

Comportamiento de la marcha interanual de las tormentas eléctricas en Cuba. Periodo 2005 - 2019



<https://cu-id.com/2377/v30n1e08>

Behavior of the Interannual course of thunderstorms in Cuba. Period 2005 - 2019

 Lourdes Álvarez Escudero*,  Israel Borrajero Montejo

Centro de Física de la Atmósfera. Instituto de Meteorología. Apartado Postal 17032. CP 11700. Habana 17. La Habana. Cuba

RESUMEN: Las descargas eléctricas provocan grandes daños a las personas y la economía. Las medidas de adaptación conllevan al análisis del fenómeno, su distribución espacial y su variabilidad en el tiempo, manteniendo los estudios actualizados. El objetivo del presente trabajo es analizar la marcha interanual de la ocurrencia de tormentas en el periodo donde todas las estaciones del país poseen información completa y sin sesgos para las variables código de estado de tiempo presente y pasado. Para el estudio se utilizan los registros de estado del tiempo presente y pasado para 68 estaciones del país en el periodo 2005 - 2019 donde la información es completa y permite calcular el número de días con tormenta al año. El análisis de las marchas interanuales del número de días con tormenta muestra que en el 35 % de las estaciones en estudio hay un indicativo del carácter decreciente de la actividad de tormentas. De las estaciones en estudio solo cuatro presentan tendencia creciente y 21 son homogéneas. Las series analizadas presentan un comportamiento decreciente a partir del año 2015 en casi todas las estaciones en estudio.

Palabras clave: tormenta eléctrica, marcha interanual, tendencia.

ABSTRACT: Electrical discharges cause great damage to people and the economy. The adaptation measures lead to the analysis of the phenomenon, its spatial distribution and its variability over time, keeping the studies updated. The objective of the present work is to analyze the interannual course of the occurrence of storms in the period where all the stations of the country have complete and unbiased information for the present and past weather state code variables. For the study, records of present and past weather conditions are used for 68 stations in the country in the period 2005-2019, where the information is complete and allows the number of days with storms per year to be calculated. The analysis of the interannual changes in the number of days with storms shows that in 35% of the stations under study there is an indication of the decreasing nature of storm activity. Of the stations under study, only four show a growing trend and 21 are homogeneous. The analyzed series show a decreasing behavior from the year 2015 in almost all the stations under study.

Key words: thunderstorms, Interannual course, trend.

INTRODUCCIÓN

En el Capítulo 9 de la obra “Adaptación frente a los riesgos del cambio climático en los países iberoamericanos - Informe RIOCCADAPT” (Poveda, et al.,

2020) se hace un análisis del papel del cambio climático en la intensificación de tormentas y huracanes y reconoce el aumento en la frecuencia, potencia y duración de tormentas eléctricas. La incidencia de muertes por rayos en América Latina es 17 veces mayor que en

*Autor para correspondencia: Lourdes Álvarez Escudero. E-mail: lourdes.alvarez@insmet.cu

Recibido: 12/10/2023

Aceptado: 15/01/2024

Lourdes Álvarez-Escudero. Centro de Física de la Atmósfera. Instituto de Meteorología. Apartado Postal 17032. CP 11700. Habana 17. La Habana. Cuba

Israel Borrajero -Montejo. Centro de Física de la Atmósfera. Instituto de Meteorología. Apartado Postal 17032. CP 11700. Habana 17. La Habana. Cuba. E-mail: israelbm@yahoo.com

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

Contribución de autoría: **Concepción de la idea:** Lourdes Álvarez-Escudero, Israel Borrajero -Montejo. **Manejo de los datos:** Lourdes Álvarez-Escudero, Israel Borrajero -Montejo, **Análisis de los datos:** Lourdes Álvarez-Escudero, Israel Borrajero -Montejo. **Investigación:** Lourdes Álvarez-Escudero, Israel Borrajero -Montejo. **Metodología:** Lourdes Álvarez-Escudero, Israel Borrajero -Montejo. **Supervisión:** Lourdes Álvarez-Escudero Israel Borrajero -Montejo. **Validación de los resultados:** Lourdes Álvarez-Escudero, Israel Borrajero -Montejo.

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/)

Europa y Estados Unidos. Las regiones de los Andes del norte de Colombia y Venezuela, incluyendo el lago de Maracaibo en Venezuela, son las de mayor frecuencia de rayos y descargas eléctricas en el mundo (Albrecht et al., 2016). Brasil lidera el número total de muertes por ser el país más poblado y recibir la mayor cantidad de rayos con un promedio de 50 millones por año. Los daños causados a disímiles sectores de la economía como el eléctrico, las comunicaciones y el forestal son millonarios. Las medidas de adaptación conllevan al análisis del fenómeno, su distribución espacial y su variabilidad en el tiempo, manteniendo los estudios actualizados.

