valores mayores o iguales a 12°C.

Tabla 1. Comportamiento del punto de rocío en el nivel de 850 hPa

Punto de rocío	Total	Media	Mínimo	Máximo	Perc.10	Perc.90	Rango
TLS	57	15	11	18	12	17	≥12°C
TS	48	14	5	17	11	16	

Tabla 2. Comportamiento del total cruzado para días de tormentas simples y días de severidad

Índice TC	Media	Mínimo	Máximo	Percentil 25	Percentil 75	Rango
Reportes de TLS	57	22	17	26	21	24
Reportes de tormentas simples	48	21	14	23	18	23

Tabla 3. Comportamiento del índice TT para días tormentas simples y días de reportes de severidad

Estadística Índice TT	Valor Medio	Mínimo	Máximo	Percentil 25	Percentil 75	Rango
Reportes de TLS	57	48	43	53	45	49
Reportes de tormentas simples	48	46	36	50	40	49

1.3 Análisis de comportamiento estructural de dirección y fuerza del viento de los niveles de 500 y 850 hPa.

### Valoración del comportamiento del total cruzado (TC)

Para el índice total cruzado (TC), la tabla 2, muestra el valor medio para días de reportes de TLS, es de 22°C, con valor mínimo de 17°C y máximo de 26°C, con el 50% de la distribución entre 21 y 24°C. Los días de tormenta simple, el valor medio obtenido es de 21°C, valor mínimo de 14°C y máximo de 23°C, con el 50% de la distribución entre 18 y 23°C, mostrando tendencia de valores de humedad más altos o temperaturas más frías en niveles medios en días de TLS, por lo que se define aplicar el criterio planteado por Miller, 1972 donde refiere valores mayores a 20°C.

### Análisis de comportamiento del índice Total de totales (TT)

Del análisis de comportamiento del índice total de totales, la tabla 3 muestra que el valor medio obtenido en días de TLS es 48°C, un mínimo de 43°C y máximo de 53°C, y el 50% de la distribución entre 45 y 49°C. En días de tormentas simples, el valor medio es de 46°C, con un valor mínimo de 36°C y máximo de 50°C con el 50% de la distribución entre 40 y 49°C. Como se aprecia el umbral determinado con el obtenido por Miller, 1972, quien determina el umbral 49°C, significa solo el 25% de la distribución, esto permite considerar la mayor tendencia a valore por encima de 45°C, donde encontramos el 75% de distribución. Esto coincide con (Gálvez & Davinson, 2014), donde plantean limitación del índice TT, en el Trópico.

La tabla 4, muestra en días de TLS, el valor de la mediana de dirección es de 135°, con un mínimo de los 80° y máximo de los 300°, estimándose el 80% de los casos entre 100 y 220°. Los días de tormentas simples, el valor de la mediana es de 95°, con un valor mínimo de dirección de los 20°, máximo de los 285° y el 80% de los casos entre 55 y 175°. Esto permite considerar como condición para la mayor tendencia a valores entre 100 y 220°, para ambos tipos de condiciones.

En la **tabla 5**, se muestra las dos variantes empleadas, donde se valora el comportamiento para la primera variante se determina para el nivel de 500 hPa, donde para días de TLS, la mediana de dirección es 75° con un valor mínimo de los 20° y máximo de los 125°, y el 80% de la distribución entre 25 y 120°. Para días de tormenta simple se obtiene una mediana de los 70°, el valor mínimo de 10° y máximo de 175°, con el 80% de la distribución entre 10 y 165°. La determinación de este nivel parte del criterio que permite evaluar la presencia de BFS que son más organizadas y coherentes en 500 hPa, no tenida en cuenta en el índice de severidad, (1), **Miller, 1972**, que desestima la condición propuesta para el cálculo, por lo que los rangos que se definen están dados por valores de 25 a 120°.

