

# Actualización de la distribución espacial de las tormentas eléctricas en Cuba

## *Update of the spatial distribution of thunderstorms in Cuba*

**Lourdes Álvarez Escudero**

[lourdes.alvarez@insmet.cu](mailto:lourdes.alvarez@insmet.cu)

**Israel Borrajero Montejo**

[israel.borrajero@insmet.cu](mailto:israel.borrajero@insmet.cu)

**Rosendo Álvarez Morales**

**Laura Aenlle Ferro**

[laura.aenlle@insmet.cu](mailto:laura.aenlle@insmet.cu)

**Maydes Bárcenas Castro**

[maydes.barcenas@insmet.cu](mailto:maydes.barcenas@insmet.cu)

Centro de Física de la Atmósfera. Instituto de Meteorología. Apartado 17032, Habana 17, C.P. 11 700, Ciudad Habana, Cuba. Fax: (537) 866 8010, telf. 868 66 19

Recibido: febrero 28, 2012; aceptado: mayo 30, 2012.

## Resumen

El estudio de la distribución espacial de las tormentas eléctricas reviste un interés espacial para la protección de vidas humanas y con miras al diseño de la protección contra descargas eléctricas en diferentes sectores de la economía. El objetivo de este trabajo es la presentación de mapas actualizados de distribución espacial de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas, la frecuencia de ocurrencia de observaciones de tormentas con lluvia sobre la estación y el número promedio anual de días con tormenta. Con vistas a obtener los mapas asociados con las variables en estudio se utilizaron, como información de base, los registros de observaciones trihorarias de código de estado de tiempo presente para 69 estaciones del territorio cubano, en el período 1989-2008, y como método de interpolación uno basado en el análisis objetivo de Cressman, con la variante de que las distancias entre los puntos de rejilla y las estaciones son modificadas de acuerdo con los valores de campos base, que permiten definir la representatividad de cada estación en distintas direcciones. El estudio actual muestra, con respecto a estudios anteriores, un aumento de la frecuencia de

ocurrencia de observaciones con tormenta en 63,5 % de las estaciones y 76,2 % para el promedio anual de días con tormenta. La distribución espacial de las variables en estudio exhibe comportamientos similares, con máximos de ocurrencia en zonas alejadas de las costas y montañosas, y mínimos en la costa norte de las provincias de Ciego de Ávila y de Camagüey, así como en el sureste de la provincia de Pinar del Río.

**PALABRAS CLAVE:** Tormentas eléctricas, distribución espacial, métodos de interpolación.

## Abstract

The study of the spatial distribution of thunderstorms is of remarkable interest in issues such as human life protection and the design of protection schemes in different economic facilities. The aim of this work is to present updated maps of the spatial distribution of the frequency of observations reporting thunderstorms, the frequency of observations reporting thunderstorms while it is raining over the station and the annual average of days with thunderstorm reports. To draw these maps, records of tri-hourly present weather codes for 69 stations over the Cuban territory ranging between 1989 and 2008 were used

as base information, together with an interpolation algorithm that uses the Cressmann objective analysis with weighting of the distances between the regular grid points and the stations based on the values of a set of base fields, which allows to define the representativity of each station in different directions. The current study shows an increase of the frequency of occurrence of thunderstorm reports on 63 % of all stations and an increase in the annual average of days with thunderstorm reports for 76,2 % of all stations as compared to previous studies. The spatial distribution of the variables under study show a similar pattern with maxima on regions distant from the coasts and mountainous, while minima occur over the north coast of the provinces of Camaguey Ciego de Avila, and over South East of Pinar del Río.

KEYWORDS: Thunderstorms, Spatial distribution, interpolation methods.

## Introducción

El estudio de la distribución espacial y las características generales de las tormentas eléctricas es un tema de especial interés debido a la incidencia que este fenómeno tiene sobre la vida de las personas y sobre diferentes sectores de la economía.

La muerte por fulguración constituye la primera causa de muerte asociada con un fenómeno natural en Cuba. Según datos de la Oficina de Estadísticas del Ministerio de Salud Pública, en el período 1987-2005, el promedio anual de muertes como consecuencia de los rayos ascendía a 65 y no se tenía contabilidad de las afectaciones que este tipo de suceso tenía sobre la calidad de vida de las personas.

Múltiples sectores de la economía resultan muy afectados por las descargas eléctricas asociadas con las tormentas eléctricas, las cuales provocan cuantiosos daños materiales; algunos de estos sectores son: el eléctrico, las comunicaciones, la agricultura (ocurrencia de incendios forestales), el transporte,

las producciones petrolera y de energías alternativas, etcétera.

A nivel mundial, la distribución espacial las tormentas eléctricas es una temática muy estudiada; de este modo, se encuentran, desde mapas clásicos de nivel cerámico calculados a partir de observaciones convencionales (WMO, 1956; Dai, 2001a, 2001b), hasta estudios realizados con datos extraídos de las redes de detección de rayos (Huffines y Orville, 1999; Orville et al, 2002; Ntelekos *et al.*, 2007; Olarte *et al.*, 2009; Lay *et al.*, 2007; Rodger *et al.*, 2009) y fotografías espaciales tomadas por los dispositivos OTD y LIS (Christian *et al.*, 1999, 2003; Pessi y Businger, 2009).

Los trabajos realizados en el país, sin embargo, analizaron períodos de, relativamente, corta duración (Álvarez, 1983; Alfonso, 1986) y no se han efectuado análisis sobre esta temática en los últimos años, con excepción del caso particular de las tormentas locales severas, que han sido más estudiadas. El estudio más abarcador sobre este tópico es recogido por Lecha *et al.* (eds.) (1994), donde se ofrecen las características del comportamiento de las tormentas eléctricas en varias estaciones del país, y se muestran los mapas de cantidad media anual de días con tormentas y por períodos de actividad.

Gracias al proyecto titulado “Estudio de la localización espacial de las tormentas eléctricas en Cuba y su tendencia”, perteneciente al Programa Ramal de Ciencia y Técnica “Análisis y Pronóstico del Tiempo y del Clima Terrestre y Espacial”, de la Agencia de Medio Ambiente, en el año 2005, se completó un estudio para todo el país sobre las características climáticas de las tormentas eléctricas y se obtuvieron varios mapas de la distribución espacial del fenómeno. En el mencionado estudio se concluyó que:

“La distribución espacial de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta presenta tres comportamientos en cuanto a su gradiente: en la provincia Pinar del Río el número de tormen-

tas decrece de norte a sur, en las provincias Ciudad de la Habana, La Habana y Matanzas crecen de las costas hacia el interior y en las restantes provincias (centro orientales) crecen de norte a sur. Las zonas montañosas suelen presentar máximos de actividad (Álvarez, et al., 2005, 2009b)."

Las limitantes principales en la realización de estos mapas estaban dadas por: la falta de series de datos en puntos importantes para la realización de una interpolación, en especial, en áreas de relieve complejo; la falta de registros en las series de datos y la reducción del número de años usados en aras de ganar en homogeneidad de las series; y la falta de criterios plenamente objetivos a la hora de realizar la interpolación.

Para el cierre de la información con la que se trabajó en los mencionados mapas se utilizaron los datos rescatados y digitalizados del código de estado de tiempo presente hasta diciembre de 2002 (fecha en que comenzó a ejecutarse el proyecto) de 63 estaciones meteorológicas en todo el país. En la actualidad, la base de datos que contiene la información sobre fenómenos (THOR) ha aumentado sus registros hasta diciembre de 2008, con nuevos datos rescatados y nuevas estaciones incorporadas, lo cual permite hacer una mejor selección y procesamiento de las series que se han de utilizar. Además, se cuenta con

el conocimiento de nuevos métodos de interpolación que permiten, a partir de datos globales de alta resolución de relieve y tipo-uso de suelo, lograr valores intercalados más cercanos a la física del fenómeno (Álvarez, et al., 2011a).

