



Distribución espacial de fenómenos meteorológicos en Cuba clasificados a partir del código de tiempo presente II

Spatial distribution of meteorological phenomena in Cuba, based on present weather codes reported at stations II

Lourdes Álvarez-Escudero[✉], Israel Borrajero-Montejo

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

Resumen

La distribución espacial de fenómenos meteorológicos es información necesaria para la planificación del desarrollo económico y social del país, así por ejemplo para la protección contra descargas es necesario conocer el nivel cerámico en la localidad que se pretende proteger. El objetivo general del trabajo es especificar la distribución espacial de los fenómenos “lluvias”, “relámpagos”, “chubascos” y “tormentas” para el territorio cubano. A partir de los registros de código de estado de tiempo presente para todas las estaciones meteorológicas de Cuba se determinan los parámetros de por ciento de ocurrencia de observaciones y número promedio anual de días con los cuatro tipos de fenómenos en estudio, usando como periodo base 1989 – 2010. Las observaciones con tormenta presentan máximos de ocurrencia hacia el norte de la provincia Pinar del Río y el interior de La Habana, Artemisa, Mayabeque y el oeste de Matanzas. En el resto de las provincias los valores crecen de norte a sur con máximos de ocurrencia en las zonas montañosas. Las “lluvias”, “chubascos” y “tormentas” en su conjunto son prominentes al norte de Pinar del Río y Artemisa y en el centro de Matanzas y Guantánamo en coincidencia con zonas de altos acumulados de lluvia. La ocurrencia del “relámpago” visible se destaca en el interior de Matanzas y en zonas montañosas. Las distribuciones espaciales del número promedio anual y por ciento de observaciones con determinado fenómeno son similares.

Palabras clave: fenómenos meteorológicos, lluvias, chubascos, tormentas eléctricas, código de estado de tiempo presente

Abstract

The spatial distribution of meteorological phenomena is an important share of the information required for social and economic planning in the country, for instance, in order to achieve an effective protection against electrical discharges, it is necessary to know the keraunic level at the site to be protected. The main purpose of this work is to derive the spatial distribution of phenomena “rain”, “lightning”, “showers”, and “thunderstorms” for the Cuban territory. Based on Present weather code records for all meteorological stations in Cuba, percents of observations and

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

Recibido: 14/8/2017

Aceptado: 6/12/2017

yearly average of days where each of the four codes is reported are obtained for the period 1989 – 2010. Thunderstorm observations show occurrence maxima towards the North of Pinar del Rio and inland Havana, Artemisa and Mayabeque, as well as West Matanzas. Over the rest of the provinces values rise from North to South with local maxima at mountain regions. Rains, showers and storms altogether are prominent North of Pinar del Rio and Artemisa, and at the center of Matanzas and Guantánamo, where they match zones of high precipitation accumulates. Occurrence of lightning is relevant at the center of Matanzas and at mountain regions. The spatial distributions of percents of occurrence and number of days per year for each phenomenon are similar.

Key words: meteorological phenomena, rain, rain showers, thunderstorms, present weather code

INTRODUCCIÓN

La distribución espacial de fenómenos meteorológicos es información necesaria para la planificación del desarrollo económico y social del país. Las descargas eléctricas por ejemplo, pueden provocar pérdidas de vidas humanas, de hecho es el fenómeno que provoca mayor número de muertes por fenómenos naturales en Cuba además de innumerables daños a la infraestructura económica; por esta razón conocer donde se producen más o menos tormentas permitiría trazar planes de contingencia y diseñar los sistemas de protección adecuados. Las lluvias, los chubascos y las precipitaciones asociadas a las tormentas, sin embargo, son la manera natural de mantener los recursos hídricos del país.