Para los casos en que las BFS, del primer cuadrante, se presentan bien definidas a partir de 300 hPa (**tabla 5**), como variante 2, se obtuvo para días de TLS, mediana de 48°, con mínimo de 15° y máximo de 105°, con el 80% de la distribución entre 20 y 100°. Los días de tormentas simples, la mediana se comporta de los 30°, mínimo de 5° y máximo de 105°, con el 80% de la distribución entre 10 y 95°, por lo que se aplica para estos casos los valores entre 20 y 100°.

### Caracterización de la fuerza del viento en niveles bajos

Para ambas variantes propuestas, se estimó el comportamiento de la fuerza del viento en el nivel de 850 hPa, donde la **tabla 6**, para días de reportes de TLS, muestran que el valor medio es de 3 m/s, el valor mínimo de 1 m/s y máximo de 9 m/s, con el 80% de

la distribución entre 1 y 6 m/s. En el caso de tormentas simples la mediana es de 4 m/s, valor mínimo de 1 m/s y máximo de 10 m/s, con el 80% de la distribución entre 1 y 9 m/s, considerándose como criterio los valores iguales o inferiores a 6 m/s.

La **tabla 7**, sostiene un elemento adicional como criterio en el empleo del índice, que valora la fuerza media en niveles bajos para ambas variantes, donde los días de TLS, la mediana es de 3m/s valor mínimo de 1 m/s y máximo de 8 m/s, con el 80% de la distribución entre 1 y 6 m/s. Los días de tormentas simples la mediana obtenida es de 3 m/s, mínimo de 1 m/s y máximo de 10m/s, con el 80% de la distribución entre 2 y 7 m/s, considerándose como criterio adicional los valores iguales o inferiores a 6 m/s.

### Caracterización de la fuerza del viento en 300 y 500 hPa.

En la **tabla 8**, muestra que la fuerza del viento para el nivel de 500 hPa, días de TLS, el valor de la mediana es de 5 m/s y en días de tormentas simples, de 6 m/s. Para días de TLS se obtuvo un valor mínimo de 1 m/s, máximo de 20 m/s y el 80% de la distribución entre 2 y 15m/s. En los casos de días de tormentas simples el valor de la mediana es de 6 m/s, con mínimo de 1 m/s y máximo de 15 m/s, determinándose el 80% de la distribución entre 3 y 11 m/s, inferior a los días en que se reportaron TLS, por lo que se aprecia mayor tendencia a chorros fuerte favorables en los días de TLS.

Para la variante 2 (**tabla 8**), se observa que el nivel de 300 hPa en días de reportes de TLS, la mediana es

**Tabla 4.** Comportamiento de la dirección del viento en el nivel de 850 hPa

Dirección 850 hPa	Mediana	Mínimo	Máximo	Percentil 10	Percentil 90	Rango	
Días de Reporte de TLS	57	135°	80°	300°	100°	220°	100 ° 220°
Reportes de tormentas simples	48	95°	20°	285°	55°	175°	

**Tabla 5.** Comportamiento de la dirección del nivel de 300 y 500 hPa.

Variante 1	Mediana	Mínimo	Máximo	Percentil 10	Percentil 90	Rango	
Variable	Dd <sub>500</sub>						
TLS 850-500 hPa	22	75°	20°	125°	25°	120°	25°-120°
Reportes de tormentas simples 850-500 hPa	33	70°	10°	175°	10°	165°	
Variante 2	Dd <sub>300</sub>						
TLS 850-300hPa	35	48°	15°	105°	20°	100°	20°-100°
Reportes de tormentas simples 850-300hPa	15	30°	5°	105°	10°	95°	

**Tabla 6.** Comportamiento de la fuerza del viento en el nivel de 850 hPa

Estadística	Mediana	Mínimo	Máximo	Percentil 10	Percentil 90	Rango	
Reportes de TLS	50	3	1	9	1	6	≤6m/s
Reportes tormentas simples	48	4	1	10	1	9	

