

Comportamiento del curso interanual de tormentas eléctricas para estaciones que triangulan la Zona de Desarrollo Mariel



<https://cu-id.com/2377/v28n4e09>

Interannual course of thunderstorms occurrence at stations encompassing Mariel Development Zone

✉ Nayirah Elissalt Ramos^{1*}, ✉ Lourdes Álvarez-Escudero²

¹Centro de Pronósticos. Instituto de Meteorología, Apartado Postal 17032. CP 11700. Habana 17. La Habana. Cuba.

²Centro de Física de la Atmósfera. Instituto de Meteorología, Apartado Postal 17032. CP 11700. Habana 17. La Habana. Cuba

RESUMEN: La Zona Especial de Desarrollo Mariel es un área de interés para el avance económico de Cuba; sin embargo, como todo el archipiélago cubano, esta área está expuesta a tormentas eléctricas que accionan en contra de las maniobras portuarias y de la infraestructura del lugar. El objetivo de esta investigación fue caracterizar el comportamiento de la marcha interanual de la ocurrencia de tormentas eléctricas en tres estaciones meteorológicas que triangulan la Zona de Desarrollo Mariel. Además, se realizó un análisis de marcha interanual para otras variables meteorológicas asociadas al comportamiento de la tendencia de las tormentas eléctricas. La base fundamental de información para el estudio la constituyeron los registros de código de estado de tiempo presente y pasado para las tres estaciones meteorológicas en análisis, en el periodo 1989 - 2019. El trabajo concluyó que las series de registros de código de estado de tiempo pasado y presente para las estaciones que triangulan la Zona Especial de Desarrollo Mariel presentan diferente calidad, siendo Casablanca y Bahía Honda excelentes y la marcha interanual del por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta presentó comportamientos diferentes, así la de Bahía Honda fue homogénea, Casablanca fue creciente altamente significativa y Bauta fue decreciente altamente significativa. El comportamiento interanual de la ocurrencia de brumas, de temperaturas iguales o mayores de 30 ° C y las temperaturas medias, no tuvieron una relación definida y por tanto no explicaron el comportamiento de la marcha interanual del por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta para dichas estaciones.

Palabras claves: marcha interanual, tormentas eléctricas, tiempo pasado, tiempo presente, tendencia.

ABSTRACT: The Mariel Special Development Zone is an area of interest for advancement economic of Cuba; However, like the entire Cuban archipelago, this area it is exposed to electrical storms that act against the port maneuvers and the infrastructure of the place. The objective of this research is to characterize the behavior of the inter-annual march of the occurrence of electrical storms in three meteorological stations that triangulate the Mariel Development Zone. In addition, an inter-annual march analysis is carried out for other meteorological variables associated with the behavior of the thunderstorm trend. The fundamental information base for the study is constituted by the current and past weather code records for the three meteorological stations under analysis, in the period 1989 - 2019. The work concludes that the series of weather code records past and present for the stations that triangulate the Mariel Special Development Zone present different quality, being Casablanca and Bahía Honda excellent and the interannual progress of the percentage of occurrence of observations with storms presents different behaviors, thus that of Bahía Honda is homogeneous, Casablanca it is highly significant increasing and Bauta is highly significant decreasing. The interannual behavior of the occurrence of haze, of temperatures greater or equal than 30 ° C and the average temperatures, do not have a defined relationship and therefore do not explain the behavior of the interannual march of the percent of occurrence of observations with storm for these stations.

Keywords: Interannual course, thunderstorms, present weather, past weather, trend.

INTRODUCCIÓN

Las tormentas eléctricas son un fenómeno cotidiano en las zonas tropicales, con máximos de ocurrencia en el verano y en horas de la tarde (OMM, 1956; Changnon, 1988; Dai, 2001a; 2001b). Las tormentas eléctricas se caracterizan por la ocurrencia de descargas, que pueden traer tanto efectos beneficiosos como la creación de compuestos de nitrógeno

en la atmósfera o el mantenimiento del equilibrio del circuito eléctrico global, como muy perjudiciales a saber, la muerte de personas por fulguración y serios daños en los sectores eléctrico, de las comunicaciones y el transporte, además de ser una causa natural de la ocurrencia de incendios forestales. Todo lo antes planteado resalta la importancia de la caracterización climática de las tormentas con vistas a desarrollar medios de protección y salvaguardar vidas humanas.

*Autor para correspondencia: Nayirah Elissalt Ramos. E-mail: nayirah.elissalt@insmet.cu

Recibido: 16/11/2021

Aceptado: 15/09/2022

Uno de los aspectos climáticos que se estudian, es el comportamiento de la marcha interanual de las tormentas para diferentes regiones del planeta.

Varios autores en diferentes lugares del mundo (Boccippio et al., 2000; Christian et al., 2003; DeRupertis, 2006; Lay et al., 2007; Collier et al., 2013; Villarini & Smith, 2013; Pal et al., 2016) han reportado crecimiento de la actividad de tormentas y en la actualidad se estudia la relación entre la ocurrencia de descargas y el cambio climático (Reeve & Toumi, 1999; Romps et al., 2014; Declan et al., 2018). Otros autores de forma más puntual han encontrado decrecimiento de la actividad de tormentas (Lolis, 2007; Valentí Pia et al., 2011). Estas tendencias crecientes o decrecientes de la ocurrencia de tormentas y sus descargas se asocian 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 & Rivas Soriano, 2002; Naccarato et al., 2003; Williams, 2005, Price & Asfur, 2006; Yuan et al., 2011; Middey & Kaware, 2016; Pal et al., 2016; Zhao et al., 2017).