El objetivo de este trabajo es presentar mapas actualizados de la distribución espacial de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas, la frecuencia de ocurrencia de observaciones de tormentas con lluvia sobre la estación y el número promedio anual de días con tormenta.

## Materiales y métodos

La base de información fundamental utilizada en el presente estudio son los registros de código de estado de tiempo de 69 estaciones distribuidas por todo el país. La distribución espacial de las estaciones utilizadas se muestra en la figura 1.

De la figura se constata que la distribución no es uniforme para todo el país; se tiene como parte crítica la zona del extremo "este" de la provincia de Holguín y la Ciénega de Zapata, donde no hay estaciones; además, las características de las series de observaciones son también desiguales, tanto en el largo de las series disponibles, como en los faltantes de información. La Tabla 1 muestra la identificación de la estación y

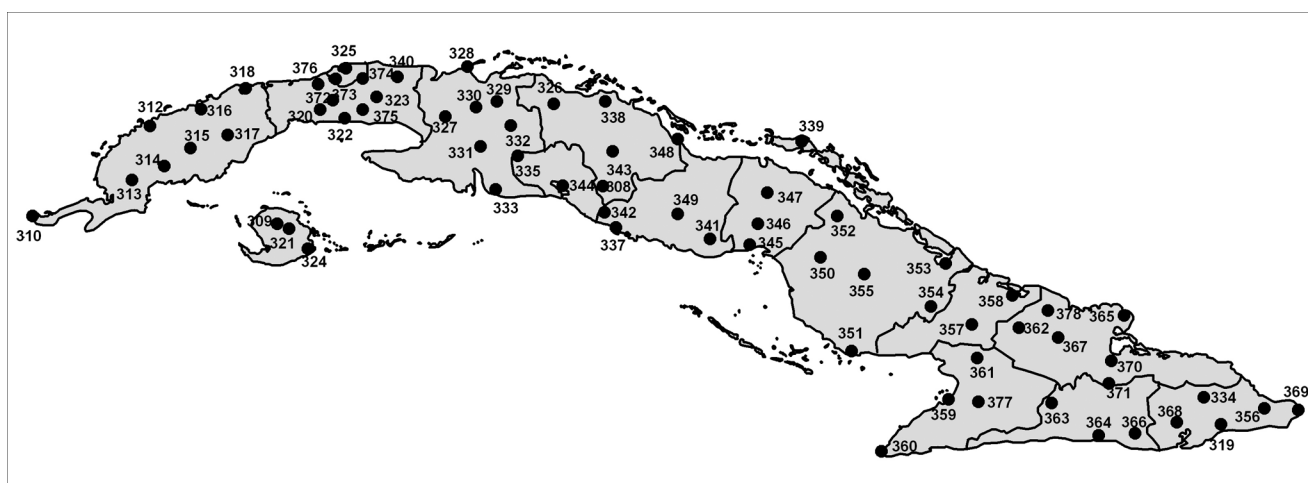


Figura 1. Distribución espacial de las estaciones utilizadas en el estudio.

algunas características de las series utilizadas. Como se puede observar, las series varían (en largo) entre 3 años y 39 años, con un alto promedio de 32,4 años, pero donde hay importantes lagunas de información, con 14 estaciones por debajo de 70 % de información útil para un promedio de 83,1 %. Para todos los registros en estudio, los faltantes de información están entre 5 días y casi 8 días promedio al mes, con un máximo (7.7 días) en febrero.

Con respecto a los datos por horas del día, los horarios menos favorecidos fueron: 01 hora, 04 hora (máximo con 180 días promedio al año, de 365 posibles) y 22 horas local; para los horarios diurnos, el faltante promedio osciló entre 7 días y 16 días al año. Los datos fueron tomados de la base de datos THOR (Álvarez *et al.*, 2009a), a la cual se le agregaron los registros correspondientes al período 2006-2008, obtenidos de la base de datos del Centro del Clima del INSMET, datos estos que fueron sometidos a varias validaciones y adaptaciones con el objetivo de lograr homogeneidad en los registros de la base mencionada. Después de valorar para cada serie el número de años que poseía, el porcentaje de información útil, el sesgo que por meses y horas del día podía introducir la falta de información y el comportamiento de la marcha interanual de ocurrencia del fenómeno, se tomó como período base del estudio 1989-2008, donde las series eran más completas y homogéneas (Álvarez, *et al.*, 2011b).

Según el Vocabulario Meteorológico Mundial (WMO, 1992), se ha adoptado para las *tormentas* la definición siguiente:

**TORMENTA:** Descarga brusca de electricidad atmosférica que se manifiesta por un resplandor breve (relámpago) y por un ruido seco o un estruendo sordo (trueno). Las tormentas se asocian a nubes convectivas (cumulonimbus) y suelen acompañarse de precipitación en forma de chubascos, de lluvia o de hielo o en ocasiones de nieve, nieve granulada, hielo granulado o granizo.

Con vistas a la identificación del fenómeno *tormenta eléctrica* a partir del código de estado de tiempo presente, según la Tabla 4677, sobre “Tiempo presente, comunicado desde una estación meteorológica dotada de personal”, del *Manual de claves* (WMO, 1988), se tomaron las definiciones siguientes:

**TORMENTA:** Agrupa los códigos 17, 29, 91, 92, 95, 96, 97 y 99 y se refiere a la tormenta eléctrica con o sin lluvia, de cualquier intensidad a la hora de la observación o con anterioridad. Los códigos 93, 94 y 98 se rechazaron por tener frecuencias de ocurrencia muy bajas o nulas y por representar, muchas veces, más observaciones erróneas que datos reales. El código 13 relacionado con el relámpago visible, no se tuvo en cuenta, por ser un código de ocurrencia preferente en horarios de la noche y la madrugada (Álvarez *et al.*, 2005), y por representar tormentas lejanas que ocurren, usualmente, sobre el mar. Además, como fenómeno desde el punto de vista del observador, la tormenta empieza cuando se oye el primer trueno y termina 15 minutos después del último, por lo cual es necesario el trueno para identificar al fenómeno.

**TORMENTA CON LLUVIA SOBRE LA ESTACIÓN:** Agrupa los códigos 91, 92, 95, 96, 97 y 99 y se refiere a la tormenta eléctrica acompañada de precipitación a la hora de la observación o con anterioridad. Esta forma de identificar las tormentas es más específica, puesto que es difícil no reportar una tormenta con lluvia sobre la estación, a diferencia de cuando se escucha el trueno, que puede no ser oído por cuestiones de índole ambiental.

Las variables para el trabajo serán las siguientes:

1. *Frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas.* Se obtiene al dividir el número de casos de códigos relativos a tormentas entre el número de observaciones válidas.

Tabla 1 Características de la información de las estaciones en estudio.

