

Actualización de las marchas anual, diaria y distribución espacial de las tormentas eléctricas en Cuba



<https://cu-id.com/2377/v29n3e10>

Update of annual and daily cycles, and spatial distribution of thunderstorms in Cuba

✉ Lourdes Álvarez - Escudero*, ✉ Israel Borrajero -Montejo, ✉ Yanneyis Rojas-Díaz,
✉ Pedro Roura-Pérez, ✉ Yunisleydi Rodríguez-Díaz

Instituto de Meteorología. Apartado Postal 17032. CP 11700, La Habana, Cuba

RESUMEN: La caracterización del comportamiento de las tormentas eléctricas es un aspecto fundamental en la evaluación del nivel de riesgo y vulnerabilidad en un país o región. El objetivo del presente trabajo es actualizar los mapas de distribución espacial y el estudio de las marchas anual y diaria de ocurrencia de tormentas y días con tormenta para el periodo de información (2005 - 2019) a partir de la información del código de estado de tiempo presente y pasado obtenido de las estaciones meteorológicas de Cuba. La distribución espacial varió muy poco con respecto a estudios anteriores donde las series de análisis terminaban en 2016 y solo se acentuaron un poco los mínimos de actividad. Los máximos de ocurrencia se encontraron al sur de Pinar del Río, centro de las provincias Mayabeque y Matanzas, centro de Ciego de Ávila y regiones montañosas de la región oriental del país. La marcha anual muestra máximos en los meses de verano con máximo absoluto en agosto. La marcha diaria muestra mayor actividad en los horarios de la tarde con máximo entre las 16:00 y las 18:00 hora local.

Palabras clave: tormenta eléctrica, marcha anual, marcha diaria, distribución espacial.

ABSTRACT: The characterization of the behavior of thunderstorms is a fundamental aspect in the evaluation of the level of risk and vulnerability in a country or region. The objective of the present work is to update the maps of spatial distribution and the study of the annual and daily cycles of occurrence of storms and number of days with storms for the period 2005 - 2019, for which weather information code reports are available, present and past, obtained from weather stations in Cuba. The spatial distribution varied very little with respect to previous studies where the series of analyzes ended in 2016 and only the minima of activity were slightly accentuated. The maximum occurrences were found south of Pinar del Río, center of the Mayabeque and Matanzas provinces, center of Ciego de Ávila and mountainous regions of the eastern region of the country. The annual cycle shows maxima in the summer months with an absolute maximum in August. The daily cycle shows more activity in the afternoon with a maximum between 16:00 and 18:00 local time.

Key words: thunderstorm, annual course, daily course, spatial distribution.

*Autor para correspondencia: lourdes.alvarez@insmet.cu

Recibido: 12/05/2023

Aceptado: 26/08/2023

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, Yanneyis Rojas-Díaz, Pedro Roura-Pérez, Yunisleydi Rodríguez-Díaz. **Análisis de los datos:** Lourdes Álvarez-Escudero, Israel Borrajero -Montejo, Yanneyis Rojas-Díaz, Pedro Roura-Pérez, Yunisleydi Rodríguez-Díaz. **Investigación:** Lourdes Álvarez-Escudero, Israel Borrajero -Montejo, Yanneyis Rojas-Díaz, Pedro Roura-Pérez, Yunisleydi Rodríguez-Díaz. **Metodología:** Lourdes Álvarez-Escudero, Israel Borrajero -Montejo. **Supervisión:** Lourdes Álvarez-Escudero Israel Borrajero -Montejo. **Validación de los resultados:** Lourdes Álvarez-Escudero, Israel Borrajero -Montejo, Yanneyis Rojas-Díaz, Pedro Roura-Pérez, Yunisleydi Rodríguez-Díaz

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

En Cuba la fulguración constituye la primera causa de muerte por fenómeno natural y en varias zonas del país pueden producirse hasta 150 días con tormenta al año como promedio. Los estudios que caracterizan, tanto su marcha diaria como la marcha anual presentan especial interés para planificar actividades al aire libre o activar sistemas de protección donde se necesita un conocimiento sobre qué hora u horas del día, o meses del año, son aquellos en que las tormentas son más frecuentes. Asimismo la realización de mapas de distribución espacial de tormentas es materia de amplio estudio a nivel mundial, por la necesidad de elaborar, a partir de esta información, sistemas de protección contra descargas eléctricas.

Tradicionalmente se han usado 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). En Cuba, sin embargo no se cuenta con series largas de este tipo de información, por lo que los estudios de ocurrencia de tormentas se realizan a partir de los códigos de estado de tiempo presente y pasado reportados desde las estaciones meteorológicas de superficie.

Respecto a la marcha anual de las tormentas, el antecedente más abarcador en Cuba es el realizado por Lecha y colaboradores (1994) donde se presentan distribuciones espaciales de las tormentas para algunos meses y por estaciones. En 2006, Álvarez (Álvarez, 2006), realizó un estudio de la marcha anual a partir de información de tiempo presente que arrojó que las series de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas día a día, presentan máximos en los meses de verano y su marcha se diferencia entre las estaciones de la región occidental donde son unimodales y la región oriental donde son bimodales, muy parecidas a la marcha anual de los acumulados de precipitación. Ese estudio fue actualizado con resultados similares para series más largas de código de estado de tiempo presente (Álvarez y colaboradores, 2015; Álvarez-Escudero y Borrajero, 2016a). A partir de 2018 se realizaron nuevos estudios con series más completas que tenían en cuenta las observaciones de tiempo presente y tiempo pasado (García-Santos y Álvarez-Escudero, 2018; Álvarez-Escudero et al., 2020) y donde se reforzó el criterio de la mayoría de ocurrencia de tormentas en verano con máximo en julio.