**Tabla 7.** Comportamiento de la fuerza del viento medio entre Sfc- 850 hPa

Estadística	Mediana	Mínimo	Máximo	Percentil 10	Percentil 90	Rango	
Reportes de TLS	50	3	1	8	1	6	≤6m/s
Reportes tormentas simples	48	3	1	10	2	7	

de 9 m/s, mínimo de 2 m/s y máximo de 21 m/s y el 80% de la distribución entre 3 y 19 m/s, mostrando mayor tendencia a ser más fuertes con respecto a los que se definen en niveles medios y a los que se presentan en días de tormentas simples. A partir del análisis se define el empleo como rangos para el índice de severidad en el nivel de 500 hPa los valores iguales o inferiores a 15 m/s y para el nivel de 300 hPa, los valores iguales o inferiores a 19 m/s, siempre que sean mayores a los del nivel de 850 hPa y la fuerza promedio entre superficie y 850 hPa.

### Validación del índice sweat modificado

En la [tabla 9](#) se observa la estimación obtenida para ambas muestra, donde se evidencia que los días de reportes de TLS el valor medio es de 409 j/kg, mayor que la obtenida en días de tormentas simples con 185 j/kg. Significativo se muestra un valor máximo en días de tormentas simples de 420 j/kg, donde se generó intensidades de Cumulonimbos mayor a 60 dbz, que pudieron crear alguna condición severa no reportada.

Los percentiles 10, 20,40 y 60 se estimaron para la búsqueda de umbrales para el diagnóstico de severidad, mostrándose, que los días de tormentas simples el percentil 10 es 157 j/kg, el de 20 es 176 j/kg, el de 40 es 198 j/kg, 60 de 239 j/kg y el percentil 80 es de 262 j/kg, inferiores a días de tormentas severas donde la media se comporta en 409 j/kg y los percentiles 10, 20,40 y 60 con valores de 315, 335, 395, 435 y Percentil 80 con 465 j/kg.

La [tabla 10](#), muestra la comparación obtenida de 55 casos de reportes de TLS donde se aplicó el diagnóstico por los criterios referidos por [Miller, 1972](#) y los propuesto en el estudio, demostrándose que para

los casos de BFS tuvo una efectividad del 92% por el método propuesto referido anteriormente. Los valores obtenidos se lograron por debajo de los umbrales referidos, no logrando valores de 300 j/kg o superiores, cuando las BFS presentan influencias del primer cuadrante en la provincia de Camagüey, donde el 70 % de la distribución para el índice original para la región de los Estados Unidos no coincide con los descritos por Miller, 1972 con referencia al valor mínimo de 300 j/kg, reflejando valores entre 144 y 193 j/kg y los logrados para la provincia de Camagüey con el índice de tiempo severo modificado se obtuvieron para los percentiles 10,20,40,60 y 80, valores entre 315 y 465 j/kg que representa el 70 % de la distribución, lográndose el 92% de efectividad.

### Propuestas y definiciones

La [tabla 11](#), muestra la propuesta del índice de tiempo severo, donde se plantea modificaciones y aplicaciones para su empleo y diagnóstico de tiempo severo las características de presencia de BFS de componente N, NE en correspondencia al comportamiento estudiado para la provincia de Camagüey.

La [tabla 12](#), presenta los rangos determinados para el empleo del diagnóstico a partir de los valores determinados por percentiles, donde los rangos bajos se le asigna la probabilidad entre el 10 y 20% cuando se obtiene rangos entre 315 y 335 j/kg, de ocurrencia o tormentas fuertes que en ocasiones se producen sin lograr reportes, para un ligero incremento de la probabilidad se ilustra valores entre 336 y 395 j/kg, esto responderá a la probabilidad entre el 20 y 40% que representa valores muy efectivos a que se produzca alguna actividad severa. Para rangos entre 396 y 435 j/kg se propone la probabilidad entre el 40 y 60 %, a partir de estos