En Cuba también se ha constatado (Álvarez 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 la variable de la que se poseía la información más completa (Álvarez et al., 2014b). Posteriormente y utilizando datos de tiempo presente y pasado de la estación Casablanca en La Habana y para el periodo 1972 - 2016, Álvarez-Escudero y colaboradores (2019) encontraron que la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas había crecido en un 5%, mostrando tendencia creciente altamente significativa. También se constató que las temperaturas promedio anual mostraban un crecimiento altamente significativo y la mejor correlación se obtuvo para la frecuencia de ocurrencia anual de temperaturas por encima de 30°C, donde se explica aproximadamente el 46% de la variación con relación a la ocurrencia de tormentas. Los sucesos de brumas también presentaban una tendencia creciente altamente significativa y una correlación con respecto a las tormentas de 0.65. El índice de aerosoles mostraba tendencia creciente para el periodo 2005 - 2016 y ex-

plica el 58 % de la variación con respecto a la frecuencia de tormentas. En 2021 Álvarez-Escudero y Borrero-Montejo (Álvarez-Escudero y Borrero-Montejo, 2021) analizaron la relación entre la marcha interanual de la ocurrencia de tormentas y la temperatura del aire en superficie para series suficientemente completas y sin sesgos de las observaciones para las estaciones meteorológicas de Cuba, en el periodo 1989 - 2016. El estudio arrojó que la relación entre el por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta y las variables asociadas a las temperaturas no explican el crecimiento de la actividad del fenómeno.

El objetivo del presente trabajo es caracterizar el comportamiento de la marcha interanual de la ocurrencia de las tormentas eléctricas en las estaciones que triangulan la Zona de Desarrollo Mariel y su relación con las temperaturas y la ocurrencia de brumas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La Zona Especial de Desarrollo (ZED) Mariel posee solamente una estación automática que no permite determinar la ocurrencia de tormentas mediante los registros de código de estado de tiempo presente y pasado. Como los datos que se poseen de este enclave no son suficientes para realizar el presente estudio, se tomará la información de las tres estaciones de la Red de Estaciones Meteorológicas del Instituto de Meteorología, más cercanas a él y que lo triangulan. Estas estaciones son: Bahía Honda (78318) en la costa norte de la provincia Artemisa, Casablanca (78325) en la costa norte de la provincia de La Habana y Bauta (78376) un poco hacia el interior de la provincia Artemisa. La posición, altura, distancia a la ZED Mariel y la provincia a la que pertenecen las estaciones en estudio se recoge en la [Tabla 1](#).

La información sobre ocurrencia de tormentas que aquí se expone fue extraída de los “Estados del Tiempo” emitidos por el Centro Meteorológico Provincial (CMP) Habana- Artemisa y Mayabeque y sólo pudieron obtenerse 10 meses de información, faltando los meses de octubre y noviembre y de septiembre solo se poseían algunos días.

La base fundamental de información para el estudio la constituyen los registros de código de estado de tiempo presente y pasado para las tres estaciones meteorológicas en análisis, en el periodo 1989 - 2019 (31 años) que se encontró, es la etapa donde puede establecerse un compromiso entre el largo de

Tabla 1. Número según el código de la OMM, nombre, provincia a la que pertenecen, posición, altura y distancia a la ZED Mariel de las estaciones en estudio

No	Nombre	Provincia	Latitud (°)	Longitud (°)	Altura (m)	Distancia a la ZED Mariel (km)
-	ZED Mariel	Artemisa	22.99	-82.75		0.0
78318	Bahía Honda	Artemisa	22.93	-83.22	37.07	42.2
78325	Casablanca	La Habana	23.14	-82.34	50.8	46.3
78376	Bauta	Artemisa	22.98	-82.54	55.0	21.4

las series y lo completo de la información y donde no influyen con tanta fuerza los sesgos mensuales y horarios por falta de observaciones (Álvarez - Escudero et al., 2020). Estas series se someterán a un estudio detallado de su calidad y se tomarán las decisiones necesarias para que las marchas interanuales sean lo más homogéneas posibles con respecto a la cantidad de registros. Los datos de tiempo presente y pasado fueron tomados de la Base de Datos “Nueva_THOR” (Álvarez et al. 2012b) a la que se le agregaron los registros correspondientes al periodo 2017 - 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.

Los registros de temperatura tuvieron varias fuentes, así para el periodo 1972 - 2000 de la estación Casablanca los datos fueron extraídos de la Base GRANMET de uso en el Instituto de Meteorología (INSMET) con datos verificados ampliamente y para el periodo 2000 - 2019 se tomaron de la Base de Datos del Centro Meteorológico Provincial de La Habana, Artemisa y Mayabeque, que es el encargado de atender en todos los aspectos de la observación meteorológica a la estación de Casablanca. Para la estación Bahía Honda todos los datos fueron extraídos de la Base de Datos del Centro del Clima del Instituto de Meteorología para el periodo 1993 - 2019 y en el caso de la estación Bauta que presentaba años donde no se realizaban observaciones de noche y madrugada, se tomó el periodo 2000 - 2019 de la Base de Datos del Centro Meteorológico Provincial de La Habana, Artemisa y Mayabeque.