Los estudios primarios de marcha diaria fueron realizados para localidades específicas del país (Alfonso, 1980; Alfonso y Florido, 1993; Lecha, et al., 1994). En estudios posteriores usando primero observaciones de código de estado de tiempo presente (Álvarez, 2006; Álvarez, et al., 2013; Álvarez-Escudero y Bo-

rrajero, 2016b) y posteriormente de tiempo presente y pasado (García-Santos y Álvarez-Escudero, 2018; Álvarez-Escudero, et al., 2021) se caracterizó a las tormentas como un fenómeno fundamentalmente vespertino con máximos de ocurrencia entre las 16:00 y las 19:00 hora local.

Los primeros estudios sobre distribución espacial de las tormentas fueron realizados para regiones específicas como Matanzas y la Isla de la Juventud (Alfonso, 1980; Alfonso y Florido, 1993). En 1994 (Lecha, et al., 1994) como parte del estudio del Clima de Cuba se presentó el primer mapa de número promedio anual de días con tormentas para todo el país elaborado a partir de 10 años de reportes de tormentas de alrededor de 60 estaciones meteorológicas. Este estudio arrojó máximos de ocurrencia en zonas montañosas e interiores llanas, con un máximo absoluto en la estación de Pinar de Mayarí con más de 140 días y mínimos de actividad en las regiones costeras con valores inferiores a 40 días con tormentas. La primera distribución espacial de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta y número promedio anual de días con tormenta, se realizó utilizando 25 años como promedio de registros de código de estado de tiempo presente reportado por las 68 estaciones meteorológicas activas en ese momento en el país (Álvarez, 2006; Álvarez et al., 2009). Allí se obtuvieron distribuciones semejantes a las obtenidas por Lecha y colaboradores (1994), pero se destacaba una zona de máxima actividad en la llanura Habana - Matanzas con 130 días promedio anual y como salida del estudio se tenía una rejilla con resolución de 4 kms, de valores interpolados de las variables asociadas a tormentas, sobre el territorio nacional. Después de estos trabajos primarios se han realizado dos actualizaciones del mapa de niveles cerámicos (Álvarez et al., 2012; Álvarez-Escudero y Borrajero Montejo, 2018) cambiando el periodo base y los métodos de interpolación para construir una rejilla regular de puntos de alta resolución a partir de los valores promedios en las estaciones. Todos estos trabajos se realizaron teniendo en cuenta el código de tiempo presente debido a que los registros estaban incompletos. Al asumir periodos más recientes, se pudo llegar a un compromiso entre la información faltante y el uso del estado del tiempo pasado para caracterizar las tormentas; así García-Santos y Álvarez Escudero (2018), lograron representar una nueva distribución teniendo en cuenta tiempo presente y pasado para las provincias de La Habana, Artemisa y Mayabeque. La última actualización fue lapublicada por Álvarez-Escudero y Borrajero-Montejo (2020) donde se obtuvo que la inclusión de los registros de código de tiempo pasado había provocado un crecimiento del 4% para la ocurrencia de observaciones con tormenta, de 40 días para el nivel cerámico y 7 para la desviación estándar con respecto a estudios anteriores, aunque la distribución en general era parecida con algunos cambios en puntos específicos.

El objetivo del presente trabajo es actualizar los mapas de distribución espacial y el estudio de las marchas anual y diaria de ocurrencia de tormentas y días con tormenta para el periodo 2005 - 2019 a partir de la información del código de estado de tiempo presente y pasado obtenido de las estaciones meteorológicas de Cuba.

MATERIALES Y MÉTODOS

La base de información para el presente estudio la constituyen los registros de código de estado de tiempo presente y pasado para 68 estaciones meteorológicas del territorio cubano, en el periodo 2005 - 2019 (15 años), que es el periodo con información más completa para ambos códigos, donde no hay sesgos ni mensuales ni horarios y las series son más actuales (Álvarez - Escudero et al., 2020). Los datos fueron tomados de la Base de Datos "Nueva_THOR" (Álvarez et al. 2012) a la que se le agregaron los registros correspondientes al periodo 2011 - 2019, obtenidos de la Base de Datos del Centro del Clima del INSMET. A estos registros agregados se le realizaron las debidas validaciones para lograr la uniformidad en la información. La distribución espacial de las estaciones meteorológicas se refleja en la figura 1.

Para la identificación del fenómeno tormenta eléctrica a partir del tiempo presente según la Tabla 4678, sobre "Tiempo presente, comunicado desde una estación meteorológica dotada de personal", del Manual de Claves (OMM, 2011) se seleccionaron los siguientes códigos: 17, 29, 91, 92, 95, 96, 97 y 99 y se refieren a la tormenta eléctrica con o sin lluvia, de cualquier intensidad a la hora de la observación o con anterioridad, mientras que para la identificación del fenómeno tormenta eléctrica a partir del código de estado de tiempo pasado se tomó según la Tabla correspondiente del Manual de Claves (OMM, 2011), donde solo se tendrá en cuenta el código "9", que identifica la tormenta pero no la cualifica.

En el caso de las marchas diarias y anuales de frecuencia de observaciones con tormenta y de días con tormenta en el año, además de obtener el comportamiento medio, se hicieron agrupamientos de esta-

ciones meteorológicas mediante análisis de cluster, lo que permite revelar detalles del comportamiento de estaciones o grupos de estaciones que pueden quedar enmascarados en las marchas dadas por valores medios.

En el caso del estudio de la marcha anual las variables para trabajar fueron el por ciento de ocurrencia de observaciones con tormentas obtenido al dividir el número de casos de códigos relativos a tormentas entre el número de observaciones válidas o realizadas y expresarlo en por ciento y el número de días con tormenta que se contabiliza cuando al menos hubo una observación con tormenta en el día.