Número de la estación	Nombre de la estación	Año Inicio	Año Final	Largo de la serie	Datos posibles	Datos Válidos	% de información útil
308	La Piedra	2006	2008	3	8768	8768	100
309	Amistad Cuba Francia	2003	2008	6	17536	17242	98.3
310	Cabo San Antonio	1970	2008	39	113960	101351	88.9
312	Santa Lucía	1981	2008	28	81816	75124	91.8
313	Isabel Rubio	1970	2008	39	113960	104739	91.9
314	San Juan y Martínez	1970	2008	39	113960	88550	77.7
315	Pinar del Río	1978	2008	31	90584	86533	95.5
316	La Palma	1971	2008	38	111040	95849	86.3
317	Paso Real de San Diego	1970	2008	39	113960	108264	95
318	Bahía Honda	1977	2008	32	93504	87775	93.9
319	Valle de Caujerí	1992	2008	17	49680	32726	65.9
320	Güira de Melena	1970	2008	39	113960	87675	76.9
321	La Fe	1970	2008	39	113960	104405	91.6
322	Batabanó	1986	2008	22	67208	50700	75.4
323	Güines	1971	2008	38	111040	71481	64.4
324	Punta del Este	1971	2008	38	111040	84222	75.8
325	Casablanca	1972	2008	37	108120	108054	99.9
326	Santo Domingo	1980	2008	29	84744	80795	95.3
327	Unión de Reyes	1977	2008	32	93504	89749	96
328	Varadero	2003	2008	6	17536	17529	100
329	Indio Hatuey	1970	2008	39	113960	73430	64.4
330	Jovellanos	1970	2008	39	113960	102159	89.6
331	Jaguëy Grande	1977	2008	30	93504	63259	67.7
332	Colón	1975	2008	34	99352	94197	94.8
333	Playa Girón	1970	2008	39	113960	108576	95.3
334	Palenque Yateras	1993	2008	16	46752	45296	96.9
335	Aguada de Pasajeros	1975	2008	34	99352	71079	71.5
337	Trinidad	1970	2008	39	113960	92185	80.9
338	Sagua la Grande	1970	2008	39	113960	100789	88.4
339	Cayo Coco	1990	2008	19	55520	55034	99.1
340	Bainoa	1979	2008	30	87664	63699	72.7
341	Jíbaro	1977	2008	32	93504	83674	89.5
342	Topes de Collantes	1970	2008	39	113960	82376	72.3
343	El Yabú	1977	2008	32	93504	87635	93.7
344	Cienfuegos	1975	2008	34	99352	86318	86.9

Número de la estación	Nombre de la estación	Año Inicio	Año Final	Largo de la serie	Datos posibles	Datos Válidos	% de información útil
345	Júcaro	1970	2008	39	113960	78915	69.2
346	Venezuela	1977	2008	32	93504	80000	85.6
347	Camilo Cienfuegos	1977	2008	32	93504	80825	86.4
348	Caibarién	1970	2008	39	113960	101496	89.1
349	Sancti Spiritus	1970	2008	39	113960	100484	88.2
350	Florida	1970	2008	39	113960	88750	77.9
351	Santa Cruz	1970	2008	36	113960	78285	68.7
352	Esmeralda	1970	2008	39	113960	86396	75.8
353	Nuevitas	1970	2008	39	113960	93841	82.3
354	Palo Seco	1976	2008	33	96432	67471	70
355	Camagüey	1970	2008	39	113960	113939	100
356	Jamal	1992	2008	17	49680	41510	83.6
357	Las Tunas	1975	2008	34	99352	84216	84.8
358	Puerto Padre	1975	2008	34	99352	87864	88.4
359	Manzanillo	1975	2008	34	99352	81114	81.6
360	Cabo Cruz	1970	2008	39	113960	108107	94.9
361	Jucarito	1976	2008	33	96432	60236	62.5
362	La Jiquima	1975	2008	34	99352	67688	68.1
363	Contramaestre	1977	2008	32	93504	78371	83.8
364	Santiago de Cuba	1970	2008	39	113960	96995	85.1
365	Punta Lucrecia	1970	2008	39	113960	102169	89.7
366	Gran Piedra	1970	2008	39	113960	112670	98.9
367	Pedagógico de Holguín	1993	2008	16	46752	43550	93.2
368	Guantánamo	1982	2008	27	78896	74903	94.9
369	Maisí	1970	2008	39	113960	107805	94.6
370	Guaro	1975	2008	34	99352	79565	80.1
371	Pinares de Mayarí	1975	2008	34	99352	78091	78.6
372	La Sabana	1979	1993	15	43832	26158	59.7
373	Santiago de las Vegas	1970	2008	38	113960	77695	68.2
374	Tapaste	1976	2008	33	96432	63937	66.3
375	Melena del Sur	1974	2008	35	102272	72147	70.5
376	Bauta	1974	2008	35	102272	66563	65.1
377	Veguitas	1977	2008	32	93504	61476	65.7
378	Velasco	1976	2008	33	96432	61375	63.6

2. *Frecuencia de ocurrencia de observaciones de tormenta con lluvia sobre la estación.* Se obtiene al dividir los casos de observaciones con códigos relativos a tormentas con lluvia sobre la estación encontrados en la serie entre el número de observaciones válidas. Los códigos utilizados son un subconjunto de los procesados para la variable “frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas”; por ende, los valores de frecuencia de esta última variable serán más bajos.
3. *Día con tormenta.* Se contabiliza cuando, al menos, existe una observación con tormenta en el día (códigos 17, 29, 91, 92, 95, 96, 97, 99). La variable asociada con esta forma de contar es el “número de días con tormenta” o nivel ceráunico y es la variable clásica en las representaciones de distribución espacial.

El método de interpolación utilizado se basa en el análisis objetivo de Cressman (Cressman, 1959), con la variante de que las distancias entre los puntos de rejilla y las estaciones son modificadas de acuerdo con los valores de campos base que permiten definir la representatividad de cada estación en distintas direcciones. La metodología utilizada es una variante más trabajada de la referida por Álvarez y colaboradores (2011a) para la obtención de la distribución espacial de los fenómenos “nieblas y neblinas” para la República de Cuba.

Los campos base utilizados fueron los siguientes:

1. Relieve del terreno.
2. Distancia a la costa.
3. Humedad utilizable de acuerdo con el código de vegetación - uso de suelo.

Los registros de los campos base fueron extraídos de las bases de datos del USGS (United States Geophysical Survey) disponibles en el sitio web del modelo MM5 (Mesoscale Model Fifth Generation), de la Universidad de Pennsylvania, los Estados Unidos [ftp://edcftp.cr.usgs.gov/pub/data/gtopo30/global.].

La resolución empleada fue de 2 minutos de grado (aproximadamente, 3.8 kms.) y las variables seleccionadas fueron la “matriz de relieve del terreno”, la “máscara de tierra-agua” (de la que se calculó la distancia a la costa) y la “matriz de vegetación y uso de suelo”, de donde se tomó el parámetro de humedad utilizable asociado con los códigos dados. El dominio de trabajo se encuentra entre los 18.0° y 24.0° latitud norte y los 72.0°, y 88.0° de longitud oeste, región esta que encierra todo el territorio de la República de Cuba.

Aunque en la mencionada base del USGS se cuenta con datos de mayor resolución (30 segundos de grado), su aprovechamiento requeriría una capacidad de cómputo apreciablemente mayor; por ello, para la distribución de las estaciones meteorológicas en estudio, teniendo en cuenta que el fenómeno tormenta se contabiliza a partir de escuchar el trueno en la estación y que el trueno puede ser oído en un radio de aproximadamente 12 km (Alfonso, 1992), la resolución de 2 minutos de grado es suficiente y eficiente. No obstante, el algoritmo creado puede utilizar los datos de cualquier resolución, bien sea mayor o menor, por lo cual los trabajos futuros pueden realizarse con una precisión mayor.

El algoritmo de interpolación cuenta con los pasos siguientes:

1. Decodificación de los registros de la base USGS y cálculo de los campos base para el dominio de estudio.
2. Elaboración del algoritmo de interpolación.