En Cuba se ha constatado (Álvarez Escudero et al., 2014a, c) que para el periodo 1989 - 2010 en más del 50% de las estaciones meteorológicas del país existe un crecimiento interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta contabilizadas a partir de la variable código de estado de tiempo presente que era de la que se poseía la información más completa (Álvarez Escudero et al., 2014b). Este crecimiento ha sido verificado también por otros autores en diferentes lugares del mundo (Boccippio et al., 2000; Christian et al., 2003; DeRubertis, 2006; Lay et al., 2007; Collier et al., 2013; Villarini y Smith, 2013; Pal et al., 2016) y en la actualidad se estudia la relación entre la ocurrencia de descargas y el cambio climático (Reeve y Toumi, 1999; Declan et al., 2018). Este crecimiento y puntualmente decrecimiento (Lolis, 2007; Valentí Pía et al., 2011) de la actividad eléctrica se asocia a cambios en otras variables, generalmente se consideran la temperatura (tanto en la superficie terrestre como la del mar), el contenido de aerosoles en la atmósfera como núcleos de condensación y el vapor de agua en la troposfera superior (Price, 2000; De Pablo y Rivas Soriano, 2002; Naccarato et al., 2003; Williams, 2005, Price y Asfur, 2006; Yuan et al., 2011; Middey y Kaware, 2016; Pal et al., 2016; Zhao et al., 2017).

La mayoría de los trabajos antes mencionados usan como información relativa a tormentas los conteos de descargas entre nubes y entre la nube y la tierra detectados a partir de redes de equipos diseñados al efecto (Orville et al., 2002; Lay et al., 2007; Virts et al., 2013) o mediante observaciones con dispositivos a bordo de satélites (Cecil et al., 2014, 2015). Desafortunadamente Cuba no cuenta con este tipo de información, por lo que la actividad de descargas se describe a partir de las tormentas observadas en las estaciones meteorológicas y descritas en las variables código de estado de tiempo presente y pasado.

A partir de esos registros y usando la serie 1972 - 2016 para la estación meteorológica de Casablanca, en La Habana, que cuenta con una serie muy completa de información trihoraria, se estudió su relación con la temperatura en superficie y se encontró que la frecuencia de ocurrencia de observaciones con temperaturas mayores o iguales que 30°C explicaba un 46 %

de la varianza, pero no justificaba en su totalidad el crecimiento interanual en la actividad de tormentas que presenta esta localidad (Álvarez Escudero et al., 2019).

Álvarez Escudero y Borrajero Montejo (2021) encontraron para un estudio realizado en 14 estaciones meteorológicas en el periodo 1989 - 2016, que en el 60 % de las estaciones había un indicativo de la creciente actividad de tormentas y que la relación entre el por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta y las variables asociadas a las temperaturas no explicaba el crecimiento de la actividad del fenómeno.

El objetivo del presente trabajo es analizar la marcha interanual de la ocurrencia de tormentas en el periodo donde todas las estaciones del país poseen información completa y sin sesgos para las variables código de estado de tiempo presente y pasado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la caracterización de las tormentas se utilizaron los registros trihorarios de las variables código de estado de tiempo presente y código de estado de tiempo pasado en el periodo 2005 - 2019, para las 68 estaciones del país que presentan calificación de “Excelente” o “Muy bueno” para el periodo mencionado en los índices de calidad de la información en cuanto a largo de la serie (todas con 15 años), por ciento de información útil, sesgo mensual y sesgo horario, según la metodología dada por Álvarez-Escudero y colaboradores (2014b).

Los datos para los análisis fueron extraídos de la Base de Datos “Nueva_THOR” (Álvarez Escudero et al., 2014b) implementada en MS-ACCESS para su gestión a la que se agregaron los datos del periodo 2017 - 2019.

Para la identificación del fenómeno en estudio se tomaron los códigos de estado de tiempo presente 17, 29, 91, 92, 95, 96, 97, 99, según la Tabla 4677, sobre “Tiempo presente, comunicado desde una estación meteorológica dotada de personal”, del Manual de Claves (WMO, 1988). Los códigos no recogidos y que pudieran estar asociados a tormentas se refieren a casos de ocurrencia muy baja o nula para la región de estudio. El código de estado de tiempo pasado solo se contabilizó como tormenta cuando W1 = 9 (WMO, 1988).

La variable utilizada para representar la marcha interanual de los fenómenos fue el “día con tormenta” que se considera así cuando hay en el día al menos una observación con tormenta. En este caso se utiliza esta variable a diferencia de estudios anteriores (Álvarez-Escudero y Borrajero-Montejo 2021) porque las series presentan información muy completa y porque es la variable climática clásica para estos estudios.