Para la identificación de los tres fenómenos en estudio a partir del código de estado de tiempo presente se tomaron los valores de código, según la Tabla 2, sobre “Tiempo presente, comunicado desde una estación meteorológica dotada de personal”, del Manual de Claves (OMM, 2011) y su identificación se recoge en la Tabla 2. Los códigos asociados a tormentas no representados en la Tabla 2 se refieren a casos de ocurrencia muy baja o nula para la región de estudio. El código de estado de tiempo pasado solo se tuvo en cuenta para identificar las tormentas, dado por el W1 = 9 (OMM, 2011), debido a que el humo no se representa en esta variable y las brumas se contabilizan junto con las neblinas y las nieblas.

Tabla 2. Fenómenos meteorológicos utilizados en el estudio y códigos de estado de tiempo presente que los describen.

Fenómeno	Código de estado de tiempo presente
Humo	4
Brumas	5
Tormentas	17, 29, 91, 92, 95, 96, 97, 99

La variable utilizada para representar la marcha interanual de los fenómenos fue la frecuencia de

ocurrencia de observaciones asociadas a determinado fenómeno, dada como la cantidad de observaciones referidas a cada fenómeno sobre el número total de observaciones válidas o realizadas y expresado en por ciento. De esta manera se calculan los por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta, de observaciones con brumas, de observaciones con brumas y humo (para la estación de Casablanca) y de temperaturas mayores o iguales que 30 ° C. El hecho de trabajar con por cientos de ocurrencia o probabilidades solventa en gran medida la falta de información ya que la ausencia de datos en algunos periodos puede ser compensada por los periodos donde si existe, puesto que siempre se divide por el número de observaciones válidas.

La otra variable usada fue la temperatura media anual en superficie, calculada a partir de las observaciones tri-horarias registradas en cada estación.

Para determinar la calidad de la información, se usó la metodología desarrollada por Álvarez y colaboradores (2009) y adaptada con pequeñas variaciones según lo planteado por Álvarez y colaboradores (2012a), basada en la determinación del largo de la serie, la información utilizable, el sesgo mensual y el sesgo horario. Como no se cuenta con un criterio para dar más peso a un índice que a otro y esto en todo caso dependería de la aplicación específica para la que quieren usarse, se definió un índice de calidad general (ICALI) dando valores entre 5 y 1 a las 5 categorías definidas para los calificadores “Excelente”, “Muy bueno”, “Bueno”, “Regular” y “Malo” (E, MB, B, R, M), sumando lo obtenido por cada índice individual, dividiendo entre 4 y volviendo a calificar con el mismo criterio.

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

Para determinar la relación entre series, se usó el coeficiente de correlación de Pearson (r) dado por:

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

Para tener un indicativo de la estimación de los valores “y” a partir de los de “x” se calculó el error típico dado por la relación:

$$Error = \sqrt{\frac{1}{(n-2)} \left[\sum(y - \bar{y})^2 - \frac{[\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})]^2}{\sum(x - \bar{x})^2} \right]} \quad (2)$$

donde “x” y “y” representa a las series que se quieren correlacionar y la barra significa valor promedio

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de los datos obtenidos de los estados del tiempo del Centro Meteorológico Provincial La Habana, Artemisa y Mayabeque, se muestra en la figura 1 lo que puede construirse de la marcha anual, donde coincide con ser máxima la ocurrencia en los meses presentes del periodo lluvioso, como se refleja para

todas las estaciones de Cuba en estudios anteriores (Lecha et al., 1994; Álvarez-Escudero y Borrajero, 2016). En su mayoría los estados del tiempo reflejan la ocurrencia de las tormentas en horas de la tarde lo que también coincide con estudios anteriores (Lecha et al., 1994; Álvarez-Escudero y Borrajero, 2016).

Para poder relacionar de alguna manera la ocurrencia de tormentas en la Zona de Desarrollo Mariel con la de las estaciones meteorológicas que triangulan la mencionada zona, se procedió a determinar en el mismo periodo, los días con tormenta reportados por las estaciones de Bahía Honda (78318), Casablanca (78325) y Bauta (78376). El resultado de la comparación por meses se refleja en la figura 2. De los 38 casos dados por los Estados del Tiempo, Casablanca coincidió en 32 (84%) y Bahía Honda y Bauta coincidieron en 30 (74%). Un solo día, el 22 de mayo, no tuvo cobertura por ninguna de las tres estaciones y el Estado del Tiempo solo reflejó tormentas aisladas en horas de la tarde.

Algunos de los reportes plantean para la Zona condiciones de severidad con acumulados de lluvia por encima de los 25 mm en una hora, fuertes vientos, caída de granizo en áreas cercanas y observación de trombas.

A partir de la poca información captada y validada de la estación detectora de descargas instalada por la Empresa Earth Network en la estación Casablanca, en La Habana, que abarca de los días del 20 al 30 de agosto del 2018, para una cuadrícula de 3 x 3 km, centrada en la Zona de Desarrollo Mariel, se obtienen valores de cantidad de descargas y promedio de densidad e intensidad de las mismas. Estos valores se visualizan en la Tabla 3.

