



Revista Cubana de Meteorología

ISSN: 2664-0880

Instituto de Meteorología

Álvarez-Escudero, Lourdes; León Marcos, Anisbel; Ferrer Hernández, Adrián Luis
Comparación preliminar entre fuentes de información de descargas
eléctricas I: estaciones meteorológicas y sensores terrestres.
Revista Cubana de Meteorología, vol. 28, núm. 3, e10, 2022, Julio-Septiembre
Instituto de Meteorología

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=701977559008>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

UAEI
redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Comparación preliminar entre fuentes de información de descargas eléctricas I: estaciones meteorológicas y sensores terrestres.



<https://cu-id.com/2377/v28n3e10>

Preliminary comparison between sources of information on electrical discharges I: meteorological stations and ground sensors.

 Lourdes Álvarez-Escudero*,  Anisbel León Marcos,  Adrián Luis Ferrer Hernández

Centro de Física de la Atmósfera. Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba.

RESUMEN: En el presente trabajo se realizó una comparación muy preliminar de los reportes de tormentas eléctricas en Cuba determinadas a partir de los registros de las estaciones meteorológicas y los de la estación Earth-Network (EN) instalada en Casablanca al norte de la provincia La Habana. Se utilizaron los registros de diez días del mes de agosto de 2018 de EN y las variables estado del tiempo presente y pasado de 14 estaciones meteorológicas de las provincias La Habana, Artemisa, Mayabeque y oeste de Matanzas. Para la comparación se estableció una prueba de criterios de veracidad. Los valores de densidad de descargas oscilaron entre 0.58 descargas por km² con máximo en Melena del Sur y 0.03 descargas por km² para la estación Varadero. Las intensidades registran los valores más altos en las estaciones de densidades más bajas, así el mayor valor se alcanza para la estación Varadero (78328) con 16 kA y el menor se alcanzó para la estación de Tapaste con 10 kA. Los horarios de la tarde son los que presentan los valores más altos de densidad y de intensidad promedio de las descargas. Los aciertos presentan un promedio para todas las estaciones de 84 % alcanzando un valor de 91.3% para la estación de Santiago de la Vegas donde es máximo.

Palabras clave: tormentas eléctricas, sensores terrestres, descargas eléctricas.

ABSTRACT: In the present work, a very preliminary comparison of the reports of electrical storms in Cuba determined from the records of the meteorological stations and those of the Earth-Network (EN) station installed in Casablanca, north of Havana province, is made. The EN records of ten days of the month of August 2018 and the present and past weather variables of 14 meteorological stations in the provinces of Havana, Artemisa, Mayabeque and west of Matanzas were used. For comparison, a truth criteria test was established. The discharge density values ranged between 0.58 discharges per km² with a maximum in Melena del Sur and 0.03 discharges per km² for the Varadero station. The intensities register their highest values in the stations with the lowest densities, thus the highest value is reached for the Varadero station (78328) with 16 kA and the lowest was reached for the Tapaste station with 10 kA. The afternoon hours are those that present the highest values of density and average intensity of the discharges. The hits present an average for all the stations of 84%, reaching a value of 91.3% for the Santiago de la Vegas station where it is maximum.

Key words: thunderstorms, ground sensors, lightnings.

INTRODUCCIÓN

La muerte por fulguraciones constituye la primera causa de muerte en Cuba asociada a fenómenos naturales (Valderá & García, 2018) con un promedio anual de 60 víctimas entre los años 1987 y 2012. Las tormentas eléctricas provocan también graves daños a la economía del país en sectores como el energético, las comunicaciones, el transporte o la agricultura, de ahí la importancia de conocer su comportamiento diario, anual y distribución espacial con vistas a realizar diseños de protección contra descargas.

Las principales diferencias entre los estudios de comportamiento diario, anual y distribución espacial de las tormen-

tas eléctricas están en la información base que se usa para caracterizar el fenómeno. En los primeros tiempos se usaban los registros dados por las estaciones meteorológicas (OMM, 1956; Changnon, 1988; Dai, 2001a; 2001b), pero con la creación y desarrollo de nuevas tecnologías se imponen las climatologías realizadas con la información de dispositivos detectores de tormentas y con datos de satélites (Orville et al., 2002; Virts et al., 2013; Cecil et al., 2014; Albrecht et al., 2016). Según Albrecht y colaboradores (2016) las zonas costeras de Cuba, la cuenca del Congo, Arabia Saudita y Yemen son lugares con muy alta densidad de descargas en el mundo, con más de 50 fl km⁻² yr⁻¹ (flashes por kilómetro cuadrado por año, fl km⁻² yr⁻¹).

*Autor para correspondencia: Lourdes Álvarez-Escudero. Email: lourdes_alvarez@yahoo.com

Recibido: 15/04/2022

Aceptado: 08/08/2022

En Cuba, la red de estaciones meteorológicas aporta de forma trihoraria los datos de código de estado de tiempo presente (WW) y pasado (W1), los cuales reportan los fenómenos ocurridos en el momento de la observación o una hora antes en el caso del primero y las dos horas posteriores a la observación anterior en el caso del tiempo pasado. Hasta el momento estos registros constituyen la única fuente de información sobre fenómenos con largas series de datos que permiten hacer estudios climatológicos sobre fenómenos meteorológicos en Cuba. Los estudios realizados para el país (Alfonso, 1980; Alfonso y Florido, 1993; Lecha et al., 1994) arrojan máximos de ocurrencia de tormentas en zonas montañosas e interiores llanas, con un máximo absoluto en la estación de Pinares de Mayarí con más de 140 días y mínimos de actividad en las regiones costeras con valores inferiores a 40 días con tormentas. En aras de lograr series completas y homogéneas de información se realizaron varias versiones del mapa de niveles ceráunicos de Cuba (Álvarez, 2006; Álvarez et al., 2009; Álvarez et al., 2012; Álvarez-Escudero y Borrajero Montejo, 2018) donde se utilizaba para la caracterización de las tormentas solo el tiempo presente (WW) y el nivel alcanzó alrededor de los 160 días promedio anual. Posteriormente se introdujo el tiempo pasado (W1) para las estaciones de las provincias La Habana, Artemisa y Mayabeque (García-Santos y Álvarez Escudero, 2018) donde se constató que como promedio para todo el país estos registros aumentaban el número de días promedio anual en 25. El nuevo mapa de niveles ceráunicos para todo el país, teniendo en cuenta tanto tiempo pasado como presente, eleva el número de días promedio a 190 (Álvarez-Escudero y - Borrajero Montejo, 2020).