Los números, nombres, provincias a las que pertenece la estación y calificador de la calidad de la serie (ICALI) se recogen en la Tabla 1 y su ubicación geográfica se representa en la figura 1.

Tabla 1. Número, nombre y provincia a la que pertenecen y Calificador de calidad de las series (ICALI) para las 68 estaciones en estudio. El “*” se aplica para aquellas estaciones que, aunque en general tienen calidad de “Muy buena” presentan calificadores de “Bueno” para el sesgo horario de los registros de estado del tiempo pasado. Aquí “E” se refiere al calificador Excelente y “MB” a Muy bueno.

No.	Nombre	Provincia	ICALI
78308	La Piedra	Villa Clara	E
78309	Amistad Cuba-Francia	Isla de la Juventud	MB
78310	Cabo de San Antonio	Pinar del Río	E
78312	Santa Lucía	Pinar del Río	E
78313	Isabel Rubio	Pinar del Río	E
78314	San Juan y Martínez	Pinar del Río	E
78315	Pinar del Río	Pinar del Río	E
78316	La Palma	Pinar del Río	E
78317	Paso Real de San Diego	Pinar del Río	E
78318	Bahía Honda	Pinar del Río	E
78319	Valle de Caujerí	Guantánamo	MB
78320	Güira de Melena	Artemisa	E
78321	Santa Fe	Isla de la Juventud	E
78322	Batabanó	Artemisa	MB
78323	Güines	Mayabeque	MB
78324	Punta del Este	Isla de la Juventud	E
78325	Casablanca	La Habana	E
78326	Santo Domingo	Villa Clara	E
78327	Unión de Reyes	Matanzas	E
78328	Varadero	Matanzas	MB
78329	Indio Hatüey	Matanzas	E
78330	Jovellanos	Matanzas	E
78331	Jagüey Grande	Matanzas	E
78332	Colón	Matanzas	E
78333	Playa Girón	Matanzas	E
78334	Palenque de Yateras	Guantánamo	E
78335	Aguada de Pasajeros	Cienfuegos	MB
78337	Trinidad	Sancti Spiritus	MB
78338	Sagua la Grande	Villa Clara	E
78339	Cayo Coco	Ciego de Ávila	MB
78340	Bainoa	Mayabeque	MB
78341	El Jíbaro	Sancti Spiritus	MB*
78342	Topes de Collantes	Sancti Spiritus	E
78343	El Yabú	Villa Clara	E
78344	Cienfuegos	Cienfuegos	E
78345	Júcaro	Ciego de Ávila	E
78346	Venezuela	Ciego de Ávila	MB
78347	Camilo Cienfuegos	Ciego de Ávila	MB
78348	Caibarién	Villa Clara	E
78349	Sancti Spiritus	Sancti Spiritus	MB
78350	Florida	Camagüey	E
78351	Santa Cruz del Sur	Camagüey	MB
78352	Esmeralda	Camagüey	MB
78353	Nuevitas	Camagüey	E
78354	Palo Seco	Camagüey	MB
78355	Camagüey	Camagüey	E
78356	Jamal	Guantánamo	E
78357	Las Tunas	Las Tunas	E
78358	Puerto Padre	Las Tunas	E
78359	Manzanillo	Granma	E
78360	Cabo Cruz	Granma	E
78361	Jucarito	Granma	MB*
78362	La Jíquima	Holguín	MB*
78363	Contramaestre	Santiago de Cuba	E

No.	Nombre	Provincia	ICALI
78364	Santiago de Cuba	Santiago de Cuba	E
78365	Cabo Lucrecia	Holguín	E
78366	La Gran Piedra	Santiago de Cuba	E
78368	Guantánamo	Guantánamo	E
78369	Punta de Maisí	Guantánamo	E
78370	Guaro	Holguín	E
78371	Pinares de Mayarí	Holguín	MB
78372	Pedagógico	Holguín	E
78373	Santiago de las Vegas	La Habana	MB
78374	Tapaste	Mayabeque	E
78375	Melena del Sur	Mayabeque	MB*
78376	Bauta	Artemisa	MB
78377	Veguillas	Granma	E
78378	Velasco	Holguín	E



Figura 1. Ubicación de las 68 estaciones en estudio. Aquí no se refiere el bloque 78 para que pueda apreciarse mejor la ubicación de las estaciones.

La metodología para el análisis de homogeneidad de las series en estudio es la misma desarrollada por [Álvarez Escudero y colaboradores \(2012\)](#) y los estadígrafos se calculan según lo planteado por [Sneyers \(1990\)](#).