Con lo asentado en la Tabla 3 se constata la presencia de actividad eléctrica atmosférica en la Zona de Desarrollo Mariel, asociada a tormentas. Los valores de densidad de descargas por km² pueden considerarse bajos comparados con otras estaciones de la zona de La Habana, Artemisa y Mayabeque y la intensidad entre baja y media (Lic. Anisbel León Marcos, Centro de Física de la Atmósfera, INSMET, comun. pers.).

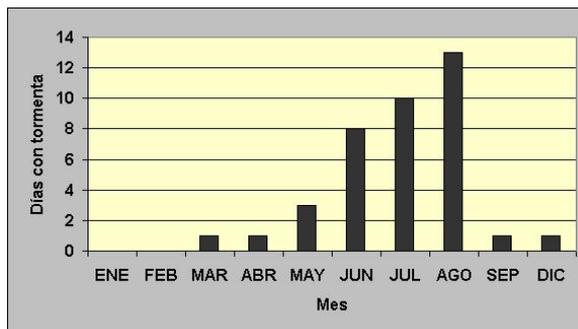


Figura 1. Marcha anual de número de días con tormenta con los meses en que se poseía información según los Estados del Tiempo para la Zona de Desarrollo Mariel.

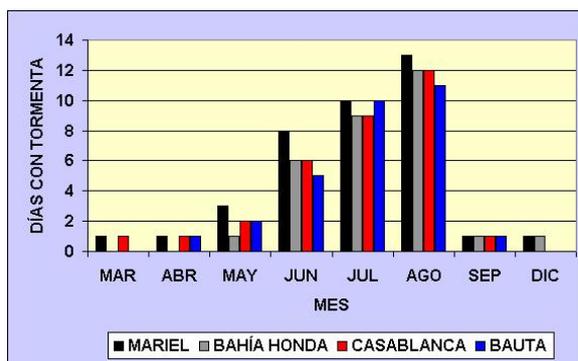


Figura 2. Número de días con tormenta por meses en que coincide la ocurrencia en la Zona de Desarrollo Mariel y en las estaciones que triangulan la zona.

En la Tabla 4 se resume la calidad de las series de registros de código de estado de tiempo presente y pasado para las tres estaciones que triangulan la Zona de Desarrollo Mariel, siguiendo la metodología descrita en el capítulo de Materiales y Métodos.

De la Tabla anterior se extrae que las series de las estaciones de Bahía Honda (78318) y Casablanca son excelentes para cada uno de sus índices y en general. La estación de Bahía Honda presenta un faltante de información del mes de octubre del 2013, por lo que para los estudios de marcha interanual el valor de ese

Tabla 3. Cantidad de descargas, densidad promedio de descargas por km² e intensidad promedio de las descargas en kA, detectadas por la estación instalada por la Empresa Earth Network en Casablanca, La Habana, para una cuadrícula que cubre la Zona de Desarrollo Mariel, entre los días 20 y 30 de agosto del 2018.

Fecha	Cantidad	Densidad	Intensidad (kA)
20/08/2018	0	0.00	0.0
21/08/2018	7	0.02	3.2
22/08/2018	0	0.00	0.0
23/08/2018	0	0.00	0.0
24/08/2018	26	0.03	12.3
25/08/2018	39	0.09	8.5
26/08/2018	13	0.03	6.8
27/08/2018	17	0.02	14.7
28/08/2018	1	0.00	8.9
29/08/2018	4	0.01	6.3
30/08/2018	12	0.03	13.3

año será sustituido por el promedio de toda la serie para no crear saltos por falta de observaciones.

La estación Bauta (78376) presenta problemas más marcados con la falta de información, dados fundamentalmente por el sesgo horario producido por no realizar observaciones de noche y madrugada (01, 04 y 22 hora local) entre los años 1989 y 1999, lo que provoca la falta diaria de tres observaciones de tiempo presente y 4 de tiempo pasado. Además, no hay datos en los meses de mayo, junio y julio del 1995. Debido a estos problemas la serie interanual de la frecuencia de ocurrencia de tormentas para la estación de Bauta se construirá a partir de los registros de los horarios de las 10 a las 19 hora local, donde ocurren en general para Cuba la mayoría de las tormentas (Lecha et al., 1994; Álvarez-Escudero y Borrajero, 2016; García-Santos y Álvarez-Escudero, 2018). El valor de la frecuencia de ocurrencia del año 1995 se sustituirá por el promedio de la serie para paliar la falta de información de los meses de mayo a julio. A partir de estas series rectificadas se realiza el análisis de la marcha interanual de las cuatro variables estudiadas para las tres estaciones que triangulan la ZED Mariel.

El comportamiento de la marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta para las estaciones que triangulan la Zona de Desarrollo Mariel se resume en la [Tabla 5](#).

La estación de Bahía Honda (78318) tiene un por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta medio para toda la serie (1989 - 2019) de 10.8, lo que puede considerarse un valor medio de ocurrencia según la última actualización del mapa de niveles cerámicos de Cuba (Álvarez-Escudero y Borrajero-Montejo, 2020). La representación de la marcha interanual de por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta para esta estación muestra una serie sin tendencia marcada, fluctuante alrededor de un valor medio y con menor variación a partir del año 2004.