**Tabla 8.** Comportamiento de la fuerza del viento en el nivel de 500 hPa.

Variante 1	Mediana	Mínimo	Máximo	Percentil 10	Percentil 90	Rango	
	Ff <sub>500</sub>						
TLS 500hPa	27	5	1	20	2	15	≤ 15m/s
Reportes de tormentas 500hPa	33	6	1	15	3	11	
Variante 2	Ff <sub>300</sub>						
TLS 850-300hPa	23	9	2	21	3	19	≤19m/s
Reportes de tormentas simples 850-300hPa	15	7	1	20	2	15	

**Tabla 9.** Comparación determinada para el índice sweat modificado

	Sweat (Modificado) Días de Tormentas simples	Sweat (Modificado) días de reportes de TLS
Nº de casos	48	55
Media	185	409
Mínimo	65	184
Máximo	420	566
Percentil 10	157	315
Percentil 20	176	335
Percentil 40	198	395
Percentil 60	239	435
Percentil 80	262	465

**Tabla 10.** Comparación del índice modificado con respecto a los obtenidos por el índice Miller, 1972

	Sweat, Miller, 1972	Sweat modificado
Nº de casos de TLS	50	55
Media	145	409
mínimo	136	184
máximo	206	566
Percentil 10	144	315
Percentil 20	168	335
Percentil 40	182	395
Percentil 60	186	435
Percentil 80	193	465
% de efectividad		92%