Para el análisis de la marcha interanual de las tormentas por estaciones se realizó un análisis de cluster jerárquico, mediante la evaluación de un dendrograma que considera el número de días con tormenta por cada año como variables y las estaciones como individuos. Se usaron distancias euclidianas y como método de enlace el método de enlace de varianza mínima o método de Ward, (en cada paso de enlace se exige la unión de grupos que minimicen la suma de las varianzas sobre todos los grupos) que es un método muy robusto para encontrar asociaciones entre grupos, 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 distancia entre elementos de un mismo grupo sea menor que la distancia entre grupos o clusters. A partir de los grupos obtenidos se graficaron las marchas interanuales promedio para establecer sus diferencias y se buscó alguna regionalización de los comportamientos interanuales mediante su representación en un mapa.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la [Tabla 2](#) se muestran las conclusiones de las pruebas de homogeneidad aplicadas a las series de días con tormenta para las 68 estaciones en estudio.

El análisis de la [Tabla 2](#) arroja 24 estaciones con tendencia decreciente significativa o altamente significativa lo que significa un 35% del total de estaciones analizadas y con puntos de cambio allí donde pudieron determinarse alrededor del año 2015. Los descriptores de las marchas interanuales según la metodología explicada por [Álvarez Escudero y colaboradores \(2014b\)](#) muestran cambios bruscos en la serie, sobre todo al final de la misma. A modo de ejemplo se representa la marcha interanual para la estación Pinar del Río (78315) en la [figura 2](#).

El resto de las series se catalogaron como 21 homogéneas, 19 a las que no pudo arribarse a conclusiones por presentar contradicción entre estadígrafos y solo 4 con carácter creciente significativo o altamente significativo y que fueron Batabanó (78322), Casablanca (78325) que coincide con estudios anteriores ([Álvarez Escudero, et al., 2019](#)), Bainoa (78340) y Jucarito (78361) aunque esta última podría estar influenciada por el sesgo horario que presenta en los registros de tiempo pasado.

El aumento entonces de 3 años (2017 - 2019) en el largo de la serie y el acortamiento de las mismas al periodo 2005 - 2019 (15 años) para tener información más completa y poder trabajar con la variable clásica de días con tormenta, a resultado en un cambio en el carácter de la marcha interanual de las tormentas en Cuba, así si en estudios anteriores una gran mayoría de las estaciones presentaban carácter creciente ([Álvarez Escudero et al., 2012](#); [Álvarez Escudero](#)

Tabla 2. Resumen del análisis de homogeneidad de la marcha interanual del número de días con tormenta clasificadas a partir del código de estado de tiempo presente y pasado, para las 68 estaciones en estudio en el periodo 2005 - 2019.

Estación	Descriptor	Carácter	Punto de cambio
78308	Abrupta	Decreciente significativa	2015
78309	Fluctuante	No conclusiones	
78310	Bajo - alto - bajo	Homogénea	
78312	Bajo - alto - bajo	Homogénea	
78313	Abrupta	Decreciente altamente significativa	2015
78314	Abrupta	Decreciente significativa	2015
78315	Abrupta	Decreciente significativa	2015
78316	Fluctuante	No conclusiones	
78317	Bajo - alto - bajo	Homogénea	
78318	Fluctuante	No conclusiones	
78319	Decreciente	Decreciente altamente significativa	2010
78320	Fluctuante	No conclusiones	
78321	Fluctuante	No conclusiones	
78322	Creciente	Creciente altamente significativa	2012
78323	Abrupta	Decreciente altamente significativa	2015
78324	Abrupta	Decreciente altamente significativa	2015
78325	Creciente	Creciente significativa	
78326	Bajo - alto - bajo	Homogénea	
78327	Bajo - alto - bajo	Homogénea	
78328	Abrupta	Decreciente significativa	2014
78329	Fluctuante	Homogénea	
78330	Bajo - alto - bajo	Homogénea	
78331	Bajo - alto - bajo	Homogénea	
78332	Fluctuante	No conclusiones	
78333	Bajo - alto - bajo	Homogénea	
78334	Fluctuante	Decreciente significativa	2008
78335	Abrupta	Decreciente significativa	2015
78337	Abrupta	Decreciente altamente significativa	2009
78338	Abrupta	Decreciente altamente significativa	2014
78339	Bajo - alto - bajo	No conclusiones	
78340	Fluctuante	Creciente significativa	2010
78341	Alto - bajo - alto	Decreciente altamente significativa	2010
78342	Fluctuante	No conclusiones	
78343	Fluctuante	No conclusiones	
78344	Fluctuante	No conclusiones	
78345	Decreciente	Decreciente altamente significativa	
78346	Fluctuante	Homogénea	
78347	Abrupta	Decreciente significativa	
78348	Decreciente	Decreciente altamente significativa	2015
78349	Alto - bajo - alto	Homogénea	
78350	Abrupta	Decreciente significativa	2015
78351	Abrupta	Homogénea	
78352	Abrupta	No conclusiones	
78353	Abrupta	Decreciente altamente significativa	2015
78354	Abrupta	Decreciente altamente significativa	2014
78355	Bajo - alto - bajo	Homogénea	
78356	Fluctuante	Homogénea	
78357	Decreciente	Decreciente altamente significativa	2015
78358	Abrupta	Decreciente altamente significativa	2015
78359	Fluctuante	No conclusiones	
78360	Fluctuante	Homogénea	
78361	Creciente	Creciente altamente significativa	
78362	Fluctuante	No conclusiones	
78363	Abrupta	Homogénea	
78364	Fluctuante	No conclusiones	