En el año 2017, fue donada a Cuba una estación de detección de rayos de la red estadounidense "Earth-Network" (EN) que fue instalada y puesta en funcionamiento en la estación de Casablanca, en La Habana a principios del 2018. La red de estaciones Earth-Network ha desplegado y operado la red de estaciones meteorológicas más amplia del mundo en los últimos 20 años, con aproximadamente 8000 estaciones. En el 2009, Earth-Network incorporó a su red, una de total de descargas (Earth Networks Total Lightning Network, ENTLN), la más amplia del mundo y con 1100 sensores. El sensor de rayos, detecta descargas nube-tierra e intranube (CG e IC, según sus siglas en inglés), tiene una precisión de detección de hasta 250 m y una eficiencia mayor al 95% en la detección de las descargas CG y mayor de un 85% en las IC, con una exactitud temporal menor de 15 nanosegundos.

El objetivo del presente trabajo es realizar una comparación muy preliminar de los reportes de tormentas eléctricas en Cuba determinadas a partir de los registros de las estaciones meteorológicas y de los registros de la estación Earth-Network (EN).

MATERIALES Y MÉTODOS

De acuerdo a la disponibilidad de los datos de ENTLN se trabajó con diez días del mes de agosto de 2018 (20 - 30 de agosto de 2018), registros que se enmarcan en el periodo lluvioso del año en Cuba y en el mes que junto a septiembre ocurre la mayor frecuencia de tormentas en el año (Álvarez-Escudero et al., 2020). Las tormentas ocurridas estos días estuvieron asociadas mayormente a sistemas de carácter migratorio como ondas tropicales que atravesaban el Mar Caribe y bajas frías en la altura en ocasiones asociadas a la vaguada troposférica superior (TUTT por sus siglas en inglés), acompañado de la inestabilidad vespertina y condiciones locales.

El equipo receptor de EN consta de una antena de descargas, una de GPS, un procesador digital de la señal, un cable transmisor de datos y el dispositivo de la red. La distribución y transmisión de los datos es vía INTERNET en formato binario o ASCII. La conexión directa a los servidores de ENTLN tienen un retraso mínimo de 10 segundos, por tanto los datos son recibidos en tiempo real. El sensor aporta la hora de la descarga, la latitud, la longitud, la polaridad (positiva o negativa), el pico de la corriente para las descargas eléctricas del tipo CG o pico del campo radiado normalizado a 30 Km para rayos IC (en Amperes), la clasificación de la descarga eléctrica (IC / CG), el número de sensores que detectaron la descarga eléctrica, la multiplicidad de las descargas eléctricas IC y CG y la altura de las descargas eléctricas del tipo IC (en metros).

La región seleccionada para el estudio fue la zona occidental de Cuba, en especial las provincias de La Habana, Artemisa y Mayabeque y oeste de Matanzas, dado que el sensor está instalado al norte de la provincia La Habana y por tanto la mayor efectividad de detección está en esta zona. Esta región involucra 14 estaciones meteorológicas cuyos datos sirvieron de fuente de comparación y la caracterización y localización de las mismas se resume en la Tabla 1 y se representa en la figura 1.

Los registros de tormentas dados por los códigos de tiempo presente y pasado no discriminan entre si la descarga fue nube - tierra o intranube y los observadores meteorológicos las declaran a partir de oír el trueno en la estación y este se puede percibir a 12 km alrededor de la estación; aunque en dependencia de las condiciones meteorológicas y la limpieza de ruidos medioambientales, este umbral podría extenderse hasta 25 km. (Rakov & Uman, 2003).

Teniendo en cuenta lo anteriormente expresado y que los datos de ENTLN aportan la geolocalización de la ocurrencia de descargas tanto nube-tierra como intranube se necesitó establecer un método que permitiera comparar la información. Para ello se calculó la densidad de descargas por km² y la intensidad promedio (en Amperes) de estas con los datos de ENTLN,

para un círculo de 12 km de radio centrado en las localizaciones de las estaciones meteorológicas referenciadas en la [Tabla 1](#). Esto se realizó para períodos trihorarios, dado que esa es la frecuencia con la que se emiten las observaciones en las estaciones meteorológicas. Con la información así obtenida se pasaba a clasificar por rangos los valores de las variables WW, W1 y Densidad total de descargas e Intensidad según ENTLN. Los códigos usados para la clasificación de WW y W1 son los descritos en el Manual de Códigos de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2011), donde debe resaltarse que el código 17 para WW se refiere a que se escucha el trueno en la estación y los restantes códigos se refieren a la tormenta

sobre la estación. La clasificación propuesta se representa en la [Tabla 2](#).

Con los resultados de la clasificación se realizó un análisis de cluster jerárquico mediante la evaluación de un dendrograma que considera como variables los valores de código de WW, W1 y Densidad total de descargas e Intensidad según ENTLN y como individuos las estaciones meteorológicas en estudio. Se usaron distancias euclidianas y como método de enlace el de varianza mínima o método de Ward, lo que permitió una mayor definición de las asociaciones que se formaban. La distancia de enlace asumida para la diferenciación de grupos se escogió tal que la medida entre elementos de un mismo grupo sea menor que la

Tabla 1. Identificador, Nombre, Latitud y Longitud (en grados) de las 14 estaciones meteorológicas involucradas en el estudio.