Los fenómenos meteorológicos más estudiados en general son las tormentas eléctricas, y los diferentes tipos de lluvia, sobre todo las intensas. Las tormentas eléctricas se han estudiado muy ampliamente sobretodo su climatología ([OMM, 1956](#); [WRC, 1942a, b](#); [Byers y Braham, 1949](#); [Easterling y Robinson, 1985](#); [Changnon, 1988a, 1988b](#); [Dai, 2001a, 2001b](#)). Todos estos estudios colocan la mayoría de ocurrencia de las tormentas en los veranos de cada hemisferio y en horas de la tarde y la noche en dependencia de la zona de estudio, marcando una diferencia entre las áreas terrestres y oceánicas. Nuevos estudios se han realizado más recientemente 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](#); [Virts et al., 2013](#)) y fotografías espaciales dadas por los dispositivos OTD y LIS ([Christian et al., 1999, 2003](#); [Pessi y Businger, 2009](#); [Cecil et al., 2014, 2015](#); [Albrecht et al., 2016](#)) y que muestran resultados coincidentes con los obtenidos con las observaciones de estaciones de superficie, pero caracterizan también las zonas donde estas no existen. Una de las temáticas más actuales es la del pronóstico de rayos mediante modelos numéricos como por ejemplo, con el uso del modelo Weather Research and Forecasting ([McCaul et al., 2009](#); [Lynn y Fair, 2010](#); [Dahl et al., 2011a, 2011b](#); [Fierro et al., 2013](#)), algunos con el uso del “Lightning Forecast Algorithm” (LFA).

[Dai \(2001a, 2001b\)](#) en sus trabajos, además de las tormentas, analiza la distribución espacial de las lloviznas, los chubascos y la lluvia extrayendo la información de los registros de tiempo presente y encuentra los diferentes comportamientos muchas veces determinado por la relación entre mares y tierras y la época del año.

En Cuba el estudio más abarcador sobre aspectos climáticos de fenómenos y variables meteorológicas lo constituye el presentado por [Lecha et al. \(1994\)](#), donde se describe el comportamiento de diferentes fenómenos con énfasis en las tormentas eléctricas. Para localidades específicas del país también se han estudiado las tormentas y otros fenómenos reductores de la visibilidad ([Alfonso, 1980](#); [Alfonso y Florido, 1993](#)).

[Álvarez \(2006\)](#) y [Álvarez y colaboradores \(2006a, 2009b\)](#) trabajaron con datos de tiempo presente actualizados de 63 estaciones para caracterizar la distribución espacial, regionalización, marcha diaria, tendencia y relación con la lluvia de las tormentas eléctricas. En 2008 se actualizó el estudio de la distribución espacial de las tormentas eléctricas, aplicando técnicas de interpolación inteligente ([Álvarez et al., 2012a, 2012b](#)) que mostró un aumento de los por cientos de ocurrencia de observaciones con tormenta aunque la distribución espacial de las variables asociadas a tormentas mostró comportamientos similares a los de anteriores trabajos. Para dos regiones del país se han realizados estudios de comportamiento de diferentes fenómenos a partir de los datos de código de estado de tiempo presente, estas son el Ecosistema costero Sabana Camagüey ([Álvarez, et al., 2006b](#)) y Gibara en la provincia Holguín asociada al aprovechamiento de la energía eólica ([Álvarez, et al., 2008, 2009a](#)).

El objetivo del presente trabajo es especificar la distribución espacial de los fenómenos “lluvias”, “relámpagos”, “chubascos” y “tormentas” para el territorio cubano a partir de los registros de código de estado de tiempo presente de todas las estaciones meteorológicas de Cuba, usando como periodo base 1989 – 2010.

MATERIALES Y MÉTODOS

La base fundamental de información utilizada en el presente trabajo la constituyeron los registros de código de estado de tiempo presente de 68 estaciones a lo largo de todo el país cuya distribución espacial se especificó por [Álvarez-Escudero y Borrajero \(2016a\)](#).

Para el estudio de la distribución espacial se trabajó con el periodo recomendado 1989 – 2010 ([Álvarez-Escudero et al., 2014a](#)), aunque debido a que se estaban describiendo fenómenos tanto diurnos como nocturnos y que varias estaciones no tenían observaciones de noche y madrugada, se hizo un análisis puntual estación a estación reajustando las series al

periodo que tenían la información más completa. Cuando dentro de las series en uso, había meses por debajo del 95% de información, el valor de la variable que se calculaba, se sustituía por el promedio del valor de los meses aledaños al incompleto ([Álvarez-Escudero y Borrajero, 2016a, 2016b](#)). Trabajar con los periodos seleccionados permitió que los por cientos de información útil para todas las series oscilaran entre 99 y 100%. Las únicas estaciones con información completa en el periodo y que no hubo que hacer ninguna rectificación fueron Bahía Honda (318) en la provincia de Artemisa, Casablanca (325) en la provincia la Habana y Camagüey (355) en la provincia del mismo nombre. El 97 % de las estaciones poseían series de al menos 5 años y 12 series trabajaron con los 22 años máximo del periodo recomendado, solo dos estaciones Jagüey Grande (331) y Santiago de la Vegas (373) presentaron solo dos años de información completa debido a que en los últimos tiempos fueron sometidas a reparaciones y cierres y en años anteriores no realizaban observaciones de noche y madrugada.