Estación	Descriptor	Carácter	Punto de cambio
78365	Abrupta	Decreciente altamente significativa	2015
78366	Medio -alto - bajo	Homogénea	
78368	Fluctuante	No conclusiones	
78369	Abrupta	Decreciente altamente significativa	2011
78370	Abrupta	Homogénea	
78371	Abrupta	Homogénea	
78372	Abrupta	Decreciente altamente significativa	2015
78373	Fluctuante	No conclusiones	
78374	Fluctuante	No conclusiones	
78375	Fluctuante	No conclusiones	
78376	Decreciente	No conclusiones	
78377	Decreciente	Homogénea	
78378	Abrupta	Homogénea	

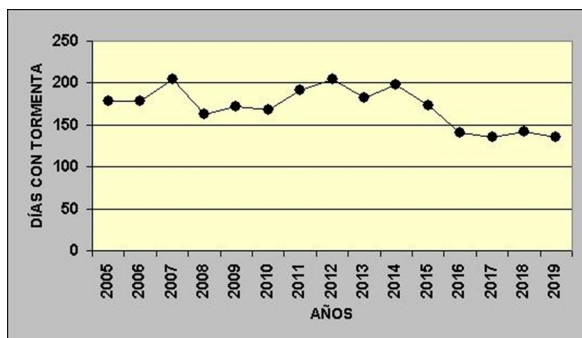


Figura 2. Marcha interanual del número de días con tormenta para la estación de Pinar del Río (78315).

et al., 2014a, c; Álvarez Escudero et al., 2019; Álvarez Escudero y Borrajero Montejo, 2021) ahora el 35% de las series presenta un carácter decreciente con un punto de cambio muy marcado alrededor del 2015, aunque no exista una causa que explique esto. Algunos autores han constatado también decrecimientos en otras regiones del planeta (Lolis, 2007; Valentí Pía et al., 2011) asociados al comportamiento de las temperaturas de la tierra y el mar.

Si representamos en un mapa el carácter de las series allí donde el análisis fue posible, se tiene lo que se muestra en la figura 3.

De la figura 3 se observa que las series decrecientes se encuentran dispersas por todo el territorio y solo se muestra un agrupamiento de crecientes entre las provincias de La Habana, Artemisa y Mayabeque. Las homogéneas abundan al centro de Matanzas y al sur de las provincias orientales.



Figura 3. Representación espacial del carácter de la tendencia de las series en estudio donde el análisis arribó a conclusiones.

Si se busca un agrupamiento en las formas de la marcha interanual se puede utilizar un dendrograma donde las variables sean el número de días con tormenta anual y los individuos las estaciones. El resultado de este análisis de cluster se representa en la figura 4.

Si se toma una distancia de enlace de 800 que cumple con que la distancia entre elementos de un mismo grupo sea menor que la distancia entre grupos o clústeres, se obtienen tres grupos. La representación de la marcha interanual promedio de número de días con tormenta para los tres grupos se representa en la figura 5.

De los tres grupos representados en la figura 5 el Grupo 1 que agrupa 14 estaciones tiene los valores más altos, pero a partir del 2015 sus valores descienden de forma abrupta y se ponen al nivel del Grupo 3. El Grupo 2 compuesto por 19 estaciones, aunque también presenta un descenso después del 2015 su comportamiento es más regular y los cambios menos pronunciados. El Grupo 3 que reúne 35 estaciones tiene valores similares a los del Grupo 2, pero a partir del 2015 los valores descienden de forma marcadamente abrupta. Para los tres grupos el año 2015 marca un punto de inflexión importante. La distribución espacial de las estaciones por grupos (figura 6) tampoco muestra un agrupamiento definido.

Por último, se hace un análisis de clúster similar al de la Figura 4 pero donde los individuos son los años y las variables los días con tormenta para cada estación. El dendrograma se representa en la figura 7.