Identificador	Nombre	Latitud(°)	Longitud(°)
78316	La Palma	22,77	83,56
78317	Paso Real de San Diego	22,56	83,31
78318	Bahía Honda	22,93	83,22
78320	Güira de Melena	22,78	82,51
78376	Bauta	22,98	82,54
78322	Batabanó	22,74	82,29
78323	Güines	22,85	82,04
78340	Bainoa	23,00	81,94
78374	Tapaste	23,00	82,14
78375	Melena del Sur	22,78	82,11
78325	Casablanca	23,14	82,34
78373	Santiago de las Vegas	22,98	82,39
78327	Unión de Reyes	22,77	81,54
78328	Varadero	23,16	81,23

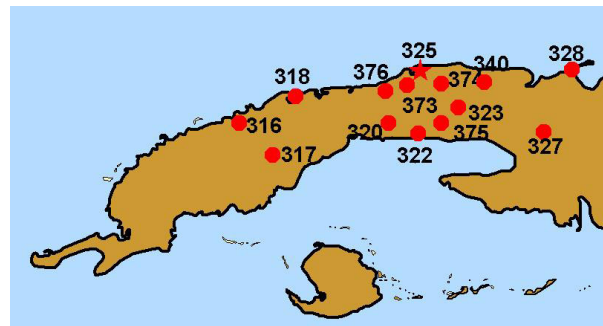


Figura 1. Representación de la localización de las estaciones en estudio. En la figura solo se refiere el número de la estación y todas pertenecen al bloque 78 según la Organización Meteorológica Mundial (OMM)

Tabla 2. Clasificación por rangos de los valores de las variables WW, W1 y Densidad total de descargas e Intensidad según ENTLN

Variable	Código	Criterio de clasificación
Densidad total de descargas e Intensidad según ENTLN	0	Valor igual a cero
	1	Por debajo de la media para cada estación
	2	Igual o por encima de la media para cada estación
WW	0	no hay tormenta
	1	Código 17
	2	Código 29, 90, 91, 95, 96, 97, 99
W1	0	no hay tormenta
	1	Código 9

que hay entre grupos o clusters y en este caso fue de 20.

Para la comparación se estableció una prueba de criterios de veracidad detectando “Verdaderos Positivos (VP)”, “Falsos Positivos (FP)”, “Verdaderos Negativos (VN)” y “Falsos Negativos (FN)”. Las definiciones de estos criterios se presentan en la [Tabla 3](#).

Para ilustrar el porcentaje de aciertos obtenidos se utiliza la siguiente relación donde se dividen los casos que coinciden sobre el total de casos expresado en porciento.

$$\% \text{ de aciertos} = \frac{VP + VN}{VP + FP + VN + FN} \times 100$$

La prueba de veracidad se realizó también para el umbral de 12 km.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según el dendrograma mostrado en la [figura 2](#), las estaciones en estudio se aglutinaron en cuatro grupos dados por:

Grupo I: Estación 78328

Grupo II: Estaciones 78323, 78373, 78320, 78317

Grupo III: Estaciones 78318, 78327, 78340

Grupo IV: Estaciones 78316, 78322, 78325, 78374, 78375, 78376

La distribución espacial no muestra en general una regionalización por grupos, aunque se aprecia una mayor representatividad de los grupos II y IV (con excepción de la 78316 y 78317) hacia zonas más cercanas

al sensor de ENTLN, sin embargo el grupo III y el unitario grupo I están en lugares más alejados.

Si se consideran las variables usadas para hacer el análisis de cluster, la diferencia la marca el total de observaciones con tormenta determinadas a partir del código de tiempo presente (WW) y pasado (W1), específicamente el código de tiempo pasado donde los registros de ocurrencia son cuantitativamente mayores que los de tiempo presente. En la [figura 4](#) se muestra la cantidad de observaciones de tiempo pasado que registraron tormentas en la estación, organizadas según el análisis de cluster realizado anteriormente y donde se percibe que el grupo I presenta valores bajos de ocurrencia, el II tiene como promedio 22 observaciones con tormenta, el III alcanza los valores más altos con un promedio de 32 observaciones y el IV presenta valores intermedios entre los grupos II y III, con un promedio de 27 observaciones.

En la [figura 5](#) se muestra el mismo análisis presentado en la [figura 4](#), pero con la variable Densidad total de descargas según ENTLN cuando los valores son desiguales de cero y se ve que no logra representar una diferencia entre grupos.

La representación espacial del agrupamiento obtenido se muestra en la [figura 3](#).

De los registros dados por el sensor terrestre de la ENTLN se calcula la Densidad de descargas por km² promedio (DDP) y la Intensidad promedio (IP) cuando ocurrían tormentas (valores desiguales de cero), para un radio de 12 km centrado en cada una de las 14 estaciones en estudio. El resultado de estas estimaciones se visualiza en las [figuras 6 y 7](#).

Tabla 3. Definiciones de criterios para la prueba de veracidad

Criterio	Parámetro registrado por ENTLN (Densidad de descargas)	Detección de la tormenta según WW y/o W1
Verdaderos Positivos (VP)	≠ 0	si
Falsos Positivos (FP)	≠ 0	no
Verdaderos Negativos (VN)	0	no
Falsos Negativos (FN)	0	si

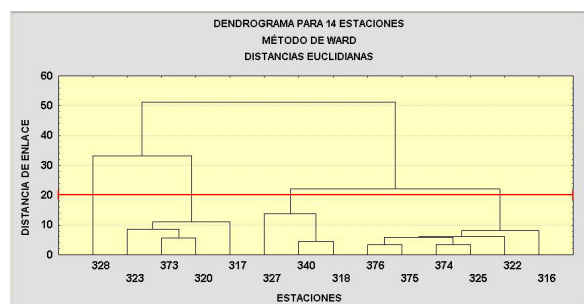


Figura 2. Dendrograma para los códigos de clasificación asumidos de la densidad e intensidad de descargas, WW, W1, en el periodo del 20 al 30 de agosto de 2018, teniendo como individuos las estaciones y distancia de enlace de 20. En la figura solo se refiere el número de la estación y todas pertenecen al bloque 78 según la Organización Meteorológica Mundial (OMM)