Los datos fueron tomados de la Base de Datos Nueva_THOR ([Álvarez-Escudero et al., 2014a](#)) implementada en MS-ACCESS para su gestión.

Para la identificación de los cuatro fenómenos en estudio a partir del código de estado de tiempo presente se tomaron los valores de código, según la Tabla 4677, sobre “Tiempo presente, comunicado desde una estación meteorológica dotada de personal”, del Manual de Claves ([WMO, 1988](#)) y su identificación se recoge en la [tabla 1](#). Los códigos no representados en la Tabla 1 se refieren a casos de ocurrencia muy baja o nula para la región de estudio.

Aquí a diferencia de lo definido en el estudio de marcha interanual ([Álvarez-Escudero et al., 2014b](#)) se unieron los códigos relativos a “lluvias” sobre la estación y “lluvias lejanas” en aras de ganar en número de casos y representatividad. Los otros fenómenos no presentaron esta diferencia y las tormentas

Tabla 1. Fenómenos meteorológicos utilizados en el estudio y códigos de estado de tiempo presente que los describen

Fenómeno	Códigos de estado de tiempo presente
Relámpago visible	13
Lluvias	14, 15, 16, 21, 23, 24, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69
Chubascos	18, 25, 26, 27, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90
Tormentas	17, 29, 91, 92, 95, 96, 97, 99

tuvieron un horizonte mayor que el de los otros meteoros ya que se identificaron por escuchar el trueno.

Las variables de trabajo fueron:

- Frecuencia de ocurrencia de observaciones asociadas a determinado fenómeno, dado como la cantidad de observaciones referidas a cada fenómeno sobre el número total de observaciones válidas.
- Número promedio anual de días con determinado fenómeno, dado por el promedio entre los años de la serie, de la cantidad de días al año en que al menos hay una observación reportada de ocurrencia del fenómeno en estudio.
- Desviación estándar del número promedio anual de días con determinado fenómeno. Esta variable se explica por si sola y solo se evaluó en el caso que la representación de la distribución espacial necesite interpolación como es el caso de las tormentas.

Los fenómenos en estudio presentaron un comportamiento de efecto bastante local y específico del lugar donde ocurren. Las estaciones cubanas tienen horizontes de corto alcance y en muy pocos casos se solapan, por lo que estimar los valores en puntos intermedios entre estaciones es muy difícil, ya que tampoco existen campos medios de otras variables suficientemente específicos, como para ser relacionados por ejemplo, con la ocurrencia de las lluvias y los chubascos. Constituye excepción en este sentido las tormentas, tradicionalmente representadas con mapas de isólinas ([Lecha, et al., 1994](#); [Álvarez, 2006](#); [Álvarez et al., 2009b, 2012b](#)) y

que de estudios anteriores se relacionaron con magnitudes como la topografía del terreno, la distancia a la costa y el tipo uso de suelo dado por bases internacionales, alimentadas por información de satélites. A pesar de realizar un trabajo con varios campos siempre se encontraban dificultades en la interpolación, debido a las diferencias entre mar y tierra, entre la costa norte y sur de la Isla de Cuba y por la presencia de la plataforma insular con aguas poco profundas en varios sectores de las costas cubanas.

Debido a lo explicado en el párrafo anterior, aquí se trabajaron los mapas de distribución espacial para cada fenómeno, dando los valores en cada estación, representados con círculos cuyos radios están en proporción con los rangos de magnitud de la ocurrencia del fenómeno en cuestión.

Las categorías o rangos de ocurrencia fueron cinco, identificados como: “Muy poco frecuente”, “Poco frecuente”, “Medianamente frecuente”, “Frecuente” y “Muy frecuente” y los rangos numéricos correspondientes se fijan a partir de haber calculado cinco intervalos aproximadamente equivalentes de la diferencia del valor máximo y mínimo de la ocurrencia del fenómeno y donde el valor promedio para todas las estaciones pertenezca al rango “Medianamente frecuente”. Deben tenerse en cuenta los casos aislados donde puede haber valores extremos de ocurrencia, para que no introduzcan sesgos en el diseño del valor numérico de los límites de los rangos. Para el número promedio anual de días con determinados fenómenos también se utilizó la misma denominación de rangos, pero sus

valores numéricos se refirieron a número de días.