La serie de Casablanca presenta un valor promedio de ocurrencia de 6.65 % que puede considerarse bajo según la última actualización del mapa de niveles cerámicos de Cuba (Álvarez-Escudero y Borrajero-

Montejo, 2020) y más bajo que el de Bahía Honda; sin embargo, la marcha interanual presenta un crecimiento en escalera, con tendencia creciente altamente significativa. Esta serie presenta un punto de cambio entre los años 2006 y 2008.

El por ciento de ocurrencia para la serie de marcha interanual de la estación de Bauta (78376) es el mayor de las tres estaciones en estudio con un valor de 13.4%, aunque este valor puede estar influenciado por el uso de datos solo de los horarios de las 10 a las 19 hora local. Para la mencionada estación la serie de marcha interanual de por ciento de ocurrencia de tormentas muestra un cambio abrupto de valores mayores en media a valores más bajos. El análisis de los estadígrafos ratifica el carácter decreciente altamente significativo de la serie y certifican un punto de cambio entre 1999 y 2000 que es donde se produce el cambio abrupto. Al igual que para la estación de Bahía Honda no se posee información histórica con respecto a estos aspectos como para poder definir el punto como un cambio “no natural”.

Lo obtenido para las tres estaciones coincide con el estudio de marcha interanual realizado con periodo base del inicio de trabajo de la estación hasta el 2010 (Álvarez-Escudero et al., 2014c) y el aumento de puntos de la serie hasta el 2019 no varió el carácter de la tendencia de las series.

En su revisión bibliográfica Williams (2005) explica la influencia de algunas variables en el crecimiento interanual de la actividad de tormentas y descargas eléctricas asociadas. Una de estas variables es el contenido de aerosoles en la atmósfera, con su papel en la formación de núcleos de condensación y en el incremento de la convección. Para las estaciones en estudio no se poseen series largas de contenido de aerosoles en la atmósfera que permitan hacer relaciones como las obtenidas por Álvarez-Escudero y colaboradores (2019), donde se constató que el promedio anual del Índice de Aerosoles explicaba el 61% de la varianza con respecto a la frecuencia anual de ocurrencia de tormentas, valor mayor que lo que explica la temperatura. Un indicativo de aerosoles en la atmósfera puede

Tabla 4. Calidad de las series de registros de código de estado de tiempo presente y pasado para las tres estaciones que triangulan la Zona de Desarrollo Mariel

ESTACIÓN	CÓDIGO DE ESTADO DE TIEMPO PRESENTE					CÓDIGO DE ESTADO DE TIEMPO PASADO				
	ILARGO	IU	Sm	Sh	ICALI	ILARGO	IU	Sm	Sh	ICALI
78318	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
78325	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
78376	E	E	E	B	E	E	MB	E	B	MB

Tabla 5. Comportamiento de la marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas para las estaciones en estudio.

Estación	Descriptor	Tendencia de la serie	Puntos de cambio
78318	Fluctuante	Homogénea	---
78325	Creciente en escalera	Creciente altamente significativa	Entre 2006 y 2008
78376	Abrupta-decreciente	Decreciente altamente significativa	Entre 1999 y 2000

ser las “brumas” identificadas por las observaciones de código de tiempo presente como reductoras de visibilidad cuando la humedad relativa es baja. Para el caso específico de la estación Casablanca, ubicada en la periferia de la zona industrial de La Habana, también pueden resultar de interés para el análisis las observaciones con “humo”, aunque estas tengan un carácter antropogénico. No existen observaciones con humo en las otras estaciones en estudio.

El comportamiento de la marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con brumas para las estaciones que triangulan la Zona de Desarrollo Mariel se resume en la [Tabla 6](#).

Para la estación de Bahía Honda (78318) las observaciones con brumas como promedio para toda la serie alcanzan un 39.6% y su curso presenta un crecimiento no pronunciado. El análisis arroja una tendencia creciente altamente significativa con un punto de cambio entre 1995 y 2001, con un giro abrupto sobre 1995.

El promedio de observaciones con brumas para toda la serie en Casablanca (78325) es de 39.7% y la serie de marcha interanual es según los estadígrafos homogénea. Si se compara este resultado con el obtenido por [Álvarez-Escudero y colaboradores \(2019\)](#), para la estación Casablanca, con la serie de por ciento de ocurrencia de observaciones con brumas en el periodo 1972 - 2016 que mostraba carácter creciente altamente significativo, al igual que las temperaturas, podría parecer que existe una contradicción, pero esta serie 1972 - 2016, presentaba un punto de cambio en 1983, por lo que el periodo actual de análisis 1989 - 2019 quedaría más allá del punto de cambio y tendría características propias de tendencia.

Si se realiza el mismo análisis, pero contabilizando tanto las observaciones con brumas como las observaciones con humo el análisis de los resultados no cambia el comportamiento de la serie que sigue siendo homogénea, aunque los por cientos son más elevados con un promedio de 76%.

Para la estación de Bauta la serie de marcha interanual de por ciento de ocurrencia de observaciones con brumas tiene un carácter decreciente significativo,

pues, aunque el estadígrafo de Mann - Kendall muestra carácter decreciente altamente significativo, el resto queda por debajo del 0.05 de nivel de significación. El promedio de observaciones con brumas para toda la serie en esta estación es de 41%.