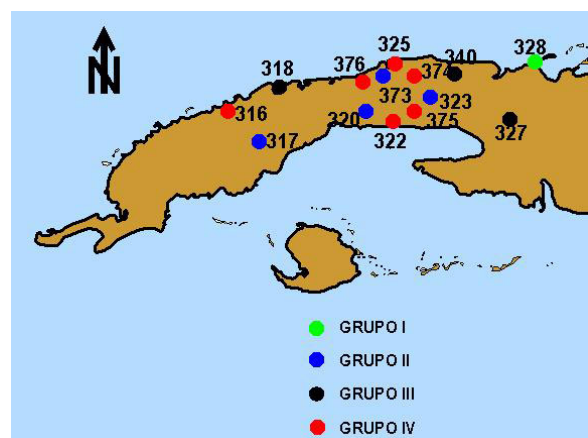


Figura 3. Distribución espacial de las estaciones según el análisis de cluster representado en el dendrograma de la [figura 2](#). En la figura solo se refiere el número de la estación y todas pertenecen al bloque 78 según la Organización Meteorológica Mundial (OMM)

De la [figura 6](#) se constata que hay 4 estaciones con valores altos de densidad que son: Batabanó (78322), Güines (78323), Tapaste (78374) y Melena del Sur (78375) donde es máximo con un valor de 0.58 descargas por km^2 . Los valores más bajos se presentan en las estaciones de Bahía Honda (78318), Casablanca (78325) y Varadero (78328) donde es mínimo con solo 0.03 descargas por km^2 . Debe notarse que estas 3 estaciones son las más próximas a la costa norte del área de estudio y podrían considerarse costeras y su comportamiento coincide con estudios climáticos anteriores ([Lecha et al., 1994](#); [García-Santos y Álvarez-Escudero, 2018](#); [Álvarez-Escudero y Borrajerio-Montejo, 2020](#)) que muestran un aumento de la actividad de tormentas de las costas hacia el interior de la Isla.

Las intensidades sin embargo, tienen un comportamiento diferente ([figura 7](#)); en general los valores más altos se registran en las estaciones de densidades más bajas, así el mayor valor se alcanza para la estación Varadero (78328) con 16 kA, seguido por Bahía Honda (78318). El valor menor se alcanzó para la estación de Tapaste con 10 kA. Aquí debe destacarse que aunque la densidad de descargas puede relacionarse con el nivel cerámico y los puntos de mayor densidad de

cia de tormentas, para los valores de intensidad no existe ningún antecedente en Cuba, por lo que el estudio de estos parámetros requiere mayor número de datos y mayor profundidad con vistas a aplicarlo a los diseños de protección contra descargas.

A partir de los datos que constituyen el periodo de estudio también se puede analizar la marcha diaria tanto de la densidad como de la intensidad de las descargas para cada una de las estaciones en estudio y el promedio para todas. La marcha diaria de la densidad de descargas por km^2 promedio y de la intensidad promedio para todas las estaciones se representa en las [figuras 8 y 9](#).

Del análisis de la [figura 8](#) se observa que al igual que para el caso de determinar las marchas diarias a partir de WW y W1 ([Álvarez-Escudero et al., 2021](#)) los horarios de la tarde son los que presentan los valores más altos de densidad de descargas por km^2 , con máximos a las 16 y 19 hora local con alrededor de 0.2 descargas por km^2 . El horario de las 22 hora local a diferencia de estudios anteriores presenta valores muy bajos, aunque esto puede deberse a lo corto de la muestra en estudio. La [figura 9](#) presenta un comportamiento algo diferente a la [figura 8](#) pues la

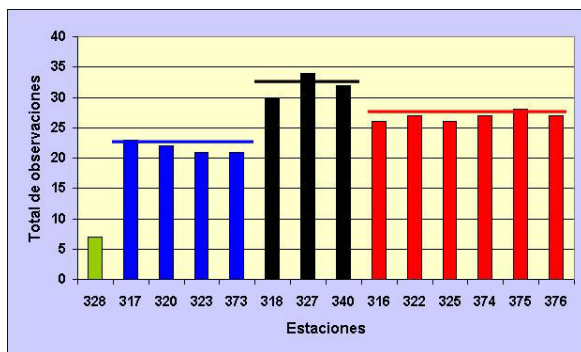


Figura 4. Cantidad de observaciones de tiempo pasado que registraron tormentas, para cada una de las estaciones en estudio en el periodo del 20 al 30 de agosto de 2018. Las líneas marcan el valor promedio por grupo. En la figura solo se refiere el número de la estación y todas pertenecen al bloque 78 según la OMM.



Figura 5. Cantidad de observaciones desiguales de cero de Densidad total de descargas según ENTLN, para cada una de las estaciones en estudio, en el periodo del 20 al 30 de agosto de 2018. En la figura solo se refiere el número de la estación y todas pertenecen al bloque 78 según la OMM.

descargas podrían coincidir con los de mayor ocurren-

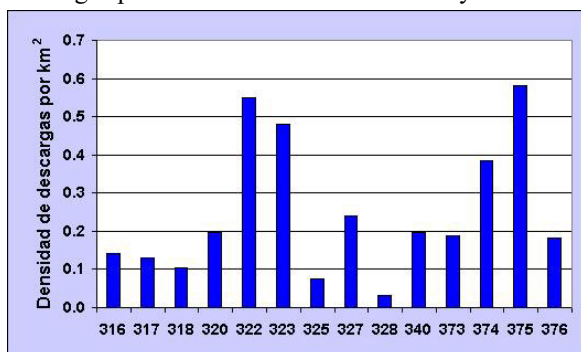


Figura 6. Densidad de descargas por km^2 promedio (DDP) para cada una de las estaciones en estudio, en el periodo del 20 al 30 de agosto de 2018. En la figura solo se refiere el número de la estación y todas pertenecen al bloque 78 según la OMM.