El algoritmo consiste en aplicar iterativamente el método (ya iterativo) de Cressman utilizando como expresión para la distancia la siguiente:

$$Dw = \sqrt{(C_0 \text{dist})^2 + \sum_{n=1}^m (C_n \Delta V_n)^2}$$



Donde:  $m=3$ , por ser considerados solo tres campos base en el estudio;  $D_w$  es la distancia pesada, según los valores de los campos base;  $C_0$  es el peso de la distancia entre las estaciones y los puntos de rejilla;  $C_n$  es el coeficiente de peso para cada uno de los campos base;  $dist$  es la distancia física entre los puntos de la rejilla interpolada y las estaciones;  $\Delta V_n$  son las diferencias entre los valores de los campos base en las estaciones y en los puntos de la rejilla.

En el proceso iterativo se comienza por darles valores de 1.0 a los coeficientes  $C_0 \dots C_n$ , y se calcula un número de mapas igual a la cantidad de estaciones disponibles, con el método de Cressman y la distancia antes definida. En cada mapa se omite una estación y se define como error de interpolación el promedio de las diferencias cuadráticas entre los valores obtenidos de estos mapas en las posiciones de sus estaciones omitidas y el valor original de la variable en estas. Entonces, se aplica un método de minimización iterativo, que repite el cálculo de los mapas modificando los pesos  $C_0 \dots C_n$  hasta obtener el menor valor posible de este error. La idea de definir el error de interpolación de esta manera, a partir de estaciones “ausentes”, busca que los pesos se ajusten tratando de obtener el menor error medio para cualquier punto del mapa, y no solamente en las localizaciones de las estaciones.

El método de minimización usado es el de “descenso más rápido” (Steepest Descent) (William, 1987).

El algoritmo de Cressman requiere de una aproximación inicial de los campos que se han de interpolar; en este caso, se asignó a cada punto de rejilla la media de los valores de las estaciones dentro de la esfera de influencia, pesados por la siguiente función de la distancia a estas.

$$\text{Peso} = 1/ D_w^4$$

El método también requiere un mecanismo para estimar los valores en las estaciones a partir de los

puntos de rejilla cercanos; en este caso, se utilizó un ajuste polinómico de grado entre 1 y 3, en dependencia de la variable que se va a interpolar. Dado que el método de Cressman puede crear zonas con gradientes muy abruptos en regiones alejadas de las estaciones, se aplica, a sugerencia del propio autor, una fase de “suavizamiento”. Aquí se utilizará la siguiente matriz de suavizamiento, con lo cual se logra una distribución espacial más regular.

$$\begin{bmatrix} 0.0 & 0.5 & 1.0 & 0.5 & 0.0 \\ 0.5 & 2.0 & 2.0 & 2.0 & 0.5 \\ 1.0 & 2.0 & 6.0 & 2.0 & 1.0 \\ 0.5 & 2.0 & 2.0 & 2.0 & 0.5 \\ 0.0 & 0.5 & 1.0 & 0.5 & 0.0 \end{bmatrix}$$

La programación del algoritmo requirió la elaboración de dos programas: “gmaps”, para extraer la información de los archivos del USGS y calcular los campos base; y “hfn”, para efectuar las interpolaciones.

Las variables que se han de interpolar son las siguientes:

1. Porcentaje de ocurrencia de observaciones con tormenta.
2. Porcentaje de ocurrencia de observaciones con tormentas con lluvia sobre la estación.
3. Número promedio anual de días con tormentas.
4. Desviación estándar del número promedio anual de días con tormentas.

Las representaciones se realizarán para una carta base a escala de 1:250000, que abarca todo el territorio nacional y que se reducirá de acuerdo con el formato de impresión.

## Resultados y discusión

Las variables definidas para su representación espacial mediante la interpolación son las siguientes:



frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta, frecuencia de ocurrencia de observaciones de tormenta con lluvia sobre la estación y promedio anual de días con tormenta, calculadas para cada una de las 69 estaciones meteorológicas que forman parte del estudio y que utilizan como base el período 1989–2008. Algunas estaciones pueden presentar períodos más cortos, pero deben ser usadas por representar más puntos de observación a la hora de hacer la interpolación, lo que hace a esta más cercana a la realidad.

La frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta se calcula de dos maneras: a) a partir de las observaciones de todos los horarios y b) sobre la base de las observaciones diurnas (07 horas a 19 horas, local), con miras a estimar los valores para todos los horarios y buscar, por comparación, la influencia que la falta de registros en los horarios de la noche y la madrugada puede introducir sobre los valores que se han de interpolar.

La comparación entre estas dos frecuencias (expresadas en *tanto por ciento*) muestra un ajuste lineal con un alto coeficiente de determinación (correlación de 0.88) y la recta de mejor ajuste presenta una pendiente cercana a uno (1) y un intercepto no muy lejano de cero (0). La prueba del intervalo de confianza para la regresión arroja la pendiente “1” dentro del intervalo, pero no el intercepto “0”, aunque muy cercano a este (0.2). Las variaciones del intercepto solo afectan sumando o restando una cantidad pequeña a los valores de la frecuencia, de modo que el error promedio entre los valores observados y estimados para todas las estaciones es de 0.56, para valores que se mueven en un rango entre 1,5 % y 10,7 %, con un promedio de 6 % de ocurrencia. Por esta razón, para la interpolación se utilizarán las frecuencias calculadas con todos los horarios, puesto que la influencia de la falta de datos de noche y madrugada no es marcada y estos representan los valores más asociados con la observación para el período 1989–2008.

Los valores calculados de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta para el período 1989–2008 son, en general, más altos que los calculados en estudios anteriores (Álvarez *et al.*, 2005, 2009b) para el período 1970–2002; de esta manera, la diferencia promedio en *porcentaje* de ocurrencia es mayor en 1,1 que en el período 1989–2008, aunque en todas las estaciones la diferencia no es igual. La figura 2 representa el cambio –en porcentaje– con respecto al trabajo de Álvarez y colaboradores (2005). Las diferencias mayores están, por lo general, en las estaciones que presentan mayores ocurrencias en ambos períodos; no obstante, las tres estaciones de mayor ocurrencia dejaron de ser Bahía Honda, Tapaste y Jagüey Grande para ser Santiago de las Vegas, Indio Hatuey y Veguitas. Como estaciones de mínima ocurrencia se mantienen, en ambos estudios, Punta Lucrecia y Punta de Maisí.

La frecuencia de ocurrencia de observaciones de tormentas con lluvia sobre la estación es un subconjunto de las observaciones con tormenta que poseen la ventaja principal, como dato, que son difíciles de “no observar”, por lo cual sirve como una comprobación más a la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta en general. En este caso, se utilizan las calculadas para el período 1989–2008, para todos los horarios del día. Los valores de esta variable van, desde registros de ocurrencia muy inferiores a 1 %, para estaciones como Punta de Maisí y Punta Lucrecia, hasta superiores a 2,5 %, para las estaciones de Santiago de las Vegas e Indio Hatuey.

Si se comparan los valores de porcentaje de ocurrencia de observaciones con tormenta, por estaciones (aquí se referirá como % 17–99 por los códigos de tiempo presente que involucra), con las cifras de porcentaje de ocurrencia de observaciones de tormentas con lluvia sobre la estación (referido como % 91–99), los valores presentan una relación lineal entre sí, con una correlación de 0.78, aunque hay valores más dispersos con respecto a la recta de mejor ajuste. Si se

analiza la diferencia entre los dos porcentajes por estaciones, se nota varias estaciones con valores por encima y por debajo del valor de la media, más o menos la desviación estándar. Los casos más señalados son por encima de la media, para la estación de Veguitas (377), y por debajo, para la estación de Punta Lucrecia (365), que se corresponden con valores máximos y mínimos del porcentaje de ocurrencia de observaciones con tormenta para el país. Al comparar las marchas interanuales de los dos porcentajes para estas dos estaciones, no se observa una diferencia marcada entre las dos marchas más allá de las diferencias en los valores de las variables, y un análisis de homogeneidad muestra iguales comportamientos para ambas series: en el caso de Punta Lucrecia, son homogéneas; en el caso de Veguitas, son decrecientes altamente significativas.