Para los cálculos de temperatura media debido a la falta de datos y errores en el reporte de la temperatura a la Base de Datos del Centro del Clima del INSMET, se calculará con diferentes periodos para cada estación. Bahía Honda (78318) presenta faltantes de información al inicio de la serie por lo que se usará el periodo 1993 - 2019, Casablanca (78325) que es una de las estaciones de Cuba con datos más completos y verificados, se usará el periodo 1989 - 2019 y por último para la estación de Bauta (78376) con faltantes de información en algunos meses y horarios de varios años, se usarán los datos reportados por el Centro Meteorológico Provincial de La Habana, Artemisa y Mayabeque con el periodo 2000 -2019.

El comportamiento de la marcha interanual de la temperatura media del aire en superficie para las estaciones que triangulan la Zona de Desarrollo Mariel se resume en la [Tabla 7](#).

La serie de marcha interanual de la temperatura media en la estación Bahía Honda muestra un carácter creciente altamente significativo con un punto de cambio entre 2011 y 2013 con un marcado crecimiento al final de la serie.

Para la estación Casablanca se concluye que su serie de marcha interanual de temperatura media tiene un carácter creciente significativo, con un punto de cambio significativo hacia el final de la serie entre 2010 y 2013.

La estación de Bauta (78376) presenta un carácter creciente altamente significativo con un crecimiento abrupto hacia el final de la serie y un punto de cambio significativo entre 2012 y 2013.

En general se observa que las series de marcha interanual de la temperatura media para las tres estaciones en estudio muestran tendencias crecientes y puntos de cambio entre 2010 y 2013.

En el trabajo de [Álvarez-Escudero y colaboradores \(2019\)](#) se encontró que la correlación más alta entre

Tabla 6. Comportamiento de la marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con brumas para las estaciones en estudio. Para la estación Casablanca también se estudia la serie de frecuencia de ocurrencia de observaciones con bruma y humo (78325*)

Estación	Descriptor	Tendencia de la serie	Puntos de cambio
78318	Abrupta - Creciente	Creciente altamente significativa	Entre 1995 y 2001
78325	Fluctuante	Homogénea	---
78325*	Bajo - Alto - Medio	Homogénea	---
78376	Decreciente	Decreciente significativa	Entre 2009 y 2010

Tabla 7. Comportamiento de la marcha interanual de temperatura media para las estaciones en estudio.

Estación	Descriptor	Tendencia de la serie	Puntos de cambio
78318	Medio - Bajo - Alto	Creciente altamente significativa	Entre 2011 y 2013
78325	Creciente	Creciente significativa	Entre 2010 y 2013
78376	Abrupta	Creciente altamente significativa	Entre 2012 y 2013

las tres variables asociadas a la temperatura (temperatura media, frecuencia de ocurrencia de valores de temperaturas mayores o iguales que 25 (C y frecuencia de ocurrencia de valores de temperaturas mayores o iguales que 30 (C) fue la que relacionaba a la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta con la frecuencia de ocurrencia de valores de temperaturas mayores o iguales que 30 (C, por lo que aquí se analiza la marcha interanual de la última variable mencionada.

El comportamiento de la marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de temperaturas mayores o iguales que 30 °C para las estaciones que triangulan la Zona de Desarrollo Mariel se resume en la [Tabla 8](#).

La serie de la estación Bahía Honda (78318) muestra una tendencia creciente altamente significativa con un punto de cambio entre 2008 y 2013 mientras para Casablanca (78325) la marcha interanual del por ciento de ocurrencia de valores de temperaturas mayores o iguales que 30 (C, presenta una tendencia creciente significativa con un punto de cambio entre 2013 y 2015.

A diferencia del análisis para la temperatura media (ver [Tabla 7](#)), la serie de por ciento de ocurrencia de temperaturas mayores o iguales que 30 (C es homogénea.

De todas las series estudiadas solo tres coinciden en el carácter de las series con las de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta. La coincidencia ocurre para la estación Casablanca (78325) en la relación entre tormentas (creciente), la temperatura media y la frecuencia de ocurrencia de temperaturas mayores o iguales que 30 °C y para la estación Bauta (78376) entre tormentas (decreciente) y brumas.

Los resultados del coeficiente de Pearson y el error de la relación entre las series coincidentes en el carácter de la tendencia se resumen en la [Tabla 9](#).

De la [Tabla 9](#) se observa que ninguna de las tres comparaciones presenta coeficientes de correlación de Pearson por encima de 0.5. El más alto correspondiente a la relación entre tormentas y temperaturas medias en Casablanca, solo alcanza 0.47 con lo que explicaría solo el 22% de la varianza. Los errores también son

altos con la excepción de la relación entre tormentas y temperaturas medias en Casablanca, si se considera que el por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta para todas las estaciones alcanza alrededor de un 10%. En general, aunque las series en comparación presentan caracteres de la tendencia iguales, el comportamiento de una no explica el de la otra. Esto no coincide en su totalidad con lo estudiado por [Álvarez-Escudero y colaboradores \(2019\)](#), donde tanto las tormentas como las temperaturas eran crecientes altamente significativas pero el coeficiente de Pearson era mayor con un valor de 0.65 para las temperaturas medias y 0.68 para la ocurrencia de temperaturas mayores o iguales que 30 (C, aunque la serie era más larga en número de años de 1972 al 2016.