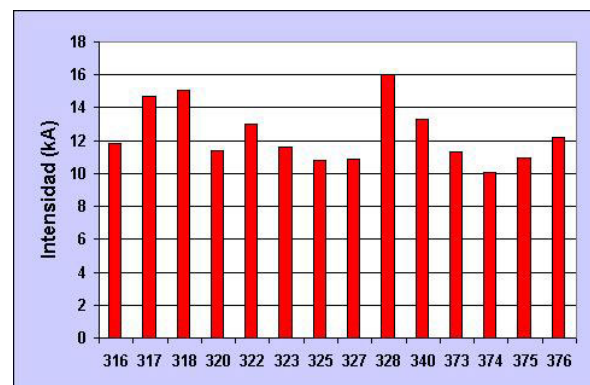


Figura 7. Intensidad promedio (IP) para cada una de las estaciones en estudio, en el periodo del 20 al 30 de agosto de 2018. En la figura solo se refiere el número de la estación y todas pertenecen al bloque 78 según la OMM.

intensidad promedio de las descargas aunque es máxima en la tarde y primeras horas de la noche también presenta valores apreciables en las primeras horas del día. El máximo absoluto para la marcha se alcanza a las 16 hora local con 12.9 kA.

Si se analiza la marcha diaria de la densidad de descargas para cada una de las estaciones se obtiene lo que se muestra en la figura 10 donde los gráficos se han dividido según los grupos definidos en la figura 2.

Para todas las estaciones los máximos de densidad de descargas ocurren a las 16:00 o a las 19:00 hora local (figura 10) y las diferencias entre los grupos definidos en la figura 2 están dadas por valores más altos o más bajos de densidad de descargas. Así el Grupo I alcanza su valor máximo a las 19:00 hora local con el valor máximo más bajo de 0.07 descargas

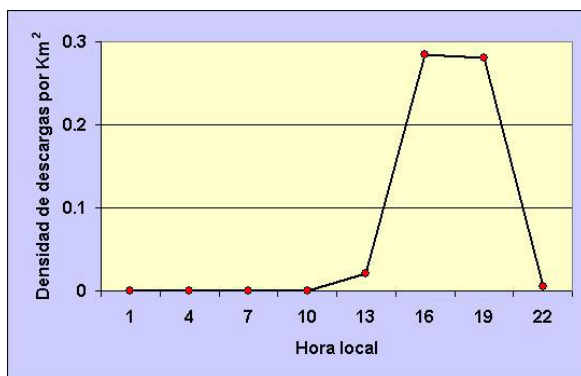


Figura 8. Marcha diaria de la densidad de descargas por km² promedio para todas las estaciones meteorológicas en estudio a partir de la información registrada en el periodo del 20 al 30 de agosto de 2018.

por km², el Grupo II con promedio de máximo de descargas de 0.52 descargas por km² alcanza el valor máximo a las 16:00 hora local en 3 de las 4 estaciones que lo integran y el Grupo III tiene un valor máximo promedio de 0.32 descargas por km² que es alcanzado por todas las estaciones a las 16:00 hora local. El Grupo IV presenta el valor más alto de promedio del máximo de descargas con 0.72 descargas por km² y a diferencia de los Grupos II y III la mayoría de las estaciones lo alcanza a las 19:00 hora local.

La marcha diaria de la intensidad de las descargas para cada una de las estaciones según los Grupos definidos en la figura 2 se muestra en la figura 11.

La estación de Varadero (78328) que constituye el Grupo I presenta el pico más alto de intensidad con alrededor de 40 kA y ocurrió a las 04:00 hora local, aunque mantiene valores promedio de 15 kA en horas de la tarde. El Grupo II presenta un máximo de 21 kA para la estación de Paso Real de San Diego (78317) y las horas de máxima ocurrencia para las estaciones

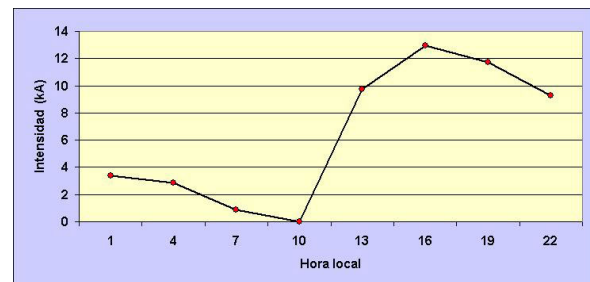


Figura 9. Marcha diaria de la intensidad promedio de las descargas para todas las estaciones meteorológicas en estudio a partir de la información registrada en el periodo del 20 al 30 de agosto de 2018.