**Tabla 11.** Propuesta para aplicación del índice de severidad

Variante 1, componente N, NE y E a partir de 500 hPa	Variante 2, componente N, NE, E a partir de 300 hPa
Sweat mod= $12*(Td_{850}) + 20*(TT-45) + 125*(Ws) + 2*(f_{850} + f_{500})$	Sweat mod= $12*(Td_{850}) + 20*(TT-45) + 125*(Ws) + 2*(f_{850} + f_{300})$
Miller 1972, definió como primer criterio, tener en cuenta el grado de humedad en el nivel de 850 hPa, donde considera como umbral 12°C, planteando dentro del índice, $12*(Td_{850})$ , teniendo en cuenta para valores mayores a 0°, en tal sentido se justifica en el estudio no considerar valores bajos de humedad, cuando el comportamiento característico se puede presentar a partir de valores mayores a 12°C en nuestra región para ambas condiciones que representa el 95% de los casos.	Miller 1972, definió como primer criterio, tener en cuenta el grado de humedad en el nivel de 850 hPa, donde considera como umbral 12°C, planteando dentro del índice, $12*(Td_{850})$ , teniendo en cuenta para valores mayores a 0°, en tal sentido se justifica en el estudio no considerar valores bajos de humedad, cuando el comportamiento característico se puede presentar a partir de valores mayores a 12°C en nuestra región para ambas condiciones que representa el 95% de los casos.
Para la aplicación del índice total cruzado, Miller, 1972, definió como criterio valores mayores a los 20° C, teniendo semejanzas con los resultados obtenidos en nuestra región se acepta valores mayores a los 20° C.	Para la aplicación del índice total cruzado, Miller, 1972, definió como criterio valores mayores a los 20° C, teniendo semejanzas con los resultados obtenidos para la región aceptándose valores mayores a los 20° C.
El umbral empleados por Miller, 1972 para el índice total de totales, refiere como valor 49°C, que es menos del 25% de la distribución obtenida en los casos estudiados, comportándose como rangos que corresponden al 50% de la distribución valores entre 45 y 50°C, por lo que se considera en el estudio, valores mayores a los 45° C, representa el 75% de la distribución, esto consolida inconsistencia del TT, para el diagnóstico de severidad. Debido a su inconsistencia se introduce dar fortaleza a la selección a partir de los siguiente criterios adicionales:	El umbral empleados por Miller, 1972 para el índice total de totales, refiere como valor 49°C, que es menos del 25% de la distribución obtenida en los casos estudiados, comportándose como rangos que corresponden al 50% de la distribución valores entre 45 y 50°C, por lo que se considera en el estudio, valores mayores a los 45° C, representa el 75% de la distribución, esto consolida inconsistencia del TT, para el diagnóstico de severidad. Debido a su inconsistencia se introduce dar fortaleza a la selección a partir de los siguiente criterios adicionales:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La dirección del nivel de 850 hPa debe estar entre 100 y 220° y el nivel de 500 hPa entre 30 y 120°.</li> <li>• La fuerza del viento en 850 hPa, menor o igual a 6 m/s (12Kts).</li> <li>• La fuerza del nivel de 500 hPa menor o igual a 15 m/s (29Kts), y ser mayor a la fuerza del nivel de 850 hPa.</li> <li>• La fuerza promedio debe ser menor o igual a 6 m/s e inferior a la fuerza presente en 500 hPa.(12 Kts)</li> <li>• Si no se cumple algunos de los criterios la función debe dar valor 0.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La dirección del nivel de 850 hPa debe estar entre 100 y 220° y el nivel de 300 hPa entre 15 y 100°.</li> <li>• La fuerza del viento en 850 hPa, menor o igual a 6 m/s, (12Ktormentas simples).</li> <li>• La fuerza del nivel de 300 hPa menor o igual a 19 m/s, (37 Kts), y ser mayor a la fuerza del nivel de 850 hPa.</li> <li>• La fuerza promedio debe ser menor o igual a 6 m/s e inferior a la fuerza presente en 500 hPa.(12 Kts)</li> <li>• Si no se cumple algunos de los criterios la función debe dar valor 0.</li> </ul>
Criterios para el empleo en la selección de la función de dirección y fuerza del viento. $Ws = dd_{500} - dd_{850}$ Debe cumplirse que:	Criterios para el empleo en la selección de la función de dirección y fuerza del viento. $Ws = dd_{300} - dd_{850}$ Debe cumplirse que:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La dirección del nivel de 850 hPa debe estar entre 100 y 220°, y el nivel de 500 hPa entre 30 y 120°.</li> <li>• La fuerza del viento en 850 hPa, menor o igual a 6 m/s. (12 Kts)</li> <li>• La fuerza del nivel de 500 hPa menor o igual a 15 m/s, siempre que sea mayor a la fuerza del nivel de 850 hPa.</li> <li>• La fuerza promedio, Sfc-850 hPa, debe ser menor o igual a 6 m/s e igual o inferior a la fuerza presente en 500 hPa.</li> <li>• Si no se cumple algunos de los criterios las funciones <math>125*(dd_{500} - dd_{850}) + 2*(ff_{850} + ff_{500})</math>, debe dar valor 0.</li> <li>• Valoración adicional: Cuando los rangos de dirección y fuerza del viento en ambos niveles se cumpla y la diferencia angular entre 850-500 hPa, sea mayor a 175°, se tomara como condición aplicar el valor del seno=1.00</li> <li>• La fuerza se emplea en nudos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La dirección del nivel de 850 hPa debe estar entre 100 y 220°, y el nivel de 300 hPa entre 15 y 100°.</li> <li>• La fuerza del viento en 850 hPa, menor o igual a 6 m/s.(12 Kts)</li> <li>• La fuerza del nivel de 300 hPa menor o igual a 19 m/s, siempre que sea mayor a la fuerza del nivel de 850 hPa.</li> <li>• La fuerza promedio en la capa de Sfc a 850 hPa, debe ser menor o igual al 6 m/s e igual o inferior a la fuerza presente en 300 hPa.</li> <li>• Si no se cumple algunos de los criterios las funciones <math>125*(dd_{300} - dd_{850}) + 2*(ff_{850} + ff_{300})</math>, debe dar valor 0.</li> <li>• Valoración adicional :Cuando los rangos de dirección y fuerza del viento en ambos niveles se cumpla y la diferencia angular entre 850-300 hPa, sea mayor a 175°, se tomara como condición aplicar el valor del seno=1.00</li> <li>• La fuerza se emplea en nudos.</li> </ul>