CONCLUSIONES

Las series de registros de código de estado de tiempo pasado y presente presentan diferente calidad, siendo Casablanca y Bahía Honda excelentes y Bauta presenta un sesgo horario importante por varios años.

La marcha interanual del por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta presentan comportamientos diferentes para las tres estaciones en estudio, así la de Bahía Honda es homogénea, la de Casablanca es creciente altamente significativa y la de Bauta es decreciente altamente significativa.

El comportamiento interanual de la ocurrencia de brumas, de temperaturas iguales o mayores de 30 ° C y las temperaturas medias, no tienen una relación definida y por tanto no explican el comportamiento de la marcha interanual del por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta.

RECOMENDACIONES

Se recomienda hacer estudios posteriores a partir de información remota tal como series de imágenes de satélites, radares, detectores terrestres de rayos o de modelación para precisar el comportamiento de las tormentas eléctricas en la Zona Especial de Desarrollo Mariel, además de hacer estudios de correlación entre

Tabla 8. Comportamiento de la marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de temperaturas mayores o iguales que 30 °C para las estaciones en estudio.

Estación	Descriptor	Tendencia de la serie	Puntos de cambio
78318	Creciente	Creciente altamente significativa	Entre 2008 y 2013
78325	Alto - Bajo - Alto	Creciente altamente significativa	Entre 2013 y 2015
78376	Fluctuante	Homogénea	---

Tabla 9. Análisis de la relación entre series interanuales de porcentaje de ocurrencia de observaciones con tormenta y series de otras variables que coinciden en el carácter de la tendencia.

Serie 1 (y)	Serie 2 (x)	Estación	Periodo	r	error
Tormentas	Brumas	78376	1989-2019	0.36	7.32
Tormentas	Temperatura media	78325	1989-2019	0.47	0.27
Tormentas	Temperatura ≥ 30 °C	78325	1989-2019	0.37	1.96

la ocurrencia de tormentas detectadas por información remota, con las variables medidas por la estación automática de la Zona Especial de Desarrollo Mariel, como pueden ser la temperatura y la humedad.

REFERENCIAS

- Álvarez, L., Borrajero, I., Álvarez, R. & Rojas Y. (Diciembre 2009). *Estudio preliminar del fenómeno niebla a partir del registro de fenómenos y su relación con la variable código de estado del tiempo presente* [Artículo]. Memorias del V Congreso Cubano de Meteorología, La Habana, Cuba. Publicación electrónica, ISBN 978-959-7167-20-4, F:\Data\Trabajos completos.pdf, pp. 1456 - 1466.
- Álvarez, L., Borrajero, I., Álvarez, R., Aenlle, L., Rivero, I., Iraola, C., Rojas, Y. & Hernández, M. (2012^a). 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://webs.ono.com/reclim/reclim12a.pdf>.
- Álvarez, L., Borrajero, I., Álvarez, R., Aenlle, L. & Bárcenas, M. (2012b). 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. & Borrajero, I. (2014a). 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., Borrajero, I. & Barcenás, M. (2014b). 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://www.insmet.cu/contenidos/biblioteca/revistas/2014/n1/1.pdf>.
- Álvarez-Escudero, L., Borrajero, I. & Barcenás, M. (2014c). 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://www.insmet.cu/contenidos/biblioteca/revistas/2014/n2/6.pdf>.
- Álvarez-Escudero, L. & Borrajero, I. (2016). 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. <http://www.insmet.cu/contenidos/biblioteca/revistas/2016/n1/01.pdf>
- Álvarez-Escudero, L., Borrajero-Montejo, I. & 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/486/756>
- Álvarez-Escudero, L. & Borrajero-Montejo, I. (2020). Actualización del mapa de niveles cerámicos de Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 26(2). <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/508/840>.
- Álvarez-Escudero, L., Borrajero-Montejo, I., García-Santos, Y., Roura-Pérez, P. & Rodríguez-Díaz, Y. (2020). Aporte de la información de tiempo pasado a la contabilidad de tormentas en Cuba. *Revista Cubana de Meteorología*, 26(3). <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/525/924>, ISSN: 2664-0880.
- Álvarez-Escudero, L. & 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/558/1088>, ISSN: 2664-0880
- Boccippio, D. J., Goodman, S. J. & Heckman, S. (2000). Regional differences in tropical lightning distributions. *J. Appl. Met.*, 39, 2231-2248. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2001\)040<2231:RDITLD>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2001)040<2231:RDITLD>2.0.CO;2).
- 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).
- 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. & Stewart, M. F. (2003). Global frequency and distribution of lightning as observed from space by the optical transient detector. *J. Geophys. Res.*, 108(D1), 4005. DOI: [10.1029/2002JD002347](https://doi.org/10.1029/2002JD002347).
- Collier, A. B., Bürgesser, R. E. & Ávila, E. E. (2013). Suitable regions for assessing long term trends in lightning activity. *J. Atmos. Sol-Terr. Phys.*, 92, 100-104. DOI: [10.1016/j.jastp.2012.10.012](https://doi.org/10.1016/j.jastp.2012.10.012).
- 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).
- Declan, L., F., Doherty, R. M., Oliver Wild, O., Stevenson, D. S., MacKenzie, I. A. & Blyth, A. M. (2018). A projected decrease in lightning under climate change. *Nature Climate Change Letters*. DOI: [10.1038/s41558-018-0072-6](https://doi.org/10.1038/s41558-018-0072-6)