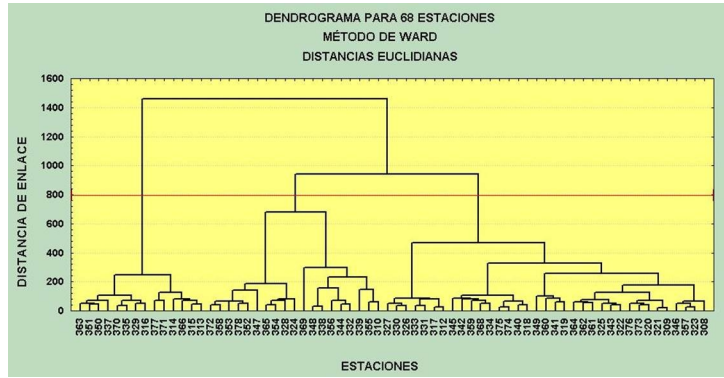


Figura 4. Dendrograma donde las estaciones son los individuos y las variables el número de días con tormenta por año.

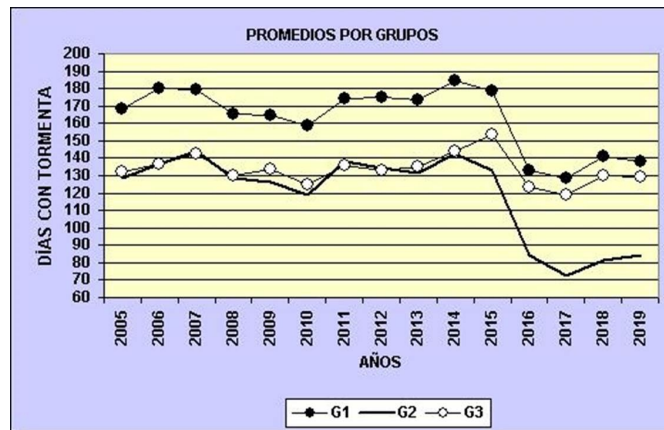


Figura 5. Marcha interanual promedio de número de días con tormenta para los tres grupos diferenciados por el análisis de clúster.

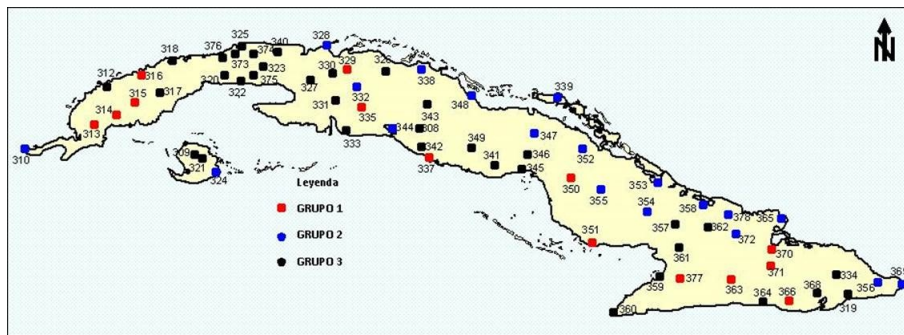


Figura 6. Distribución espacial de las estaciones clasificadas según los grupos por el análisis de clúster que se muestra en la figura 4.

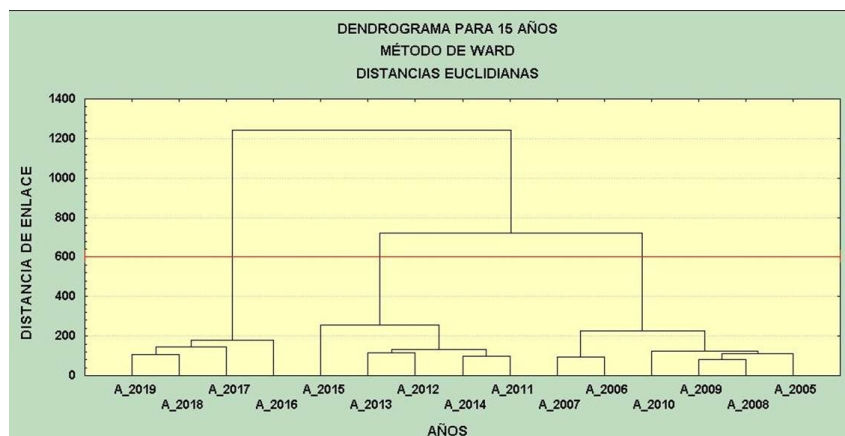


Figura 7. Dendrograma donde los años son los individuos y las variables el número de días con tormenta por estación.