En el caso de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta o número promedio anual de días con tormenta, si se realizó un mapa de isóneas siguiendo el método de interpolación dado por [Álvarez y colaboradores \(2012b\)](#), aunque aquí se introdujeron dos cambios. El primero se refiere a que las bases de los campos de referencia que son: el relieve del terreno, la distancia a la costa y la humedad utilizable de acuerdo con el código de vegetación - uso de suelo, tuvo en el caso de los dos primeros una resolución de 30 segundos de grado (0.92 km). La diferencia con el método anterior que trabajaba con una resolución de 2 minutos de grado, fue que los valores que se daban en los puntos de rejilla resultaban del valor más frecuente de una celda de 16 por 16 puntos asociada al punto definido para esta resolución y ahora se trabajó con el valor en el punto en sí a una resolución 4 veces mayor. El tercer campo referido a la humedad utilizable de acuerdo con el código de vegetación – uso de suelo no se usó debido a que para pruebas realizadas con resolución de 4 km y con la variable número promedio anual de días con tormentas, se constató que para este fenómeno su influencia es casi nula, pues la mejora promedio del error es de -0.03 días y con respecto a las estaciones a algunas las beneficiaba y a otras las perjudicaba, además para resoluciones de 30 segundos, los datos de código de vegetación – uso de suelo, estaban definidos en diferentes ficheros representativos de diferentes áreas sobre el territorio de estudio, por lo que podrían no todas tener la misma calidad y la introducción de este campo en el ajuste hace que el proceso de obtención del mapa sea sensiblemente más costoso desde el punto de vista computacional. No obstante teniendo en cuenta la naturaleza física de otros fenómenos como las lluvias, por ejemplo, habría que valorar el uso de este campo o no, si se pretende hacer un mapa interpolado de

distribución espacial del mencionado fenómeno, pero esto está fuera de los objetivos de este estudio. El segundo cambio es que para los campos de relieve y distancia a la costa se usaron en este caso los datos de la base GEBCO ([GEBCO, 2003](#)) que además de tener resolución de 30 segundos, brindan información tanto del relieve sobre tierra como de la batimetría en los puntos sobre el mar y esto implicó que las interpolaciones en zonas cercanas a la costa pueden tener influencia de este parámetro, que puede ser distinto según el sector de costa en que se trabaje, lo que implicó diferencias entre puntos de la costa norte y sur y en el tránsito de tormentas por zonas marítimas bajas.

A partir de los valores de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas y número promedio anual de días con tormentas en las estaciones se obtuvieron los mapas de estas dos variables en una rejilla que abarca todo el territorio cubano y un mapa de desviación estándar con respecto a la media para la misma rejilla. Las representaciones se realizaron para una carta base a escala de 1:250000 que abarca todo el Territorio Nacional y que se redujo según el formato de impresión. La programación del algoritmo requirió la reelaboración de dos programas desarrollados por uno de los autores del presente artículo en la versión anterior del mapa de tormentas ([Álvarez y colaboradores, 2012b](#)); “gmaps” para extraer la información de los archivos del GEBCO donde antes lo hacía de la base del USGS (United States Geophysical Survey) y calcular los campos base y “hfn” para efectuar las interpolaciones.

Con el objetivo de ganar en representatividad se evaluó la ocurrencia de varios fenómenos con características físicas afines y se trazó un mapa de distribución espacial correspondiente con todas las formas de precipitación, es decir, lluvias, chubascos y tormentas. Este mapa también se dio por rangos de ocurrencia.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Distribución espacial de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con determinados fenómenos

El fenómeno catalogado como “relámpago visible” agrupó el 95% de las estaciones en las categorías no extremas de “poco frecuente”, “medianamente frecuente” y “frecuente”, aunque para todo el país tuvo un 6.6% promedio de ocurrencia. El valor de ocurrencia es mínimo en la estación de Varadero (328) y máximo en Unión de Reyes (327) y Contramaestre (363). La distribución espacial no mostró un comportamiento regular ([Figura 1](#)), aunque hay ciertos agrupamientos en las laderas norte de la región montañosa de Pinar del Río y la mitad oeste de la Sierra Maestra y en zonas llanas de Matanzas, oeste de Villa Clara, Ciego de Ávila y el oeste de Camagüey. Este fenómeno debería ser más observado en las costas y lugares altos, sin embargo no se reporta de esta manera, pues es posible que la forma larga y estrecha del país permita la observación del relámpago, en caso de ocurrir, desde cualquier localidad tierra adentro. En la Isla de la Juventud los valores fueron “poco o medianamente frecuentes”.