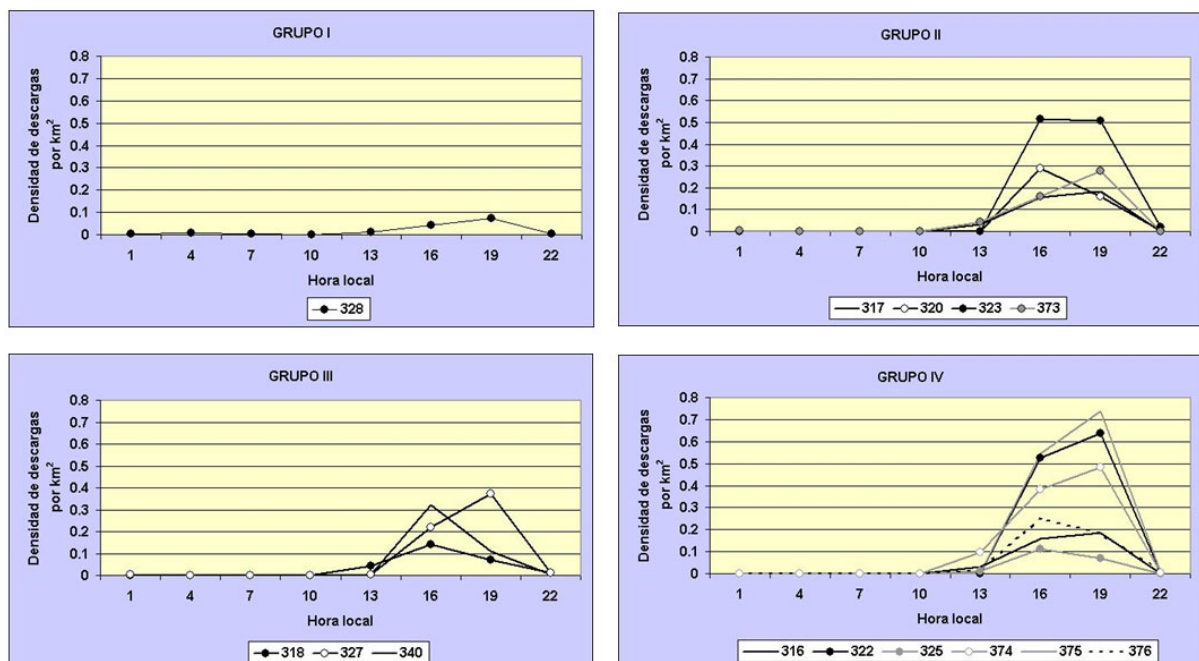


Figura 10. Marcha diaria de la densidad de descargas por km² promedio para cada una de las estaciones meteorológicas en estudio a partir de la información registrada en el periodo del 20 al 30 de agosto de 2018. En la figura solo se refiere el número de la estación y todas pertenecen al bloque 78 según la OMM.

que lo integran están entre las 16:00 y las 22:00 hora local. El grupo III presenta un valor máximo de intensidad muy parecido al del Grupo II con 22 kA para la estación de de Bainoa (78340), pero a diferencia de los otros grupos todas las estaciones que lo integran alcanzaron el máximo a las 13:00 hora local, aunque hay valores por encima de los 10 kA en horas de la tarde y la noche. El Grupo IV alcanzó un valor máximo de intensidad de 34 kA para la estación de Batabanó (78322) y los máximos para las estaciones que lo conforman están en las 16:00 y las 22:00 hora local aunque a las 16:00 los valores no son significativamente menores. Lo obtenido está sujeto a cierto sesgo debido a lo pocos días que constituyen el periodo de estudio, pero es la primera vez que se maneja el parámetro de intensidad de las descargas en Cuba. El comportamiento de la marcha diaria en la estación de Varadero (78328) que constituye el Grupo I podría estar relacionado con el carácter costero de la misma y que las tormentas en el mar ocurren generalmente en la noche y que dicha estación se encuentra ubicada en la península de Hicacos y en su radio de 12 km tiene la influencia de tormentas que afectan tanto en las aguas al norte (Estrecho de la Florida) y en la Bahía de Cárdenas. En un caso parecido está la estación de Batabanó (78322) que pertenece al Grupo IV y presenta un pico de 33 kA a las 22:00 hora local. Esta es una estación muy cercana a la costa sur de la Isla y que podría considerarse que presenta convección tardía.

Si comparamos las marchas diarias de los valores de densidad por km² máximo para todas las estaciones con los valores máximos de intensidad y se presentan

estos valores normalizados se observa lo que muestra la figura 12.

Lo presentado en la figura 12 arroja que en los horarios de la madrugada, la mañana y la noche suele haber menos tormentas y las densidades son bajas, pero las descargas son más intensas, sin embargo en horas de la tarde donde la ocurrencia es máxima las intensidades son más bajas, aunque el periodo de estudio es corto para arribar a conclusiones al respecto de este comportamiento.

Pruebas de veracidad

Según la metodología explicada en la Tabla 3 se pueden conocer los valores de “Verdaderos Positivos” (VP), “Falsos Positivos” (FP), “Verdaderos Negativos” (VN) y “Falsos Negativos” (FN). Los valores de estos 4 indicadores para cada estación se recogen en la Tabla 4 y los porcentajes de acierto se representan en la figura 13.

Los indicadores con porcentajes más altos del total de observaciones son los VN con un 66% y los VP con 18 lo cual es muy representativo dado que según la climatología (Álvarez-Escudero et al., 2020) el mes de agosto es uno de los de mayor ocurrencia para todas las estaciones cubanas. La estación con mayor número de casos de VN es Varadero (78328), al igual que la de menor número de casos de VP debido a que la ocurrencia de tormentas para esta estación es más baja que sus vecinas (ver figura 6). También Varadero presenta el número más alto de FP.