Para el análisis por año se observa dos grandes grupos uno que abarca los 4 últimos años de la serie (2016 - 2019) que está muy bien diferenciado y que se corresponde en general con el descenso del número de días con tormenta para casi todas las estaciones. El otro grupo para la distancia de enlace de 600 se divide en dos grupos, uno que va de 2011 a 2015 donde los valores pueden ser mayores o menores según la estación y otro del comienzo de las series a 2010 donde el comportamiento es más regular.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis de las marchas interanuales del número de días con tormenta muestra que en el 35 % de las estaciones en estudio hay un indicativo del carácter decreciente de la actividad de tormentas.

De las estaciones en estudio solo cuatro presentan tendencia creciente y 21 son homogéneas.

El carácter de la tendencia no presenta un agrupamiento espacial a lo largo del archipiélago cubano.

Las series en estudio presentan un comportamiento decreciente a partir del año 2015 en casi todas las estaciones en estudio.

Se recomienda realizar estudios en serie específicas lo más largas posible y con información completa.

REFERENCIAS

- Álvarez Escudero, L., y Borrajero Montejo, I. (2014). Análisis de la marcha interanual de fenómenos meteorológicos para las tres estaciones que triangulan la provincia de La Habana, Cuba. *Ciencias de la Tierra y el Espacio*, 15(1), 12 - 22
- Álvarez Escudero, L., y Borrajero Montejo, I. (2021). Relación entre el crecimiento de tormentas y la temperatura para algunas estaciones con información adecuada para su gestión. *Revista Cubana de Meteorología*, 27(2). <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/558>
- Álvarez Escudero, L., Borrajero Montejo, I., y Bárcenas Castro, M. (2014). Análisis de la calidad de series largas de registros de código de estado del tiempo presente para las estaciones de Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 20(1), 3-9. <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/158>
- Álvarez Escudero, L., Borrajero Montejo, I., y Bárcenas Castro, M. (2014). Análisis de la marcha interanual de fenómenos determinados por el código de tiempo presente para las estaciones de Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 20(2), 56-69. <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/172>
- Álvarez Escudero, L., Borrajero Montejo, I., y Peláez Chávez, J. C. (2019). Relación entre el crecimiento de tormentas, la temperatura y los aerosoles para la estación Casablanca. *Revista Cubana de Meteorología*, 25(3), 404-411. <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/486>
- Álvarez Escudero, L., Montejo, I., Morales, R., Ferro, L., Llerena, R., Ramírez, C., Rojas Díaz, Y., y Gil, M. (2012). Estudio de la marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta para el territorio cubano. *Revista de Climatología*, 12, 1-21. <http://www.climatol.eu/rec/lim/reclim12a.pdf>
- Boccippio, D. J., Goodman, S. J., y Heckman, S. (2000). Regional Differences in Tropical Lightning Distributions. *Journal of Applied Meteorology*, 39(12), 2231-2248. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2001\)040%3C2231:rditld%3E2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2001)040%3C2231:rditld%3E2.0.co;2)
- Cecil, D. J., Buechler, D. E., y Blakeslee, R. J. (2014). Gridded lightning climatology from TRMM-LIS and OTD: Dataset description. *Atmospheric Research*, 135-136, 404-414. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.06.028>
- Cecil, D. J., Buechler, D. E., y Blakeslee, R. J. (2015). TRMM LIS Climatology of Thunderstorm Occurrence and Conditional Lightning Flash Rates. *Journal of Climate*, 28(16), 6536-6547. <https://doi.org/10.1175/jcli-d-15-0124.1>
- Christian, H. J., Blakeslee R. J., Boccippio, D. J., Boeck, W. L., Buechler, D. E., Driscoll, K. T., Goodman, S. J., Hall, J. M., Koshak, W. J., Mach, D. M., y Stewart, M. F. (2003). Global frequency and distribution of lightning as observed from space by the Optical Transient Detector. *Journal of Geophysical Research*, 108(D1). <https://doi.org/10.1029/2002jd002347>
- Collier, A. B., Bürgesser, R. E., y Ávila, E. E. (2013). Suitable regions for assessing long term trends in lightning activity. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 92, 100-104. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2012.10.012>
- De Pablo, F., y Rivas Soriano, L. (2002). Relationship between cloud-to-ground lightning flashes over the Iberian Peninsula and sea surface temperature. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 128(579), 173-183. <https://doi.org/10.1256/00359000260498842>
- DeRubertis, D. (2006). Recent Trends in Four Common Stability Indices Derived from U.S. Radiosonde Observations. *Journal of Climate*, 19(3), 309-323. <https://doi.org/10.1175/jcli3626.1>
- Finney, D. L., Doherty, R. M., Wild, O., Stevenson, D. S., MacKenzie, I. A., y Blyth, A. M. (2018). A projected decrease in lightning under climate change. *Nature Climate Change*, 8(3), 210-213. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0072-6>
- Lay, E. H., Jacobson, A. R., Holzworth, R. H., Rodger, C. J., y Dowden, R. L. (2007). Local time variation in land/ocean lightning flash density as measured by the World Wide Lightning Location Network. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 112(D13). <https://doi.org/10.1029/2006jd007944>