Para el análisis de la marcha anual de las tormentas por estaciones se realizaron los siguientes pasos:

- Se calculó el por ciento de ocurrencia de observaciones con tormentas por meses a partir de los registros de tiempo presente y pasado.
- Se calculó el número de días con tormenta por meses para cada estación y se dividió por el número de años del periodo 2005 - 2019 (15 años) para calcular un promedio.
- Como la mayor diferencia entre los valores por meses y estaciones está en la mayor o menor ocurrencia del fenómeno, se calculó por meses y para cada estación el por ciento de ocurrencia y el número promedio de días con tormenta normalizada, lo que permitió analizar la marcha más por su forma que por la ocurrencia o no del fenómeno.
- A partir del por ciento de ocurrencia o número de días por meses para cada una de las 68 estaciones en estudio, se realizó un análisis de cluster jerárquico mediante la evaluación de un dendrograma que considera a las estaciones como variables y a los meses como individuos. Aquí se utilizaron distancias euclidianas y método de enlace simple para identificar agrupamientos por meses en el comportamiento de la marcha anual. Posteriormente se realizó otro análisis de cluster tomando los valores mensuales como variables y las estaciones como individuos y también se usaron distancias euclidianas, pero como método de enlace el de va-



Figura 1. Localización de las estaciones meteorológicas de superficie utilizadas en el estudio.

rianza mínima o de Ward que es muy robusto para encontrar asociaciones entre grupos y que permitió una mayor definición de las asociaciones que se formaban. La distancia de enlace asumida para la diferenciación de grupos se escogió de forma tal que la espacio entre elementos de un mismo grupo sea menor que el que existe entre grupos o clusters.

- e. Se graficaron las marchas anuales promedio por cada grupo para establecer sus diferencias.
- f. A partir de los grupos de estaciones meteorológicas obtenidos se buscó alguna regionalización de los comportamientos anuales mediante su representación en un mapa.

Para el análisis de la marcha diaria de las tormentas por estaciones se realizaron los siguientes pasos:

- a. Se calculó el por ciento de ocurrencia de observaciones con tormentas por horas del día a partir de los registros de tiempo presente y pasado. Para evaluar el aporte del tiempo pasado se realizó el análisis de dos formas, primero asociando los por cientos a las horas de observación trihorarias establecidas y segundo poniendo en horas distintas el aporte del tiempo presente y el tiempo pasado, donde este último se asociaba a las 02, 05, 08, 11, 14, 17, 20 y 23 hora local.
- b. Como la mayor diferencia entre los valores por horas y estaciones está en la mayor o menor ocurrencia del fenómeno, se calculó por horas y para cada estación el por ciento de ocurrencia normalizada, lo que permitió analizar la marcha más por su forma que por la ocurrencia o no del fenómeno.
- c. Se realizó un análisis de cluster similar al utilizado para la marcha anual, pero donde se consideraron primero a las estaciones como variables y a los horarios como individuos y posteriormente se realizó tomando los valores horarios como variables y las estaciones como individuos.
- d. Se graficaron las marchas diarias promedio por cada grupo para establecer sus diferencias.
- e. A partir de los grupos de estaciones obtenidos se buscó alguna regionalización de los comportamientos horarios mediante su representación en un mapa.

Para el estudio de la distribución espacial las variables de trabajo fueron el por ciento de ocurrencia de observaciones con tormentas, el número de días con tormenta o nivel cerámico y la desviación estándar del número promedio anual de días con tormenta.

Las variables en estudio se representaron como mapas de isóneas, siguiendo el método de interpolación dado por [Álvarez y colaboradores \(2012\)](#), con los cambios y adaptaciones sugeridos por [Álvarez-Escudero y Borrajero-Montejo \(2018\)](#), manteniendo como las bases de los campos de referencia el relieve

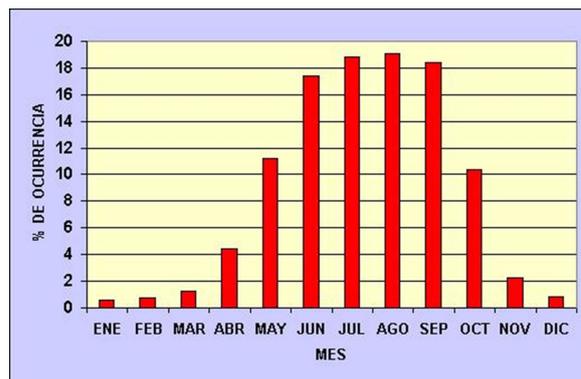


Figura 2. Marcha anual promedio para todas las estaciones en estudio del por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta caracterizadas por código de tiempo presente y pasado, con periodo de análisis 2005 - 2019.

del terreno y la distancia a la costa con una resolución de 30 segundos de grado (0.92 km) y usando los datos de la base GEBCO ([GEBCO, 2003](#)).

A partir de los valores de por ciento de ocurrencia de observaciones con tormentas y número promedio anual de días con tormentas en las estaciones se obtuvieron los mapas de estas dos variables en una rejilla que abarca todo el territorio cubano (entre 19.8 y 23.2° de latitud norte y 74.1 y 84.9 de longitud oeste) y un mapa de desviación estándar con respecto a la media para la misma rejilla. Las representaciones se realizaron para una carta base a escala de 1:250000 que abarca todo el Territorio Nacional y que se redujo según el formato de impresión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Marcha anual

El por ciento de ocurrencia promedio mensual de observaciones con tormenta para todas las estaciones en estudio se muestra en la [figura 2](#). Aquí se observa que los mayores valores cercanos al 20% del total de observaciones se agrupan en los meses de junio a septiembre con el máximo en agosto. Los meses de mayo y octubre muestran valores intermedios (alrededor del 10%) y de enero a abril, noviembre y diciembre los valores son bajos con un mínimo absoluto en enero (0.5%). Un estudio anterior realizado por [Álvarez-Escudero y colaboradores \(2020\)](#) para todas las estaciones del país en el periodo 2005 - 2016, muestra valores de ocurrencia más altos, con el máximo en septiembre. La diferencia se corresponde con la disminución de los reportes que presentan los 3 últimos años incluidos en este estudio.