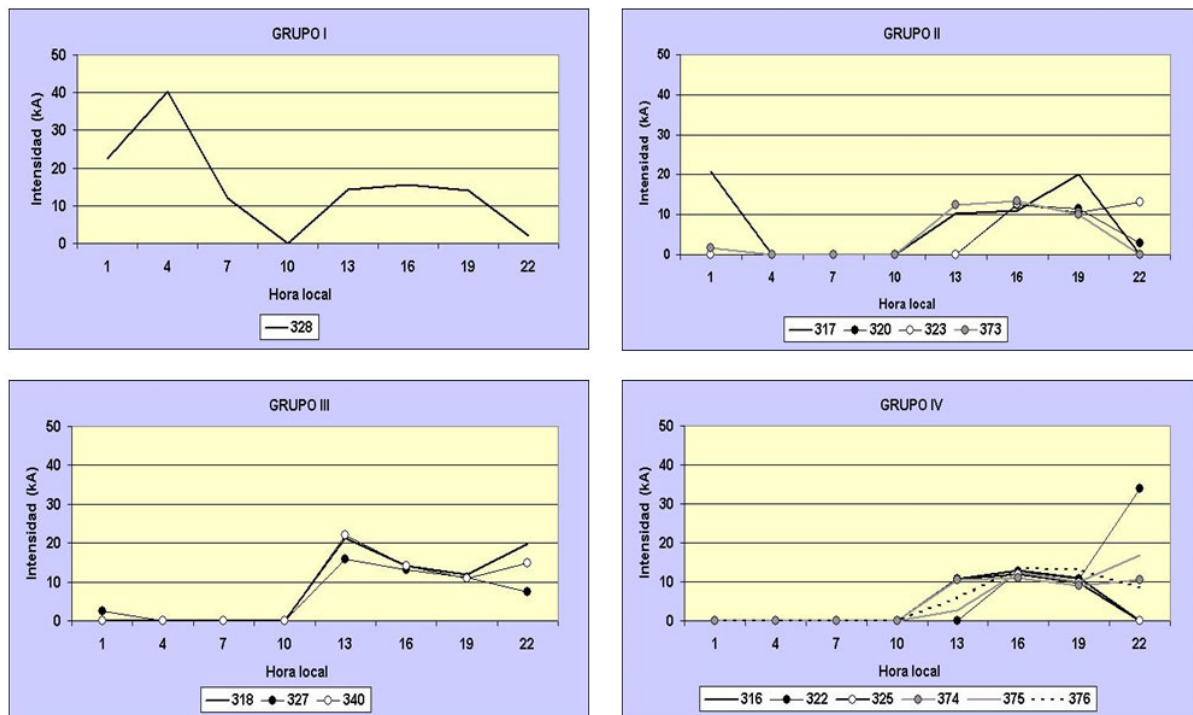


Figura 11. Marcha diaria de la intensidad media de descargas para cada una de las estaciones meteorológicas en estudio a partir de la información registrada en el periodo del 20 al 30 de agosto de 2018. En la figura solo se refiere el número de la estación y todas pertenecen al bloque 78 según la OMM.

El porcentaje de aciertos según se calcula en la fórmula (1) tiene un promedio para todas las estaciones de 84 y el mayor valor lo alcanza la estación de Santiago de la Vegas (78373) con un destacado 91.3%. El valor más bajo de aciertos es para la estación Unión de Reyes (78327) con 77.5%, aunque la diferencia entre los valores de % de acierto no es marcada entre estaciones. Por debajo de la media están las estaciones 78317, 78318, 78325, 78327, 78328, 78340 y 78376, cinco de las cuales se encuentran cercanas a la costa norte del área de estudio donde la frecuencia de ocurrencia de tormentas tiende a ser más baja y crecer tierra adentro.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La variable que más discrimina la ocurrencia de tormentas de las estaciones en estudio es el código de

estado de tiempo pasado y los diferentes grupos obtenidos no muestran un agrupamiento espacial definido.

Hay cuatro estaciones con valores altos de densidad de descargas que son: Batabanó (78322), Güines (78323), Tapaste (78374) y Melena del Sur (78375) donde es máximo con un valor de 0.58 descargas por km². Los valores más bajos se presentan en las estaciones de Bahía Honda (78318), Casablanca (78325) y Varadero (78328) donde es mínimo con solo 0.03 descargas por km².

Las intensidades registran los valores más altos en las estaciones de densidades más bajas, así el mayor valor se alcanza para la estación Varadero (78328) con 16 kA y el menor se alcanzó para la estación de Tapaste con 10 kA.

Los horarios de la tarde son los que presentan los valores más altos de densidad de descargas por km², con máximos a las 16 y 19 hora local con alrededor de 0.2 descargas por km².

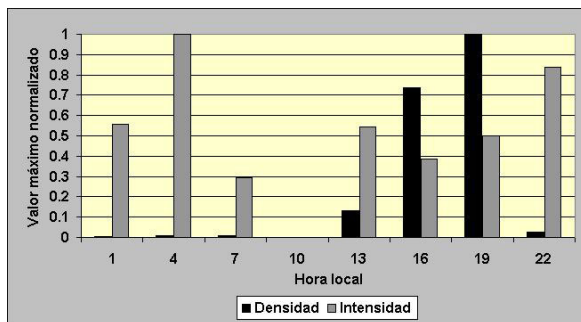


Figura 12. Comparación de las marchas diarias de los valores normalizados de densidad por km² máximo e intensidad máxima para todas las estaciones en estudio a partir de la información registrada en el periodo del 20 al 30 de agosto de 2018.

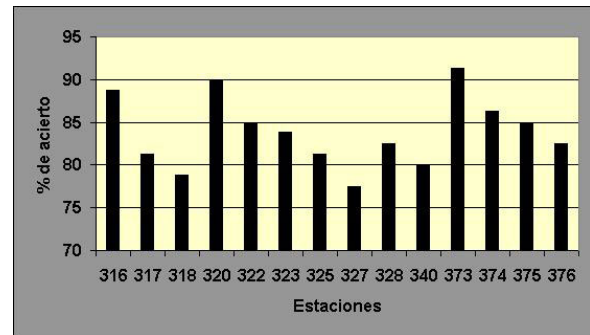


Figura 13. Porcentaje de aciertos calculado según la fórmula (1) para cada una de las estaciones en estudio a partir de la información registrada en el periodo del 20 al 30 de agosto de 2018. En la figura solo se refiere el número de la estación y todas pertenecen al bloque 78 según la OMM.

Tabla 4. Cantidad de casos de “Verdaderos Positivos” (VP), “Falsos Positivos” (FP), “Verdaderos Negativos” (VN) y “Falsos Negativos” (FN), según la clasificación convenida en la Tabla 3, para cada una de las estaciones en estudio a partir de la información registrada en el periodo del 20 al 30 de agosto de 2018.

Estación	VP	FP	VN	FN
78316	19	1	52	8
78317	10	2	55	13
78318	14	1	49	16
78320	15	1	57	7
78322	16	0	52	12
78323	12	4	55	9
78325	13	2	52	13
78327	19	3	43	15
78328	3	10	63	4
78340	17	0	47	16
78373	17	2	56	5
78374	16	0	53	11
78375	17	1	51	11
78376	15	2	51	12
Total	203	29	736	152
Promedio	14.5	2.1	52.6	10.8
% del Total	18	2	66	14

La intensidad promedio de las descargas aunque es máxima en la tarde y primeras horas de la noche también presenta valores apreciables en las primeras horas del día. El máximo absoluto para la marcha se alcanza a las 16 hora local.