Las lluvias presentaron un promedio de ocurrencia para todo el país del 3% del total de observaciones, pero ninguna estación arrojó valores de cero ocurrencia o cercanos. La ocurrencia fue mínima (1.05%) para la estación de Amistad Cuba Francia en la Isla de la Juventud y máxima para Paso Real de San Diego (317), Unión de Reyes (327) y Santiago de las Vegas (373) donde alcanzó el máximo absoluto de 7.69%. El 85% de las estaciones clasificó entre las categorías de “muy poco y poco frecuentes”. La distribución espacial ([Figura 2](#)) no muestra zonas de agrupación por rangos de frecuencia ya que la mayoría de las estaciones los por ciento de ocurrencia se enmarcan en los rangos mínimos. La provincia La Habana muestra un área de altas ocurrencias.

Los “chubascos” presentaron un promedio de ocurrencia más bajo que el de las lluvias ya que alcanzaron solo un 1.49%. El 73% de las estaciones se agrupa en las categorías de “muy poco y poco frecuentes” con un mínimo absoluto en la estación de Manzanillo (359) y máximo en la estación de Jamal (356). Las estaciones de Paso Real de San Diego (317), Unión de Reyes (327) y Santiago de las Vegas (373) con valores máximos de ocurrencia para las “lluvias”, lo fueron de mínima para los “chubascos” con valores por debajo del 1%. Las tres estaciones de la Isla de la Juventud con valores “muy poco frecuentes” para las “lluvias” fueron “medianamente frecuentes” para los “chubascos” con valores por encima del 2%. Los “chubascos” presentan áreas de mayor frecuencia de ocurrencia al norte de las provincias de Las Tunas y Holguín y en Guantánamo y generalmente las estaciones con rangos más altos de ocurrencia son más cercanas a las costas ([Figura 3](#)).

Las frecuencia de observaciones con tormentas ([Figura 4](#)) mostró un comportamiento parecido al de estudio anterior con cierre en el 2008 ([Álvarez y colaboradores, 2012b](#)), dado que la información base cambió poco en por ciento con solo algunas estaciones donde la diferencia podía estar por encima del 2%. Las estaciones con mayores diferencias resultaron Jagüey Grande (331), Santiago de las Vegas (373) y Tapaste (374). Estos cambios se debieron fundamentalmente a que las dos primeras estaciones permanecieron sin observaciones por más de un año hacia el final de la serie y en periodos anteriores no poseían datos de noche y madrugada, por lo que en los cálculos de frecuencia pesaron mucho los últimos años donde los valores en general eran más bajos. En la estación de Tapaste (374) hay un decrecimiento marcado desde el final del 2003 que conlleva a valores más bajos al final de la serie. Debe resaltarse que Santiago de las Vegas (373) y Tapaste (374) son estaciones relativamente cercanas y sus comportamientos son similares a pesar de la falta de datos en la