El análisis de cluster en que se utilizan las estaciones como variables y los meses como individuos ([figura 3](#)) muestra una marcada división en 2 grupos que representan los meses de máxima ocurrencia (mayo - octubre) y los meses de baja ocurrencia (noviembre - abril). En el estudio anterior, ([Álvarez-Escudero,](#)

et al., 2020), con datos hasta 2016, los meses de mayo y octubre formaban un tercer grupo muy bien definido, como meses de transición, en este caso forman un subgrupo menos separado, dentro de los meses de valores altos.

Cuando se usan los valores mensuales como variables y las estaciones como individuos se obtiene lo que refleja la figura 4. Esta figura muestra dos grupos bien definidos para una distancia de enlace de 3.0, mucho mayor que la distancia entre elementos del mismo grupo. Los valores promedio normalizados por cada grupo de por ciento de observaciones con tormenta se muestran en la figura 5. A diferencia de lo obtenido por Álvarez (2006), Álvarez y colaboradores (2015) y Álvarez-Escudero y Borrajero (2016a), y coincidiendo con Álvarez-Escudero y colaboradores (2020), el contraste entre grupos no se basa aquí en el carácter unimodal o bimodal de la marcha (donde se ve un decrecimiento relativo en los meses de julio y agosto), sino que el Grupo I presenta valores similares entre junio y agosto con un máximo absoluto en septiembre y meses de transición (mayo y octubre) con por cientos altos de ocurrencia y el Grupo II presenta máximos similares de ocurrencia en julio y agosto y por cientos más bajos en los meses de transición. Esta diferencia podría deberse a que el periodo de estudio es distinto en todas las investigaciones realizadas, además hay un aporte significativo en el conteo de tormentas dado por las observaciones de tiempo pasado y que para el periodo 1989 - 2010 se había constatado un crecimiento significativo de la ocurrencia de tormentas clasificadas por el código de tiempo presente para más del 50 % de las estaciones en estudio (Álvarez et al., 2014).

La distribución espacial de los grupos definidos en el análisis de cluster (figura 6) muestran un agrupamiento bastante definido donde las estaciones que pertenecen al Grupo I se localizan en su mayoría en la parte oriental del país desde la provincia de Ciego de Ávila y las que integran el Grupo II son generalidad en las regiones occidental, oeste de la parte central y el Municipio Especial Isla de la Juventud.

La marcha anual del número promedio de días con tormenta se representa en la figura 7 y su forma es

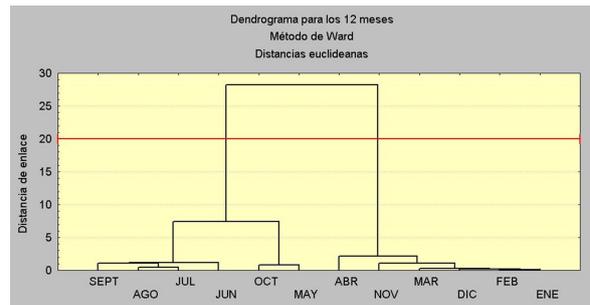


Figura 3. Dendrograma para la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas mensuales en el periodo 2005 - 2019, teniendo como individuos los meses y como variables las 68 estaciones en estudio.

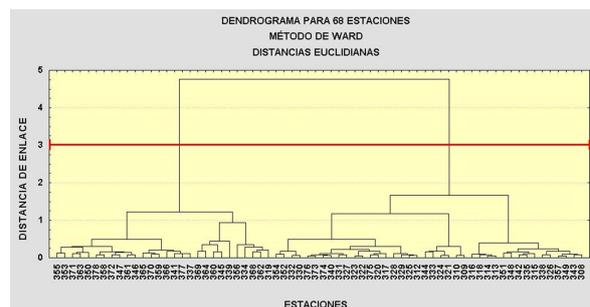


Figura 4. Dendrograma del por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta, en el periodo 2005 - 2019, teniendo como individuos las 68 estaciones en estudio y como variables los valores mensuales.

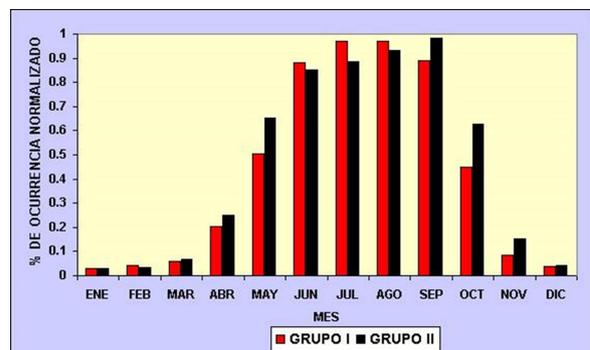


Figura 5. Marcha anual de los valores promedio normalizados por cada grupo definido por el análisis de cluster de por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta para el periodo 2005 - 2019.

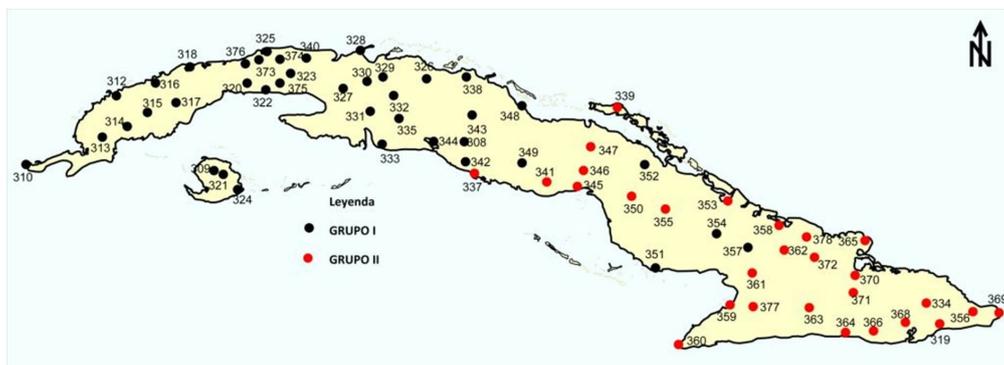


Figura 6. Distribución espacial de las estaciones pertenecientes a los grupos definidos en el análisis de cluster representado en la figura 4.

muy parecida a la del Grupo II del dendrograma reflejado en la **figura 4** (ver forma de la **marcha en la figura 5**) con máximo de días por encima de 20 y máximo absoluto en julio y agosto con 24 días. Los meses de transición presentan valores altos con 15 días y el mínimo está en los meses de diciembre, enero y febrero con solo un día.