El número promedio anual de días con tormenta oscila entre 32 días y 141 días para las estaciones en estudio. La tres estaciones con mayor número de días promedio anual con tormentas son: Veguitas (377), Gran Piedra (366) y Pinares de Mayarí (371); y las tres con valores más bajos son: Punta Lucrecia (365), Punta de Maisí (369) y Varadero (328).

Si se compara este trabajo con estudios anteriores (Álvarez *et al.*, 2005), se observa un crecimiento en el número de días en la mayoría de las estaciones; de

este modo, de las 63 estaciones comparadas, 48 mostraron un balance positivo, en 14 el resultado fue negativo, y en una no varió. El promedio de crecimiento resultó de 8.6 días, con una desviación estándar de 10.6 días. De las 63 estaciones, solo 17 presentan valores de diferencia por fuera de la media, más o menos una desviación estándar, con valores verdaderamente notables para las estaciones de Palenque de Yateras (334), con 48 días más que en el estudio anterior; las estaciones de Caibarién (348), Cabo Cruz (360) y Melena del Sur (375), con 26 días; y La Sabana (372), con 16 días menos. Las estaciones de Palenque de Yateras y La Sabana están evaluadas en ambos estudios con series fundamentalmente distintas, por lo cual los resultados de la comparación no son para nada conclusivos, pero las restantes estaciones que están por encima de una desviación estándar presentaron en los anteriores análisis de homogeneidad —allí donde fue posible realizarlo (Álvarez *et al.*, 2005)— tendencias crecientes altamente significativas para el porcentaje de ocurrencia de observaciones con tormentas, y las que se encuentran por debajo de la media, menos una desviación estándar, se evaluaron de decrecientes altamente significativas u homogéneas; esto demuestra coherencia entre los resultados obtenidos en el presente trabajo y en el anterior.

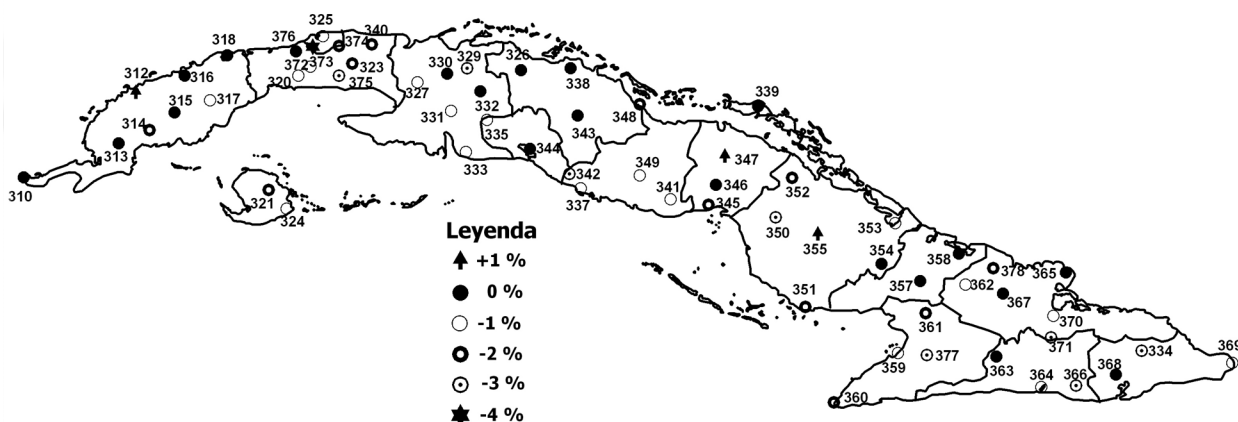


Figura 2. Cambio en por ciento de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta entre el estudio referido por Álvarez y colaboradores (2005) y la evaluación para el periodo 1989 - 2008.

La comparación entre el porcentaje de ocurrencia de observaciones con tormenta (representado por % 17-99) y el número promedio anual de días con tormenta para las 69 estaciones en estudio muestra una relación lineal con correlación de 0.9 y valores concentrados alrededor de la recta de ajuste, sin puntos específicos con marcada dispersión, como en la relación entre el porcentaje de ocurrencia de observaciones con tormentas y el porcentaje de ocurrencia de observaciones de tormentas con lluvia sobre la estación. Esto sugiere que, en general, los días con tormentas son identificados con por una sola observación con tormenta al día.

Para la distribución espacial de las variables se presentan cuatro mapas: uno referido al porcentaje de ocurrencia de observaciones con tormenta, que, para cantidades grandes de registros —tal es el caso, puede interpretarse como probabilidad de ocurrencia; otro para el porcentaje de ocurrencia de observaciones de tormenta con lluvia sobre la estación, que representa una información más fidedigna, al ser poco probable no observar la ocurrencia de ese fenómeno; otro (más clásico) referido al número de días con tormenta promedio anual (niveles cerámicos); y un cuarto que representa la desviación estándar del número de días con tormenta y que brinda una idea del rango de variación que presenta esta variable.

Con vistas a la obtención de los mapas se probaron diferentes variantes en aras de conseguir una distribución espacial lo más consecuente posible con los datos que se poseen y con el conocimiento que se tiene sobre el fenómeno. De esta manera, cuando se realizaron las interpolaciones con el método consistente en ajustar los pesos de los campos utilizando como parámetro para minimizar el error medio entre el campo estimado y los valores en las estaciones en una serie de mapas, donde cada una de estas no es tomada en cuenta en el cálculo, se genera un mapa con un mismo error medio para todos los puntos del territorio, haya o no estaciones. Los parámetros de ese error pueden interpretarse

como la descripción del error medio que puede existir al evaluar el valor de la variable en cualquier punto del territorio; este error tiene parámetros de valor medio igual a  $-0.07966406$  y desviación estándar de  $8.593143$  para la variable “número de días con tormenta”. La prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov arroja que este error puede considerarse como de distribución normal, con media  $0.0$  y varianza  $8.593143$ , con un valor del estadígrafo ( $D$ ) de  $0.0899$  y un valor de ( $P$ ) de  $0.6$ , que es mucho mayor que cualquier nivel de significación escogido habitualmente ( $0.05$ ,  $0.005$ , etc.), por lo cual la interpolación podría considerarse válida y con un error aceptable.

No obstante, dado este criterio de minimización y la forma de evaluar el error, este mapa produce errores notablemente grandes en un grupo de estaciones pequeño; según los parámetros de la distribución,  $5\%$  de las estaciones pueden tener errores de  $16$  o más días con tormenta, lo que puede interpretarse como que, para cualquier punto arbitrario en el territorio, existe  $5\%$  de probabilidad de tener un error de  $16$  o más días con tormenta, o  $33\%$  de que el error sea de  $8$  o más días. Para que esta interpretación sea válida, también es necesario que el número de estaciones sea suficientemente grande y que la cobertura de la región donde se hace el cálculo sea buena.