- Lolis, C. J. (2007). Climatic features of atmospheric stability in the Mediterranean region (1948-2006): spatial modes, inter-monthly and inter-annual variability. *Meteorological Applications*, 14(4), 361-379. <https://doi.org/10.1002/met.36>
- Middey, A., y Kaware, P. (2016). Disposition of Lightning Activity Due to Pollution Load during Dissimilar Seasons as Observed from Satellite and Ground-Based Data. *Climate*, 4(2), 28. <https://doi.org/10.3390/cli4020028>
- Naccarato, K. P., Pinto, O., y Pinto, I. R. C. A. (2003). Evidence of thermal and aerosol effects on the cloud-to-ground lightning density and polarity over large urban areas of Southeastern Brazil. *Geophysical Research Letters*, 30(13). <https://doi.org/10.1029/2003gl017496>
- Orville, R. E., Huffines, G. R., Burrows, W. R., Holle, R. L., y Cummins, K. L. (2002). The North American Lightning Detection Network (NALDN) - First Results: 1998-2000. *Monthly Weather Review*, 130(8), 2098-2109. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2002\)130%3C2098:tnaldn%3E2.0.co;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2002)130%3C2098:tnaldn%3E2.0.co;2)
- Pal, J., Chaudhuri, S., Chowdhury, A. S., y Bandyopadhyay, T. (2016). Cloud - Aerosol interaction during lightning activity over land and ocean: Precipitation pattern assessment. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 52(3), 251-261. <https://doi.org/10.1007/s13143-015-0087-0>
- Poveda, G., Amador, J., Ambrizzi, T., Bazo, J., Robelo González, E., Rubiera J., y Vicente Serrano, S. M. (2020). Tormentas y huracanes. En Moreno, J. M., Laguna-Defior, C., Barros, V., Calvo Buendía, E., Marengo, J. A. y Oswald, Ú. (Eds.), *Adaptación frente a los riesgos del cambio climático en los países iberoamericanos - Informe RIOCCADAPT* (351-384). McGraw-Hill
- Price, C. (2000). Evidence for a link between global lightning activity and upper tropospheric water vapour. *Nature*, 406(6793), 290-293. <https://doi.org/10.1038/35018543>
- Price, C., y Asfur, M. (2006). Can Lightning Observations be Used as an Indicator of Upper-Tropospheric Water Vapor Variability? *Bulletin of the American Meteorological Society*, 87(3), 291-298. <https://doi.org/10.1175/bams-87-3-291>
- Reeve, N., y Toumi, R. (1999). Lightning activity as an indicator of climate change. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 125(555), 893-903. <https://doi.org/10.1002/qj.49712555507>
- Sneyers, R. (1990) On the Statistical Analysis of Series of Observations. Technical Note No. 143, WMO No. 415, World Meteorological Organization, Geneva, 192 p. https://library.wmo.int/viewer/30743?medianame=wmo_415_#page=1&viewer=picture&o=bookmarks&n=0&q=
- Valentí Pia, M. D.; De la Torre Ramos, L., y Añel Cabanelas, J. A. (2011). Tendencias en la probabilidad de tormentas en el Suroeste de Europa, *ACT*, 2, 97-104
- Villarini, G., y Smith, J. A. (2013). Spatial and temporal variability of cloud-to-ground lightning over the continental U.S. during the period 1995-2010. *Atmospheric Research*, 124, 137-148. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.12.017>
- Virts, K. S., Wallace, J. M., Hutchins, M. L., y Holzworth, R. H. (2013). Highlights of a New Ground-Based, Hourly Global Lightning Climatology. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94(9), 1381-1391. <https://doi.org/10.1175/bams-d-12-00082.1>
- Williams, E. R. (2005). Lightning and climate: A review. *Atmospheric Research*, 76(1-4), 272-287. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2004.11.014>
- WMO. 1988. *Manual on codes*. WMO - No. 306, Volume 1, Sección D, Table 4677
- Yuan, T., Remer, L. A., Pickering, K. E., y Yu, H. (2011). Observational evidence of aerosol enhancement of lightning activity and convective invigoration. *Geophysical Research Letters*, 38(4), n/a-n/a. <https://doi.org/10.1029/2010gl046052>
- Zhao, P., Zhou, Y., Xiao, H., Liu, J., Gao, J., y Ge, F. (2017). Total Lightning Flash Activity Response to Aerosol over China Area. *Atmosphere*, 8(2), 26. <https://doi.org/10.3390/atmos8020026>