El análisis de cluster realizado de la misma forma que lo hecho para el por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta arroja dos grupos (**figura 8**), uno de 23 estaciones (Grupo I) con mayor número de días entre junio y septiembre y máximo absoluto en julio (ver **figura 9**) y otro con las restantes estaciones (Grupo II) que también presenta mayor cantidad de días con tormenta entre junio y septiembre pero con máximo absoluto en agosto y donde los meses de transición presentan altos valores de días promedio.

La distribución espacial de las estaciones pertenecientes a cada grupo se muestran en la **figura 10** y refleja que las estaciones del Grupo I, que son minoría, se encuentran en el occidente, específicamente al norte de Pinar del Río, La Habana, Artemisa, Mayabeque y el oeste de Matanzas, mientras que las del grupo II se extienden desde Matanzas hasta el extremo oriental del país.

En general las marchas anuales del número promedio anual de días y por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta son similares, con valores máximos en verano entre junio y septiembre.

Marcha diaria

La marcha diaria del por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta promedio para todas las estaciones en estudio se muestra en la **figura 11**. Aquí se observa como con la incorporación de lo aportado por el código de tiempo pasado, en los plazos cubiertos por éste, (las 2 horas anteriores a la hora de la observación) se reportan más casos de tormentas que en los horarios reglamentarios cubiertos por el tiempo presente, ya que éstos sólo cubren la última hora. El plazo horario con más reportes es el de las 16 horas, con 17.13% de observaciones reportando tormentas mientras que el bihorario con más reportes es el de las 17 - 18 horas, con 31.42%, también el de las 14 - 15 mues-

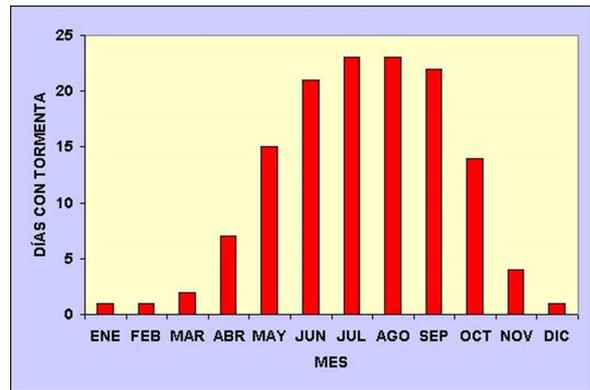


Figura 7. Marcha anual del número promedio de días con tormenta, caracterizadas por código de tiempo presente y pasado, promedio para todas las estaciones en estudio con periodo de análisis 2005 - 2019.

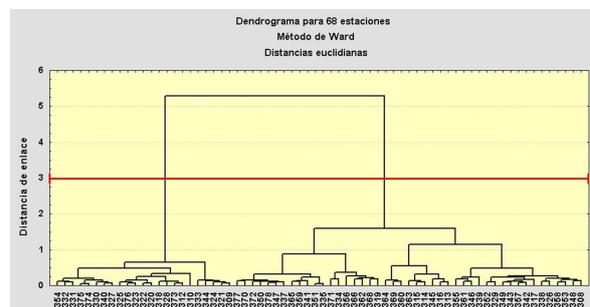


Figura 8. Dendrograma del número de días con tormenta, en el periodo 2005 - 2019, teniendo como individuos las 68 estaciones en estudio y como variables los valores mensuales.

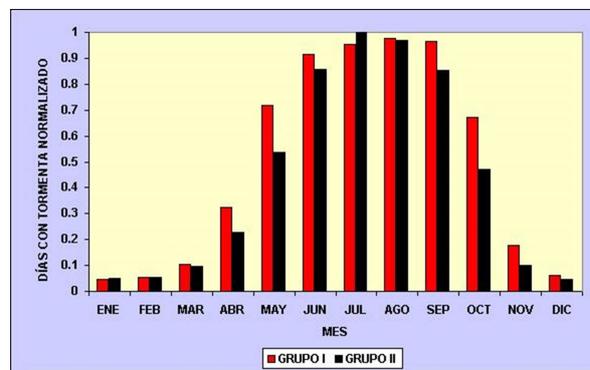


Figura 9. Marcha anual de los valores promedio normalizados por cada grupo definido por el análisis de cluster de número promedio de días con tormenta para el periodo 2005 - 2019.

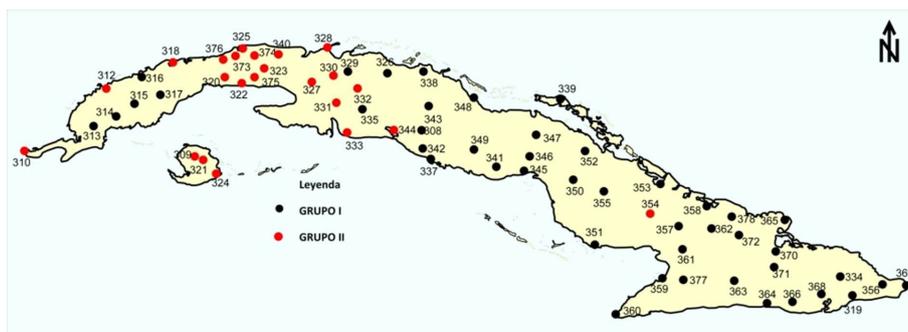


Figura 10. Distribución espacial de las estaciones pertenecientes a los grupos definidos en el análisis de cluster del número promedio normalizado de días con tormenta por meses en el periodo 2005 - 2019.

tra valores altos de 24.2%. En general, tanto para los plazos horarios como para los bihorarios, el número de reportes disminuye para los horarios anteriores y posteriores, con un incremento aislado en el plazo 23 - 24 hasta 13.68%.