En la obtención del mapa por el método referido, para el número de días con tormenta, se percibe una distribución espacial suave, parecida, en general, a la lograda al usar el método de ajustar los pesos de los campos minimizando el error en las estaciones; no presenta cortes perpendiculares a las costas; y su efecto está muy bien definido para grandes áreas. El error con respecto a los valores originales en las estaciones es notablemente grande para el rango de valores de la variable, tanto subestimando, como sobreestimando valores, aunque tiende un poco más a la sobreestimación. Existen estaciones donde los valores calculados cambian el sentido de la distribución espacial para la zona, como es el caso de Santa Cruz

del Sur (351), donde sugiere un mínimo en una zona de máximo con respecto a la zona colindante o en la zona noreste de Holguín, en la cual se sobreestiman los valores de la estación Pedagógico de Holguín (367), y se subestima los de la estación Pinares de Mayarí (371), unos de los lugares con mayores reportes en el territorio cubano, suavizando el máximo que, a causa del relieve, esta última estación introduce. Este efecto tiene una explicación lógica, puesto que el método, en cierta medida, “aprende” de la relación entre los campos base y los valores en las estaciones; entonces, por ejemplo, para Santa Cruz del Sur (351), que es una zona costera con relieve bajo y humedad relativa a un uso de suelo costero, el valor de número de días con tormenta en la mayoría de las estaciones con estas características es bajo, por lo cual el método tiende a bajar los valores en la mencionada estación hasta producir una relación “no real”.

El problema es que las tormentas, como fenómeno, dependen de muchos más factores que los descritos por los campos base utilizados en el presente trabajo; por ejemplo Lecha y colaboradores (eds.) (1994) plantean que uno de los factores influyentes en la formación de tormentas es el mayor calentamiento y la acción de los regímenes de vientos locales (brisa de mar) en combinación con la circulación del Anticiclón Subtropical Noratlántico.

Carnesoltas (2002), en su trabajo sobre las brisas, plantea que aunque existe una fuerte interacción entre la circulación de brisa de mar en condiciones no continentales y la nubosidad convectiva sobre tierra durante el día, no pueden considerarse una como causa del otro, sino como dos sistemas con un origen común: el calentamiento superficial. Fernández y Díaz (2000) encontraron una relación estrecha entre la zona de confluencia del viento a las 13 horas en la región central del país y la ocurrencia de tormentas eléctricas (y también locales severas) en el período lluvioso. Todo esto indica que la mayor formación de tormentas en Santa Cruz del Sur puede deberse a di-

ferencias de calentamiento y circulación local de los vientos, aspectos que no se tienen en cuenta en los campos base para la interpolación, por la inexistencia de datos regulares que brinden esta información. Lo explicado para la estación de Santa Cruz del Sur (351) puede suceder para estaciones del país con características propias.

El método de ajustar los pesos de los campos minimizando el error en las estaciones (Álvarez y colaboradores, 2009b) conduce a obtener valores de error más pequeños en las estaciones; en este caso, los parámetros para su distribución pueden aplicarse solo en las localizaciones de estas.

Para obtener valores más aceptables en las estaciones, al mismo tiempo que en puntos arbitrarios fuera de estas, se probaron, entonces, dos alternativas: la primera se centra en calcular los pesos de los campos base minimizando una suma del error con estaciones ausentes con el error obtenido utilizando todas las estaciones, en este caso, se aplicaron relaciones de peso de 1-5, 1-7 y 1-10 entre el error “sin estaciones” y el error “con todas las estaciones”, teniendo en cuenta que el primero es de mayor magnitud, y en igualdad de pesos tiende a dominar el proceso de minimización. En este ejemplo, se observa que en la medida en que aumenta el peso del error del ajuste con todas las estaciones, disminuye, en general, la amplitud del error medio en estas, aunque, a la vez, este valor de error es menos representativo del que se tendría en puntos arbitrarios que no coincidan con las estaciones. La segunda alternativa consistió en aplicar el método de Cressman (Cressman, 1959) incluyendo todas las estaciones, pero utilizando como campo inicial el producido por el método de estaciones ausentes, con la idea de que se mejoren las diferencias en las estaciones, con una modificación mínima de los valores para los puntos alejados de estas.

El análisis de los errores muestra que la primera variante, con relaciones de peso de 1-5 hasta 1-10, disminuye mejor los valores extremos de error que la

segunda variante, y entre estas variantes de peso, la proporción 1-7 fue la que presentó una relación de compromiso más adecuada entre los errores en las estaciones y el mantenimiento de los valores de la interpolación original fuera de la localización de las estaciones. Debe señalarse que aunque el error para la proporción 1-7 para el número de días con tormenta es casi el doble que para 1-10, el rango de error de 1-7 (entre -13 y 7 días) no es muy grande respecto del valor de la variable, y la proporción no acentúa ni el peso de los valores en las estaciones ni la proporción 1-10. Por todo esto, la distribución espacial se expondrá sobre la base de los valores interpolados a partir de la proporción 1-7.

La figura 3 muestra la distribución espacial para el porcentaje de ocurrencia de observaciones con tormenta. Se observa una zona de máximo al suroeste de Pinar del Río, seguida de un marcado mínimo hacia la zona de Paso Real de San Diego, una franja de gran ocurrencia separada de las costas y hacia el centro de las provincias habaneras y de Matanzas; un crecimiento de la ocurrencia de norte a sur en las provincias centrales, con máximos en el grupo Guamuaya; valores bajos de ocurrencia en la provincia de Camagüey, con aumento hacia la costa sur y valores altos de ocurrencia para lugares separados de las costas de las provincias orientales con énfasis en las zonas montañosas. El municipio especial de Isla de la Juventud muestra máximos hacia el centro de la isla y valores un poco mayores hacia el norte de esta.

En general, el mapa guarda similitud con el obtenido por Álvarez y colaboradores (2005), aunque se observan porcentajes más altos y un efecto más marcado de la distancia a la costa, así como máximos hacia zonas separadas de estas.

El porcentaje de ocurrencia de observaciones de tormenta con lluvia en la estación (Fig. 4), como es lógico, presenta valores, en general, más bajos que la variable descrita en el párrafo anterior, aunque su distribución espacial muestra cierta similitud con el

anterior. Las zonas con mayores diferencias se concentran en las provincias orientales, donde se suavizan mucho las zonas de máximo, al parecer, por estaciones que contabilizan la tormenta más por oír el trueno que por la ocurrencia sobre la estación propiamente dicha. La Isla de la Juventud presenta valores mayores hacia las zonas central y noroccidental. En esto también existe semejanza con el estudio de Álvarez y colaboradores (2005), incluso en cuanto a la magnitud de los valores de la variable.

La figura 5 representa la distribución espacial de la variable clásica, el número de días con tormenta promedio anual (nivel cerámico); se muestra un comportamiento muy parecido al porcentaje de ocurrencia de observaciones con tormenta, aunque sus isolíneas son más suaves, agrupando máximos en tierra adentro, con énfasis en la llanura Habana-Matanzas y zonas montañosas, y marcando el efecto de la distancia a la costa. Las zonas de mínimo más marcado se agrupan en la mitad norte de la provincia de Camagüey. La Isla de la Juventud exhibe un crecimiento notable desde las costas y hacia el centro de la isla. Con respecto al estudio de Álvarez y colaboradores (2005), las diferencias principales están en una zona de mínimo al sur de Camagüey, que ahora es de máximo relativo, una mejor definición de la zona de máximo alejada de las costas de las provincias habaneras y Matanzas, y una mayor definición del efecto de distancia a la costa, sobre todo para la región oriental del país y la Isla de la Juventud. Los valores, en general, son un poco más elevados.