**Tabla 12.** Índice del Sweat Modificado, para días de probable ocurrencia de TLS

Umbral	Sweat Modificado	Categoría
Sweat Mod. > 465 J/kg		Alta probabilidad de ocurrencia de TLS > 80%
436 a 465 J/kg		Muy probable la ocurrencia de TLS entre 60 y 80%
396 a 435 J/kg		Probable ocurrencia de tormentas severas, entre el 40 y 60%
336 a 395 J/kg		Alguna probabilidad de TLS entre el 20 y 40%
315 a 335 J/kg		Probabilidad de tormentas fuerte, escasa actividad severa, entre el 10 y 20%

valores es casi segura la probabilidad de tormentas severas, seguido de los valores entre 436 y 465 j/kg, para la probabilidad entre el 60 y 80%, que define mayor seguridad de ocurrencia de TLS, y para rangos seguros de severidad los valores mayores a 465 j/Kg donde se propone el concepto probable mayor al 80%.

### CONCLUSIONES

Las BFS de componente del primer cuadrante, constituyen otros de las condiciones en que ocurren fenómenos severos de interés, por lo que no son considerados por el índice de tiempo severo, permitiendo modificar los criterios de selección y caracterizar cada variable para las condiciones de la provincia de Camagüey y Las Tunas, introduciendo la modificación, ajustando los criterios de selección debido a que las mismas se producen por la interacción del comportamiento de las variables termodinámicas empleadas en el índice, notándose la inconsistencia del índice total de totales, donde los valores altos no son representativos de mayor tendencia, prevaleciendo, marcada diferencias de masas de aire, humedad relativa y gradiente térmico cálido, donde este presente temperaturas frías en niveles medios, 200 o 300 hPa, con cizalladura de dirección y fuerza del viento.

La presencia de chorros de componente NE y ESE, deben estar presente como factor determinante para que en un ambiente débil o moderado inestable, cree condiciones para la ocurrencia de fenómenos severos con suficiente humedad en capas bajas y la presencia de un mecanismo de disparo.

### BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, G., Naranjo, L. & Carnesoltas, M. (2005): Informe de Resultado Científico. Establecimiento de condiciones de la circulación atmosférica a escala sinóptica en los alrededores de Cuba, favorables para la aparición de tormentas locales severas del proyecto "Condiciones sinópticas favorables para la ocurrencia de tormentas locales severas en Cuba. Un esquema para su predicción. Instituto de Meteorología. 35 pp.
- Arias, Y., González P, M, & Álvarez, L. (2023) Análisis de días con tormentas eléctricas, mediante índices termodinámicos e índice derivado. Revista Cubana de Meteorología, Vol. 29, No. 1. , ISSN: 2664-0880
- Aroche R., Pomares I., Martínez M., Figueroa B., Castellanos M., Rodríguez N. & Finalé A, (1999): Climatología de las Tormentas Convectivas Locales en Camagüey y provincias aledañas. Informe Científico-Técnico. Programa Territorial, CMP Camagüey, 35 p.
- Aroche, R., Gamboa F., Pomares I., Gonzalez A., Martínez M. & Figueroa, A.(2001). Características de variables termodinámicas explicativas de la formación y desarrollo de las TLS. Informe Científico-Técnico. Programa Territorial, CMP Camagüey, 43 pp.
- Banchero, S. (2017). Evaluación de la capacidad de predicción de granizo de índices atmosféricos. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Tesis de Maestría. Argentina. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Departamento de Computación Universidad de Buenos Aires. [https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis\\_n6376\\_Banchero.pdf](https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n6376_Banchero.pdf)
- Caridad, I. & Pila, E. (2013). Características de las bajas frías superiores que producen tormentas locales severas en Cuba. Revista Cubana de Meteorología, Vol. 19.
- Davies-Jones, R., Trapp, R.J. & Bluestein, H.B. (2001) Tornadoes and Tornadic Storms. In: Doswell, C.A., Ed., Severe Convective Storms, American Meteorological Society, Boston, 167-221. [https://doi.org/10.1007/978-1-935704-06-5\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-935704-06-5_5)
- Davison, M., & Gálvez, J. (2016). WPC International Desks. Índices de Estabilidad, 1-104. [https://ftp.wpc.ncep.noaa.gov/mike/CHILE\\_2016/Presentations](https://ftp.wpc.ncep.noaa.gov/mike/CHILE_2016/Presentations)
- Doswell, C. A. & Schultz, D. M. (2006). On the use of indices and parámetros in forecasting severe storms. Electronic J. Severe Storms Meteor, 1(3), 1-22.
- Estrada, E., Navarro, D. & Bisbé, L. E. (2020). Análisis de la tormenta local severa ocurrida el 5 de mayo del 2018 en la provincia de Camagüey. Revista Cubana de Meteorología, Vol. 26, No. 1, enero-marzo 2020, ISSN: 2664-0880.
- Force, U. A. (1979). Air weather service. Use of the skew T log P diagram in analysis and forecasting, AWS/TR/79/006 [https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis\\_n6376\\_Banchero.pdf](https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n6376_Banchero.pdf)
- Galves, J. & Davinson, M., (2014). El índice de Galves- Davinson, GDI. (1)SRG, (2) WPS/NWS/