Si se realiza un análisis de cluster a partir de los porcentajes de ocurrencia de observaciones con tormenta normalizados, contabilizados a partir de los registros de tiempo presente y pasado, teniendo como variables los horarios de observación y como individuos las estaciones en estudio, se obtiene un dendrograma como el que se observa en la figura 12, que revela tres grupos bien definidos. En la figura 13 se muestran las marchas diarias promedio de cada grupo y en la figura 14, la distribución espacial de las estaciones comprendidas en cada grupo

El grupo I tiene las frecuencias de reportes mas bajas antes de los plazos de máxima ocurrencia (14 - 15, 16 y 17 - 18), después de estos horarios tiene porcentajes intermedios entre los de los grupos II y III. El grupo II es el que tiene mayores valores fuera de los plazos de máxima ocurrencia, con excepción de las 19 horas. El grupo III tiene valores intermedios entre los de los grupos I y II antes del horario máximo, después de éstos presenta los menores porcentajes. En el mapa de la figura 14 se observa que el grupo I está desplegado principalmente desde la región central hasta La Habana, Mayabeque y Artemisa al oeste y hasta Las Tunas y Granma al este. El grupo II, con el menor número de estaciones, se distribuye principalmente en la Isla de la Juventud y en estaciones próximas a las costas, como Cabo Cruz (360), Maisi (369), Playa Girón (333), Cayo Coco (339) o Caibarién (348). El grupo III se concentra en los extremos este y oeste de la Isla, en La Habana, Artemisa y Pinar del Río, y Holguín, Santiago de Cuba y Guantánamo. Esta distribución no se diferencia sustancialmente de la obtenida con la serie de datos hasta 2016 presentada por Álvarez-Escudero y colaboradores (2021).

Distribución espacial

La distribución espacial del porcentaje de ocurrencia de observaciones con tormenta se muestra en la

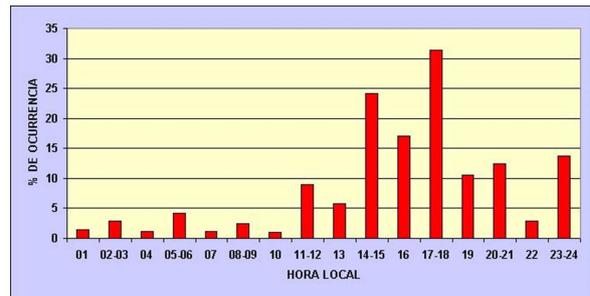


Figura 11. Marcha diaria del por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta promedio para todas las estaciones en estudio en el periodo 2005 - 2019.

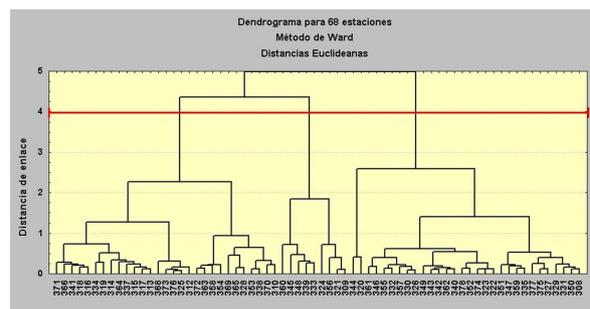


Figura 12. Dendrograma para los porcentajes de ocurrencia de observaciones con tormenta normalizados, contabilizados a partir de los registros de tiempo presente y pasado, teniendo como variables las estaciones en estudio y como individuos los horarios de observación. Aquí el Grupo I lo constituyen las estaciones entre la 344 y la 308 de la abscisa del dendrograma el Grupo II aglutina las estaciones entre la 360 y la 309 y el Grupo III de la 371 a 310.

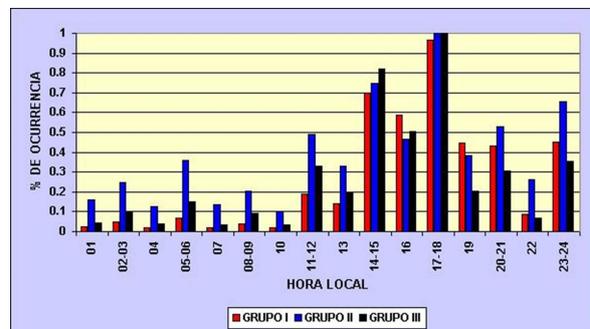


Figura 13. Marcha diaria promedio para las estaciones que integran cada grupo de los definidos en el dendrograma de la figura 12.

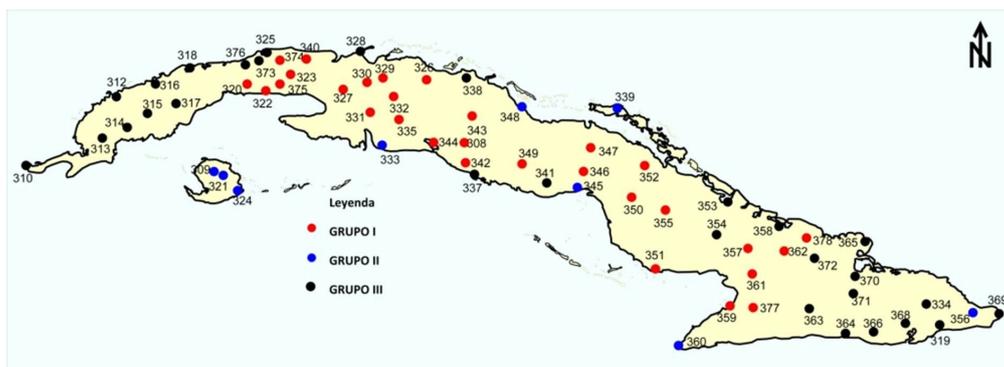


Figura 14. Representación espacial de las estaciones que integran cada grupo de los definidos en el dendrograma de la figura 12.