La desviación estándar del número de días con tormenta promedio anual (que no tiene referencia anterior, se representa en la figura 6) muestra las zonas donde hay mayor o menor variabilidad interanual. De este modo, pueden identificarse como zonas de máximo la región centro-sur de Matanzas, el sureste de Camagüey y las zonas relativas a la Sierra Maestra y el grupo Sagua-Baracoa. Las zonas de mínimo se concentran en el noroeste de Pinar del Río, la



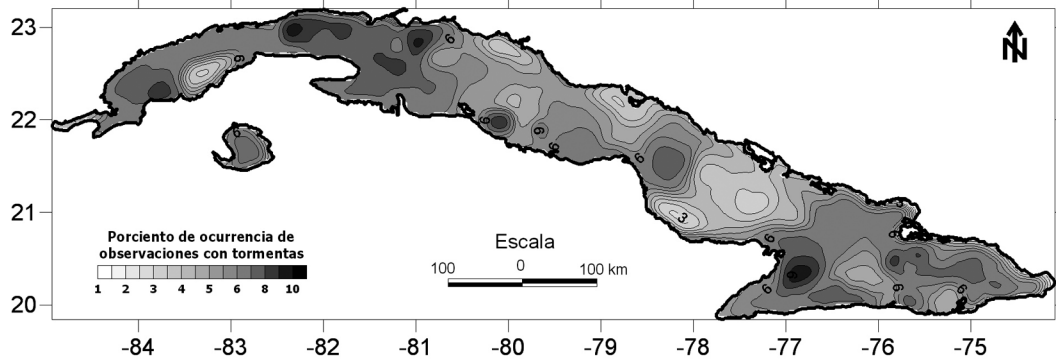


Fig. 3 Distribución espacial del por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta (carta base escala 1:250000).

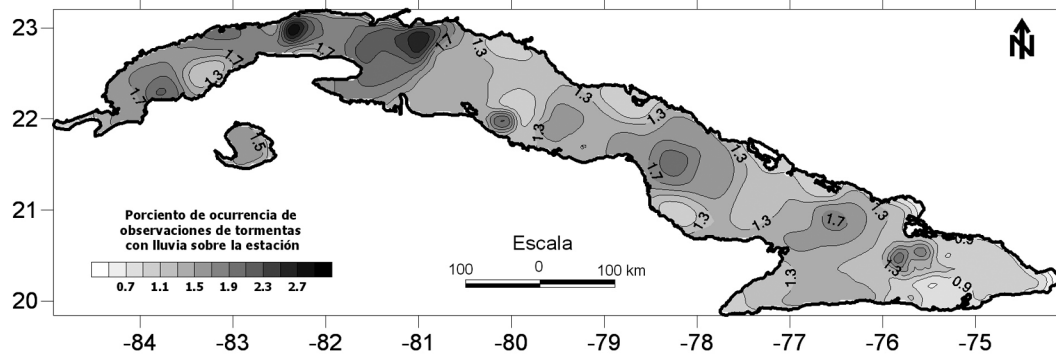


Fig. 4 Distribución espacial del por ciento de ocurrencia de observaciones de tormenta con lluvia sobre la estación (carta base escala 1:250000).

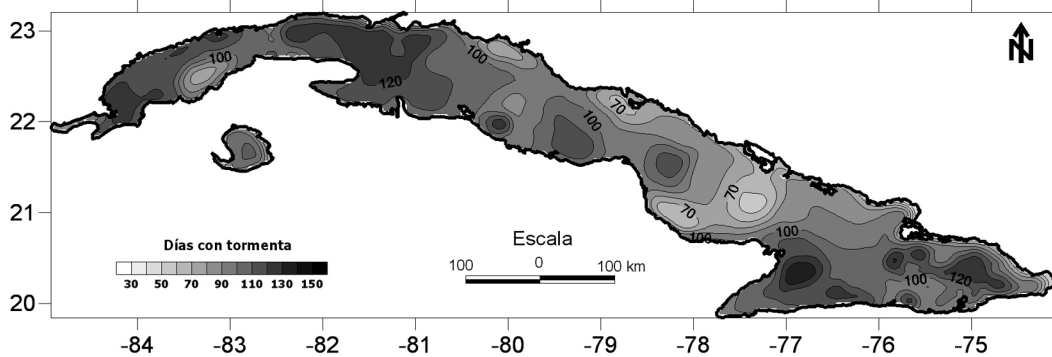


Fig. 5 Distribución espacial del número de días con tormenta promedio anual (carta base escala 1:250000).

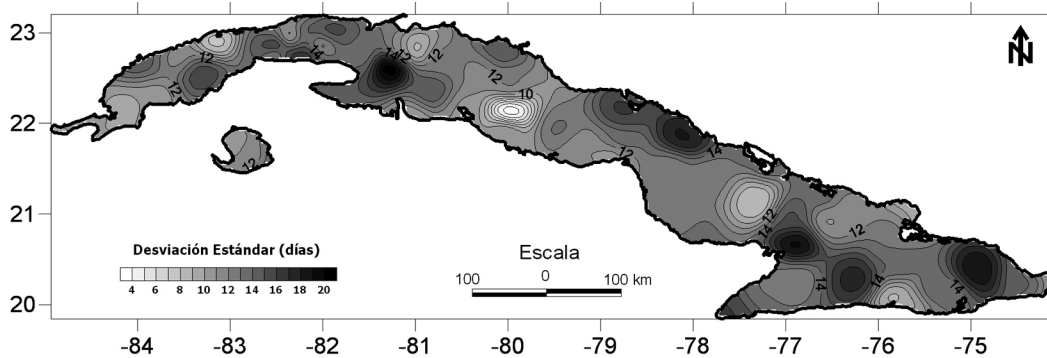


Fig. 6 Distribución espacial la desviación estándar del número de días con tormenta promedio anual (carta base escala 1:250000).

región central de las provincias de Cienfuegos, Villa Clara y Sancti Spiritus, y el centro-este de Camagüey y Santiago de Cuba. Debe resaltarse que la variación interanual reflejada puede llegar hasta 20 días de diferencia entre año y año.

Los mapas presentados ofrecen la distribución espacial de las variables analizadas, con un error aceptable con respecto a los puntos dados por las estaciones; en general, su forma exhibe un comportamiento suave y consecuente con el conocimiento empírico que se tiene sobre la ocurrencia del fenómeno tormenta y en la relación con los campos base definidos para el estudio. No obstante, pudiera lograrse una representación mejor si se contase con parámetros ligados a la formación y el desarrollo de las tormentas, que pudieran utilizarse como campos base; por ejemplo, las diferencias de temperatura sobre el terreno y el comportamiento de los regímenes de vientos locales.

Otra forma de tener, al menos, un punto de comparación y evaluación para la distribución espacial de tormentas sería la obtención de datos para el área de Cuba durante varios años de medición de los dispositivos LIS y OTD. Entonces, la temática de estudio queda abierta a nuevos análisis y la aplicación de metodologías, así como a la obtención de nuevas fuentes de información.

## Conclusiones y recomendaciones

El estudio actual para el período 1989–2008 muestra un aumento de los porcentajes de ocurrencia de observaciones con tormenta en 63,5 % de las estaciones y de 76,2 % para el promedio anual de días con tormenta, con respecto al estudio realizado por Álvarez y colaboradores (2005).

La metodología de interpolación utilizada permitió la obtención de mapas de distribución espacial con un error aceptable respecto de los puntos dados por las estaciones y, en general, su forma muestra un comportamiento suave y consecuente con el conoci-

miento empírico que se tiene sobre la ocurrencia del fenómeno tormenta.

La distribución espacial de las tres variables estudiadas arroja comportamientos similares, con máximos de ocurrencia en zonas alejadas de las costas y montañosas, y mínimos en la costa norte de las provincias de Ciego de Ávila y Camagüey, y el sureste de la provincia de Pinar del Río.

La desviación estándar del número de días con tormenta promedio anual muestra una variación interanual que puede llegar hasta 20 días de diferencia entre año y año, con zonas de máximo en la región centro-sur de Matanzas, el sureste de Camagüey, y zonas relativas a la Sierra Maestra y el grupo Sagua-Baracoa, y zonas de mínimo al noroeste de Pinar del Río, la región central de las provincias de Cienfuegos, Villa Clara y Sancti Spiritus, el centro-este de Camagüey y Santiago de Cuba.