- De Pablo, F. & Rivas Soriano, L. (2002). Relationship between cloud-to-ground lightning flashes over the Iberian Peninsula and sea surface temperature. *Quart. J. Roy. Met. Soc.* 128, 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, 309-323. <https://doi.org/10.1175/JCLI3626.1>
- 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>.
- Lay, E. H.; Jacobson, A. R.; Holzworth, R. H.; Rodger, C. J. & Dowden R. L. (2007). Local time variation in land/ocean lightning flash density as measured by the World Wide Lightning Location Network. *J. Geophys. Res. Atmospheres*, 112, (D13). <https://doi.org/10.1029/2006JD007944>.
- Lecha, L. B., Paz, L. R. & Lapinel, B. E. (eds.). (1994). *El Clima de Cuba*. Editorial Academia.
- Lolis, C.J. (2007). Climatic features of atmospheric stability in the Mediterranean region (1948-2006): spatial modes, inter-monthly and inter-annual variability. *Meteorol. Appl.* 14(4), 361-379. <https://doi.org/10.1002/met.36>
- Middey, A. & Kaware, P. B. (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 Jr., P. & 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. *Geophys. Res. Lett.*, 30 (13). <https://doi.org/10.1029/2003GL017496>
- OMM (Organización Meteorológica Mundial). (1956). *World distribution thunderstorm days*. WMO No. 21, TP 21.
- Pal, J., Chaudhuri, S., Chowdhury, A. R. & Bandyopadhyay, T. (2016). Cloud - Aerosol Interaction during Lightning Activity over Land and Ocean: Precipitation Pattern Assessment. *Asia-Pac. J. Atmos. Sci.*, 52(3), 251-261. <https://doi.org/10.1007/s13143-015-0087-0>
- Price, C. (2000). Evidence for a link between global lightning activity and upper tropospheric water vapour. *Nature*, 406, 290-293. <https://doi.org/10.1038/35018543>
- Price, C. & Asfur, M. (2006). Can Lightning Observations be Used as an Indicator of Upper-Tropospheric Water Vapor Variability?. *BAMS*, 8(3), 291-298. <https://doi.org/10.1175/BAMS-87-3-291>.
- Reeve, N. & Toumi, R. (1999). Lightning activity as an indicator of climate change. *Quart. J. Roy. Met. Soc.*, 125(555), 893-903. <https://doi.org/10.1002/qj.49712555507>.
- Romps, D. M., Seeley, J. T., Vollaro, D. & Molinari, J. (2014). Projected increase in lightning strikes in the United States due to global warming. *Science* 643, 851-853. <https://doi.org/10.1126/science.1259100>.
- Sneyers, R. (1990). *On the statistical analysis of series of observations*. Technical Note No. 143, WMO-No. 415, World Meteorological Organization, Geneva.
- Valentí Pia, M. D., De la Torre, L. & Añel, J. A. (2011). Tendencias en la probabilidad de tormentas en el Suroeste de Europa. *ACT*, 2, 97- 104. https://ephyslab.uvigo.es/revista-act/ACT_2011_N08_Valenti.pdf
- Villarini, G. & Smith, J. A. (2013). Spatial and temporal variability of cloud-to-ground lightning over the continental U.S. during the period 1909 -2010. *Atmos. Res.*, 124, 137-148. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.12.017>.
- Williams, E.R. (2005). Lightning and climate: A review. *Atmospheric Research*, 76, 272-287. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2004.11.014>
- OMM (2011). *Manual de Claves*. Claves Internacionales. Volumen I.1, Parte A, Claves Alfanuméricas, OMM No. 306, Tabla 4678
- Yuan, T., L. Remer, A., Pickering, K. E & Yu H. (2011). Observational evidence of aerosol enhancement of lightning activity and convective invigoration. *Geophys. Res. Lett.*, 38(4). <https://doi.org/10.1029/2010GL046052>.
- Zhao, P., Zhou, Y., Xiao, H.; Liu, J., Gao, J. & Ge, F. (2017). Total Lightning Flash Activity Response to Aerosol over China Area. *Atmosphere*, 8(2), 26. <https://doi.org/10.3390/atmos8020026>.

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

Contribución de autoría: **Concepción de la idea:** Lourdes Álvarez-Escudero, Nayirah Elissalt Ramos. **Manejo de los datos:** Lourdes Álvarez-Escudero, Nayirah Elissalt Ramos. **Análisis de los datos:** Nayirah Elissalt Ramos, Lourdes Álvarez-Escudero. **Investigación:** Nayirah Elissalt Ramos, Lourdes Álvarez-Escudero. **Metodología:** Lourdes Álvarez-Escudero, Nayirah Elissalt Ramos. **Supervisión:** Lourdes Álvarez-Escudero. **Validación de los resultados:** Nayirah Elissalt Ramos, Lourdes Álvarez-Escudero

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/)