El porcentaje de aciertos presenta un promedio para todas las estaciones de 84 y el mayor valor lo alcanza la estación de Santiago de la Vegas (78373) con 91.3% y el más bajo para la estación Unión de Reyes (78327) con 77.5%,

REFERENCIAS

- Albrecht, R.; Goodman, S.; Buechler, D. Blakeslee, R. & Christian, H. (2016). Where are the lightning hotspots on Earth?. *BAMS*, 97(11), 2051-2068. DOI: [10.1175/BAMS-D-14-00193.1](https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00193.1)
- Alfonso A. P. (1980). *Descripción preliminar de las condiciones meteorológicas en la Isla de la Juventud* (Informe Científico - Técnico No. 134). Instituto de Meteorología, Cuba. UDICT Instituto de Meteorología <http://www.insmet.cu>.
- Alfonso, A. P. & Florido, A. (1993). *El clima de Matanzas*. Editorial Academia, La Habana.
- Álvarez, L. (2006). *Estudio de la localización espacial de las tormentas eléctricas en Cuba y su tendencia*. [Tesis doctoral inédita]. Instituto de Meteorología, Cuba.
- Álvarez, L.; Borrajeró, I. & Álvarez, R. (2009). Distribución espacial de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas, con tormentas con lluvias sobre la estación y días con tormentas para el territorio cu bano. *Revista Cubana de Meteorología*, 15(1), 14-22. <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/121>.
- Álvarez, L.; Borrajeró, I.; Álvarez, R.; Aenlle, L. & Bárcenas, M. (2012). Actualización de la distribución espacial de las tormentas eléctricas en Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 18(1), 83-99. <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/49>.
- Álvarez-Escudero, L. & Borrajeró-Montejo, I. (2018). Distribución espacial de fenómenos meteorológicos en Cuba clasificados a partir del código de tiempo presente II. *Revista Cubana de Meteorología*, 24(1), 111-127. <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/263/303>.
- Álvarez-Escudero, L. & Borrajeró-Montejo, I. (2020). Actualización del mapa de niveles ceráunicos de Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 26(2). <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/508/840>.
- Álvarez-Escudero, L., Borrajeró-Montejo, I. & Rojas-Díaz, Y. (2020). Caracterización de la marcha anual de las tormentas con registros de tiempo presente y pasado. *Revista Cubana de Meteorología*, 26(3). <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/523/884>.
- Álvarez-Escudero, L., Borrajeró-Montejo, I. & Rojas-Díaz, Y. (2021). Caracterización de la marcha diaria de las tormentas con registros de tiempo presente y pasado. *Revista Cubana de Meteorología*, 27(1). <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/549/1034>.
- Cecil, D.J.; Buechler, D.E. & Blakeslee, R.J. (2014). Gridded lightning climatology from TRMM - LIS and OTD: Dataset description. *Atmospheric Research*, 135 - 136, 404-414. DOI: [10.1016/j.atmosres.2012.06.028](https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.06.028).
- Changnon, S. A. (1988). Climatology of Thunder Events in the Conterminous United States. Part II: Spatial Aspects. *Journal of Climate*, 1(4), 399-405. DOI: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(1988\)001<0399:COTEIT>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(1988)001<0399:COTEIT>2.0.CO;2).
- Dai, A. (2001a). Global Precipitation and Thunderstorm Frequencies. Part I: Seasonal and Interannual Variations. *Journal of Climate*, 14(6), 1092-1111. DOI: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014<1092:GPATFP>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<1092:GPATFP>2.0.CO;2).
- Dai, A. (2001b). Global Precipitation and Thunderstorm Frequencies. Part II: Diurnal Variations. *Journal of Climate*, 14(6), 1112-1128. DOI: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(2001\)014<1112:GPATFP>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(2001)014<1112:GPATFP>2.0.CO;2).
- García-Santos, Y. & Álvarez-Escudero, L., (2018). Climatología de las tormentas eléctricas determinadas a partir del código de estado de tiempo pasado. *Revista Cubana de Meteorología*, 24(2), 201-215. <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/426>.
- Lecha, L. B.; Paz, L. R. & Lapinel, B. E. (eds.). (1994). *El Clima de Cuba*. Editorial Academia.
- OMM (Organización Meteorológica Mundial). (1956). *World distribution thunderstorm days*. WMO No. 21, TP 21.
- OMM (2011). *Manual de Claves*. Claves Internacionales. Volumen I.1, Parte A, Claves Alfanuméricas, OMM No. 306, Tabla 4678
- Orville, R. E.; Huffines, G. R.; Burrows, W. R; Holle, R. L. & Cummins K. L. (2002). The North American Lightning Detection Network (NALDN)-First Results: 1998-2000. *Monthly Weather Review*, 130, 2098-2109. <https://doi.org/10.1175/2010MWR3452.1>
- Rakov A. A. & Uman M. A. (2003). Thunder. En: Rakov A. A. & Uman M. A., *Lightning. Physics and Effects* (pp. 374-393). Cambridge University Press.
- Valderá N. & García E. A. (Diciembre 2013). *Comportamiento de las muertes por fulguración ocurridas en Cuba durante el periodo 1987 - 2012* [Artículo]. Memorias del VII Congreso Cubano de Meteorología, La Habana Cuba. https://www.researchgate.net/328365232_Comportamiento_de_las_muertes_por_fulguracion_ocurridas_en_Cuba_durante_el_periodo_1987-2012.
- Virts, K. S.; Wallace, J. M.; Hutchins, M. L. & Holzworth, R. H. (2013). Highlights of a New Ground-Based , Hourly Global Lightning Climatology. *BAMS*, 15, 1381-1391. DOI: [10.1175/BAMS-D-12-00082.1](https://doi.org/10.1175/BAMS-D-12-00082.1).

Conflicto de interés. Declaramos, no tener ningún conflicto de interés

Contribución de autoría: Concepción de la idea: Lourdes Álvarez-Escudero, Anisbel León. **Manejo de los datos:** Lourdes Álvarez-Escudero, Anisbel León, Adrián L. Ferrer. **Análisis de los datos:** Lourdes Álvarez-Escudero, Anisbel León, Adrián L. Ferrer. **Investigación:** Lourdes Álvarez-Escudero, Anisbel León. **Metodología:** Lourdes Álvarez-Escudero, Anisbel León. **Supervisión:** Lourdes Álvarez-Escudero. **Validación de los resultados:** Lourdes Álvarez-Escudero, Anisbel León

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/)