Se recomienda continuar profundizando en los estudios de los métodos de interpolación de variables relacionadas con la ocurrencia de fenómenos meteorológicos, mediante la incorporación de nuevos parámetros como campos base utilizados para estas.

Se aconseja comparar los resultados obtenidos en el presente trabajo con las bases de conteos de relámpagos determinados con los dispositivos LIS y OTD, siempre que esta información pueda ser obtenida libre y convenientemente para la comparación.



## Bibliografía

- ALFONSO, A. P. (1986): “Aspectos climatológicos de las turbonadas en la Ciudad de La Habana”, *Ciencias de la Tierra y el Espacio*, vol. 12, pp.: 85-100.
- \_\_\_\_\_ (1992): “Descargas eléctricas en Cuba. Aspectos meteorológicos”, *Revista Cubana de Meteorología*, vol. 5, no. 2, pp.: 100-105.
- ÁLVAREZ, L., I. BORRAJERO, R. ÁLVAREZ, I. RIVERO, M. CARNESOLTAS, A. CALNICK, V. GUEVARA, M. LIMIA, A. LEÓN Y Y. ROJAS (2011a): “Distribución espacial de los fenómenos neblinas y nieblas en Cuba”, *Revista Cubana de Meteorología*, vol. 17, no. 2, pp.: 58-67.
- ÁLVAREZ, L, BORRAJERO, I & ÁLVAREZ, R (2009a): “Análisis de la calidad de los registros de código de estado de tiempo presente y representatividad de los fenómenos neblinas y nieblas a partir del estudio de esta variable”, Ponencia presentada al V Congreso Cubano de Meteorología, Ciudad Habana, 30-4 dic., 2009 (publicación electrónica), ISBN 978-959-7167-20-4, F:\Data\Trabajos completos. pdf, pp. 1501-1512.
- \_\_\_\_\_ (2009b): “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*, vol. 15, no. 1, pp.: 14-22.
- ÁLVAREZ, L, I. BORRAJERO, R. ÁLVAREZ, L. AENLLE, B. PÉREZ, N. FERNÁNDEZ, M. PÉREZ, L. MUÑIZ, L. RODRÍGUEZ, M. RODRÍGUEZ, C. IRAOLA, O. COSTALES, H. CAYÓN Y L. LÓPEZ (2005): *Estudio de la localización espacial de las tormentas eléctricas en Cuba y su tendencia*, Informe final de resultado científico, UDICT, Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba.
- ÁLVAREZ, L, I. BORRAJERO, R. ÁLVAREZ, L. AENLLE, I. RIVERO, C. IRAOLA, Y. ROJAS Y M. HERNÁNDEZ (2011b): “Análisis de la calidad de la información de los registros de tiempo presente y estudio de la marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta”, Ponencia presentada al VI Congreso Cubano de Meteorología, La Habana, 29-2, dic., 2011.
- ÁLVAREZ, R. (1983): “Turbonadas en Cuba respecto a su localización geográfica por las precipitaciones”, *Ciencias de la Tierra y del Espacio*, vol. 7, pp.: 111-115.
- CARNESOLTAS, M. (2002): “La circulación local de brisa de mar y tierra. Conceptos fundamentales”, *Revista Cubana de Meteorología*, vol. 9, no. 1, pp.: 39-60.
- CHRISTIAN, H. J., R. J. BLAKESLEE, D. J. BOCCIPPIO, W. L. BOECK, D. E. BUECHLER, K. T. DRISCOLL, S. J. GOODMAN, J. M. HALL, W. J. KOSHAK, D. A. MACH AND M. F. & STEWART (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.
- CHRISTIAN, H. J., R. J. BLAKESLEE, S. J. GOODMAN, D. A. MACH, M. F. STEWART, D. E. BUECHLER, W. J. KOSHAK, J. M. HALL, W. L. BOECK, K. T. DRISCOLL AND D. J. BOCCIPPIO (1999): “The Lightning Imaging Sensor”, *Proceedings of the 11th International Conference on Atmospheric Electricity*, Guntersville, Alabama, Jun., 7-11, 1999, pp.: 746-749.
- CRESSMAN, G. P. (1959): “An operational objective analysis system”, *MWR*, vol. 87, no. 10, pp.: 367-374.
- DAI, A. (2001a): “Global Precipitation and Thunderstorm Frequencies. Part I: Seasonal and Interannual Variations”, *Journal of Climate*, vol. 14, no. 6, pp.: 1092-1111.
- DAI, A. (2001b): “Global Precipitation and Thunderstorm Frequencies. Part II: Diurnal Variations”, *Journal of Climate*, vol. 14, no. 6, pp.: 1112-1128.
- FERNÁNDEZ, A. J. Y Y. A. DÍAZ (2000): “La zona de confluencia del viento a las 13 horas y las precipitaciones en la región central de Cuba”, *Revista Cubana de Meteorología*, vol. 7, no. 1, pp.: 34-37.

- HUFFINES G. AND R. ORVILLE (1999): “Lightning Ground Flash Density and Thunderstorm Duration in the Continental United States: 1989–96”, *Journal of Applied Meteorology*, vol. 38, pp.: 1013–1019.
- LAY, E. H., A. R. JACOBSON, R. H. HOLZWORTH, C. J. RODGER AND R. L. DOWDEN (2007): “Local time variation in land/ocean lightning flash density as measured by the World Wide Lightning Location Network”, *J. Geophys. Res.*, vol. 112, pp.: D13111.
- LECHA, L. B., L. R. PAZ Y B. LAPINEL (eds) (1994): *El Clima de Cuba*, Editorial Academia, La Habana, 186 pp.
- NTELEKOS, A. A., J. A. SMITH AND W. F. KRAJEWSKI (2007): “Climatological analices of Thunderstorms and Flash Floodsin the Baltimore Metropolitan Region”, *Journal of Hydrometeorology*, vol. 8, pp.: 88–101.
- OLARTE, E., I. SANTOYO, D. ARANGUREN, E. PÉREZ, J. HERRERA Y H. TORRES (2009): “Sistema colombiano de información de tormentas eléctricas soportado en RENATA”, *Red Nacional Académica de Tecnología Avanzada RENATA*, Colombia, [http://www.renata.edu.co/index.php/descargas/doc\\_download/58-red-colombiana-de-informacion-de-tormentas.html](http://www.renata.edu.co/index.php/descargas/doc_download/58-red-colombiana-de-informacion-de-tormentas.html).
- ORVILLE, R. E., G. R. HUFFINES, W. R. BURROWS, R. L. HOLLE AND K. L. CUMMINS (2002): “The North American Lightning Detection Network (NALD–N)–First Results: 1998–2000”, *Monthly Weather Review*, vol. 130, pp.: 2098–2109.
- PESSI, A. T. AND S. BUSINGER (2009): “Relationships among Lightning, Precipitation, and Hydrometeor Characteristics over the North Pacific Ocean”, *J. Appl. Meteor. Climatol.*, vol. 48, pp.: 833–848.
- RODGER, C. J., J. B. BRUNDELL, R. H. HOLZWORTH AND E. H. LAY (2009): “Growing Detection Efficiency of the World Wide Lightning Location Network”, *Proceedings of the Workshop, AIP Conference Proceedings*, vol. 1118, pp.: 15–20.
- WILLIAM, H. (1987): *Numerical Recipes*, Cambridge University Press, UK, 666 pp.
- WMO (1956): “World distribution thunderstorm days”, *WMO*, no. 21, TP 21, 71 pp.
- WMO (1988): “Manual on codes”, *WMO*, no. 306, vol. 1, sec. D, tab. 4677.
- WMO (1992): “Vocabulario Meteorológico Mundial”, *OMM*, no. 182, 784 pp.