- NOAA, (3) Marinha do Brasil, (4) NESDIS/NWS/NOAA,(5)DMS. Callege Park, Maryland.
- Galway, J. G. (1956). The lifted index as a predictor of latent instability. *Bulletin of the American Meteorological Society*,37(10), 528-529. [https://www.scirp.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkposzje\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2101312](https://www.scirp.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkposzje))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2101312)
- Jolliffe, I.T. and Stephenson, D.B. (2003) *Forecast Verification. A Practitioner's Guide in Atmospheric Science*. University of Aberdeen John Wiley & Sons Ltd., Hoboken, 240 p.
- Jones, R., Trapp J. & Bluestein, H. B. (2001). Tornadoes and tornádico storms. *Severe Convective Storms, Meteor, Monogr. No. 50, Amer. Meteor. Soc.*, 167-222.
- Martínez, D., Pozo, D., Rivero, I., Gamboa, F., Novo, S., Borrajero I., Bezanilla, A., Pérez, C., Báez, R. & Echavarría, E. (2004). Caracterización de las tormentas convectivas sobre Cuba y su relación con la lluvia y los perfiles meteorológicos. Informe científico-técnico. INSMET, p. 259.
- Martínez, Y. (2011). Condiciones termodinámicas asociadas a la ocurrencia de granizos en Camagüey. Centro de Pronósticos. Instituto de Meteorología, Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, VOL. 17 NO. 2 2011.
- Miller, R. C. (1972). Notes on analysis and severe storm forecasting procedures of the Air Force Global Weather Central. Tech. Report 200 (Revised), AWS, USAF. ( Headquarters, AWS, Scott AFB, IL 62225) model for hail. *Atmospheric research* 83, 2 176-184.
- Navarro, D., Pomares, I. & Estrada, E. (2018). Los sondeos aerológicos en Camagüey para la predicción de tiempo severo. *Revista Cubana de Meteorología*, Vol.24, No.3, pp. 278-289, 2018, ISSN: 0864-151X.
- Rivero, I., Martínez, D., Báez, R. & Echavarría, E. (2002). Los perfiles meteorológicos a las 12 GMT y la lluvia en Camagüey. *Revista Cubana de Meteorología*, 9 (2), 24.
- Rojas Y., & Carnesoltas, M., 2013. Configuraciones típicas que adoptan los campos de viento y temperatura a mesoescala en la región oriental bajo la influencia de los patrones a escala sinóptica favorables para las tormentas locales severas. Informe de Resultado, La Habana, Cuba: Instituto de Meteorología, 116 p.
- Varela, A. & Carnesoltas, M. (2017): Formación de tornados no asociados a superceldas en la región occidental de Cuba. Tesis de Maestría en Ciencias meteorológicas. Universidad de La Habana. Instituto Superior de Tecnologías y Ciencia aplicadas. Instituto de Meteorología de Cuba. 95 pp