figura 15, la del número medio de días con tormenta reportada al año en la figura 16 y la desviación estándar de la variable anterior se muestra en la figura 17. Los mapas de por ciento de ocurrencia y número de días con tormenta al año (figuras 15 y 16) guardan cierta semejanza morfológica; en ambos casos hay valores altos hacia el suroeste de Pinar del Río, que disminuyen suavemente hacia Artemisa y La Habana. Entre Mayabeque y Matanzas hay una zona de valores ligeramente mayores que se prolonga por el norte de Matanzas. Hacia el centro de esta provincia hay una disminución definida por la estación de Colón y hacia el sureste, en Cienfuegos, un aumento asociado a la estación de Aguada de Pasajeros. En general en esta sección de la isla los valores tienden a ser mayores hacia el interior del territorio que cerca de las costas, pero más al este la estación de Sancti Spiritus provoca una zona de disminución desde las costas hacia el centro. La estación de Florida, mas al este refleja un aumento tierra adentro que se vuelve a invertir con los

mínimos de las estaciones de Camaguey y Palo Seco. En la región oriental se observa una zona de valores altos en el entorno de las estaciones de Veguitas, Jucaquito y Manzanillo, en la provincia Granma. En esta región también se observan valores mayores hacia el interior del territorio que cerca de las costas.

El mapa de la desviación estándar del número de días con tormentas en el año (figura 17) refleja cuán cercanos o alejados del valor medio han sido los valores de cada año en el período considerado. En el intervalo definido entre el valor medio menos la desviación estándar y el valor medio mas la desviación estándar se encuentra el número de días con tormenta para un año arbitrario con aproximadamente un 67% de probabilidad. En las zonas con valores más altos de la desviación estándar localizadas al norte de Ciego de Ávila y en Nuevitas es mas probable encontrar años con valores notablemente más altos, o más bajos que el número de días con tormenta promedio anual.

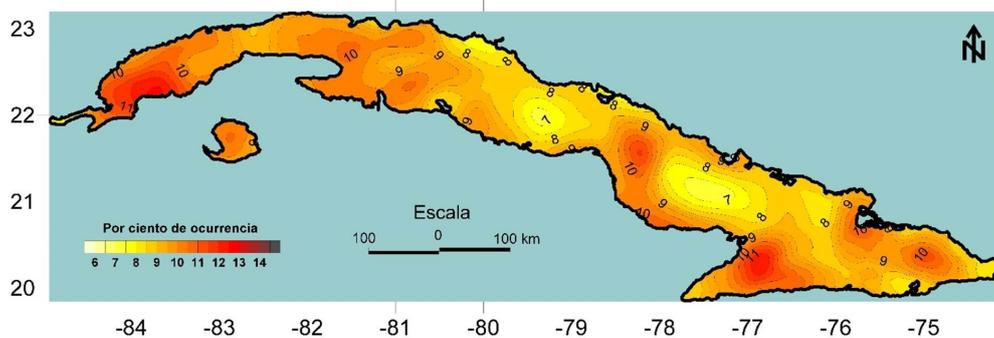


Figura 15. Distribución espacial del por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta para Cuba (carta base escala 1:250000).

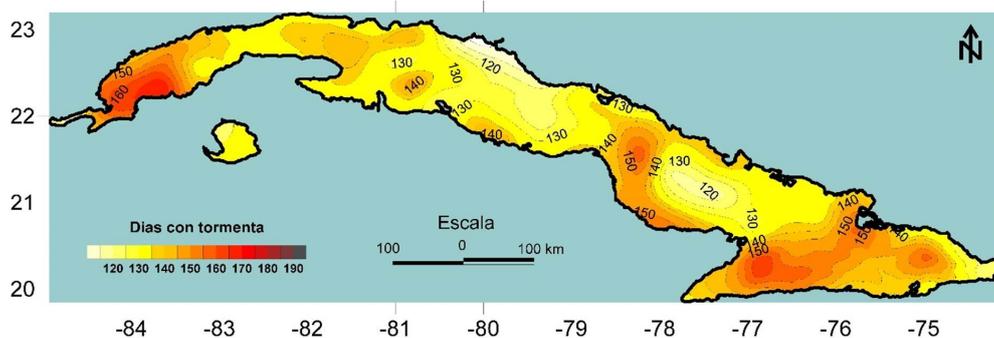


Figura 16. Distribución espacial del número promedio anual de días con tormenta (nivel cerámico) para Cuba (carta base escala 1:250000).

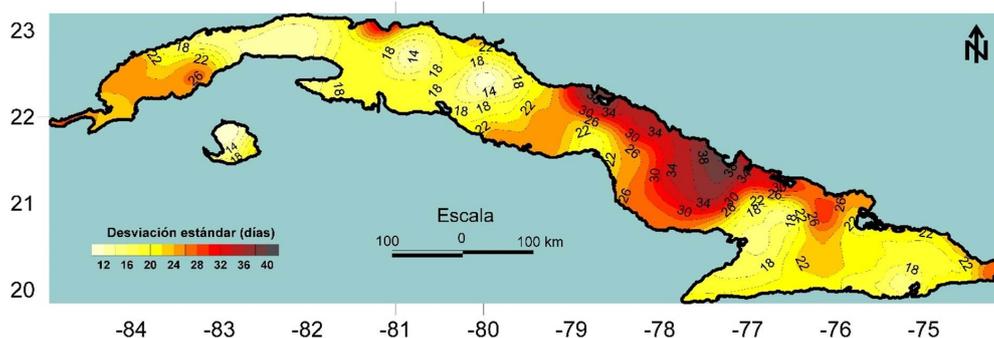


Figura 17. Distribución espacial de la desviación estándar de la series de días con tormenta para Cuba (carta base escala 1:250000).

En los dos primeros mapas (figuras 15 y 16) se mantiene en general la forma de la distribución espacial obtenida por Álvarez-Escudero y Borrajero-Montejo (2020), con datos hasta 2016, aunque los valores ahora son menores y en el mapa de la desviación estándar, por el contrario, se tienen valores más altos. Esto es consistente con la disminución de reportes observada en los tres años adicionados en este estudio.

CONCLUSIONES

El por ciento de ocurrencia promedio de observaciones con tormenta para todas las estaciones de Cuba muestra máximos cercanos al 20% del total de observaciones en los meses de verano y con máximos absolutos para julio y agosto.

La temporada de mínima actividad de frecuencia de observaciones con tormenta abarca de enero a abril, noviembre y diciembre con un mínimo absoluto de 0.58% en enero.

Por su distribución las marchas anuales de por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta presentan dos comportamientos, uno que muestra máximos en julio, característico de la mitad occidental del país y otro con máximo absoluto en agosto, característico de la mitad oriental.

La marcha anual del número promedio de días con tormenta muestra máximos de ocurrencia en verano por encima de los 20 días y máximo absoluto en julio y agosto con 23 días.

Las marchas anuales del número promedio de días con tormenta muestran diferencias en sus formas entre las que presentan máximo absoluto en julio características de la región occidental y las que presentan máximo absoluto en agosto, características de la región central y oriental del país.

La mayor cantidad de reportes de observaciones con tormenta ocurre entre las 14 y las 19 hora local para todas las estaciones en estudio, con los valores disminuyendo hacia los plazos anteriores y posteriores. En el plazo de las 23 - 24 horas hay un ligero incremento de casos.

La marcha diaria de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta permite agrupar las estaciones en tres conjuntos con rasgos comunes: un primer grupo tiene valores muy bajos fuera de los horarios de máximo y es característico de la zona central de la isla, desde Mayabeque hasta Las Tunas; el segundo tiene valores relativamente altos fuera de los horarios de máximo, comprende un conjunto pequeño de estaciones que se distribuyen casi por completo en la Isla de la Juventud y en zonas próximas a las costas y un tercer grupo que marcha entre los mencionados anteriormente en los horarios que preceden al máximo de ocurrencia, donde tiene los valores más altos de la muestra y está compuesto por estaciones localizadas hacia los extremos oriental y occidental del país.

El por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta y el número de días con tormentas en el año tienen distribuciones semejantes, independientemente de la naturaleza diferente de cada variable. Presenta zonas de máximo al sur de Pinar del Río con énfasis en la zona de la estación de San Juan y Martínez, al centro de Matanzas y Mayabeque con un marcado crecimiento de las costas hacia el interior, el centro y sur de la provincia Ciego de Ávila, que se extiende al sur de Camagüey y en zonas montañosas de las provincias Granma, Santiago de Cuba, Guantánamo y Holguín.

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.; Borrajero, 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 cubano". *Revista Cubana de Meteorología*, 15(1), 14-22. Recuperado a partir de <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/121>.
- Álvarez, L.; Borrajero, 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, ISSN: 0864-151X. Recuperado a partir de <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/49>.
- Álvarez, L, Borrajero, I, Álvarez, R, Rivero, I, Carnesoltas, M, Rojas Y. (2013). "Estudio de la marcha diaria de las series de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta". *Ciencias de la Tierra y el Espacio*, 14(1): 5- 13, ISSN 1729-3790.
- Álvarez-Escudero, L.; Borrajero, I. & Barcenás, 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, ISSN: 0864-151X. Recuperado a partir de <http://www.insmet.cu/contenidos/biblioteca/revistas/2014/n2/6.pdf>.

- Álvarez, L.; Borrajero, I. & Álvarez, R. 2015. "Estudio de la marcha anual de las series de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas". *Revista Cubana de Meteorología*, 21(2): 3-15, ISSN: 0864-151X. Recuperado a partir de <http://www.insmet.cu/contenidos/biblioteca/revistas/2015/n2/01.pdf>.
- Álvarez-Escudero, L. & Borrajero, I. (2016a). "Caracterización de la marcha anual de fenómenos meteorológicos en Cuba, clasificados según el código de tiempo presente". *Revista Cubana de Meteorología*, 22(1), 3-28. Recuperado a partir de <http://www.insmet.cu/contenidos/biblioteca/revistas/2016/n1/01.pdf>
- Álvarez-Escudero, L., Borrajero, I. (2016b). "Estudio de la marcha diaria de fenómenos meteorológicos clasificados según el código de tiempo presente". *Cienc. Tierra y Esp.*, 17(2): 145-159, ISSN 1729-3790. Recuperado a partir de <http://www.iga.cu/publicaciones/revista/ctye17no2-art3.html>.
- Álvarez-Escudero, L. & Borrajero-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. Recuperado a partir de <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/263/303>.
- Álvarez-Escudero, L., Borrajero-Montejo, I. 2020. "Actualización del mapa de niveles ceráunicos de Cuba". *Revista Cubana de Meteorología*, 26(2). Recuperado a partir de <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/508/840>, ISSN: 2664-0880.
- Álvarez-Escudero, L., Borrajero-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). Recuperado a partir de <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/523/884>, ISSN: 2664-0880.
- Álvarez-Escudero, L., Borrajero-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) Recuperado a partir de <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/549/1034>, ISSN: 2664-0880
- 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](https://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](https://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](https://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. Recuperado a partir de <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/426>.
- GEBCO. 2003. "Digital Bathymetry Atlas". Published by the British Oceanographic Data Center, under the joint auspices of the Intergovernmental Oceanographic Commission and the International Hydrographical Organization, with founding provided by the Environment Research Council (update May 2009).
- 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>
- 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).