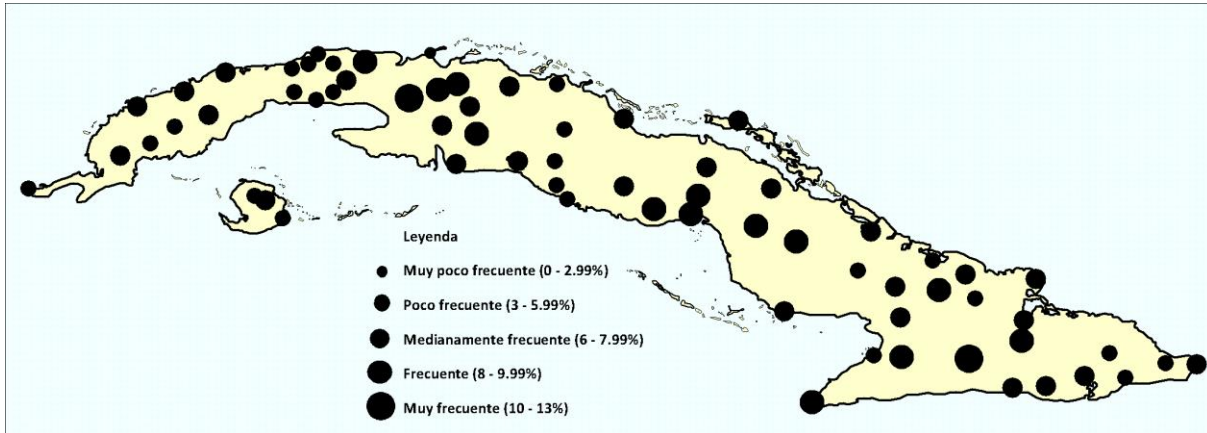


Figura 1. Distribución espacial por rangos de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con “relámpagos” para Cuba

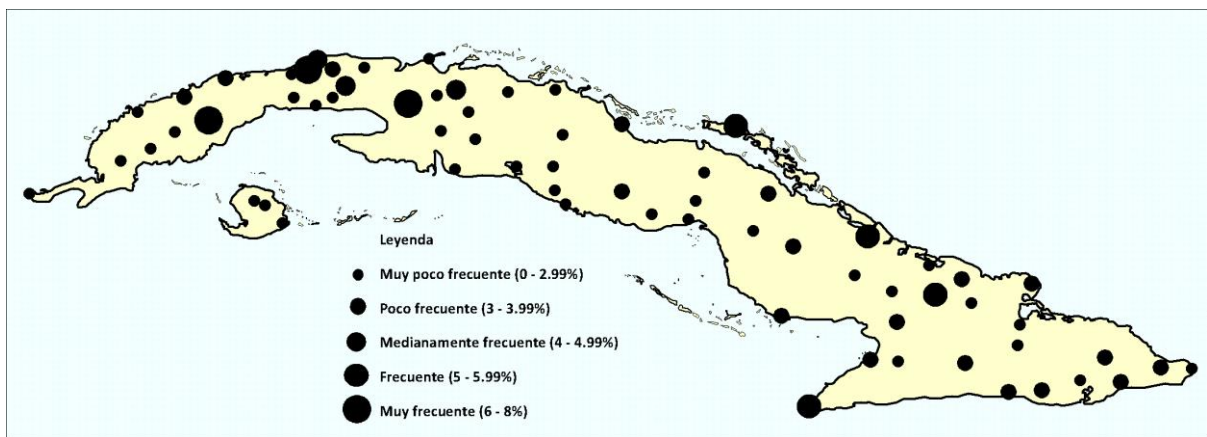


Figura 2. Distribución espacial por rangos de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con “lluvias” para Cuba

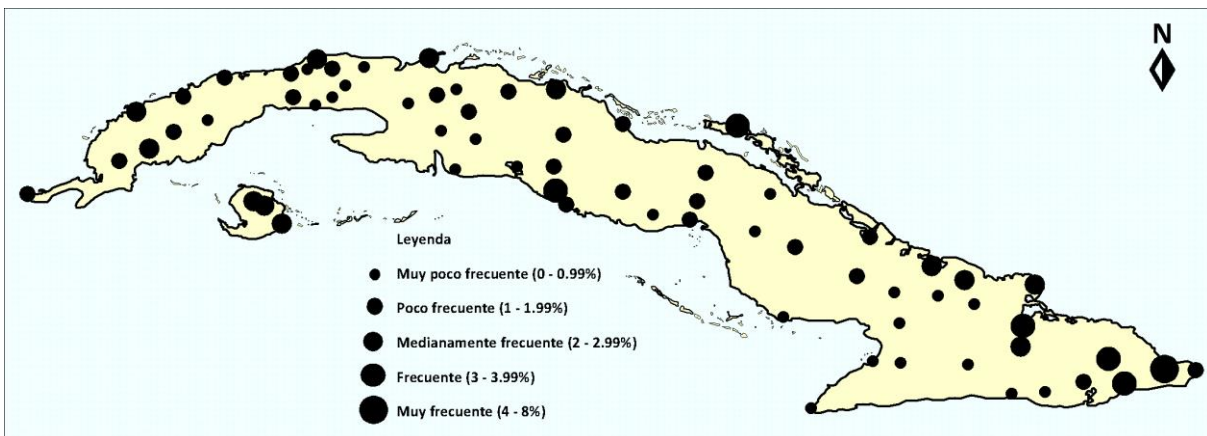


Figura 3. Distribución espacial por rangos de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con “chubascos” para Cuba

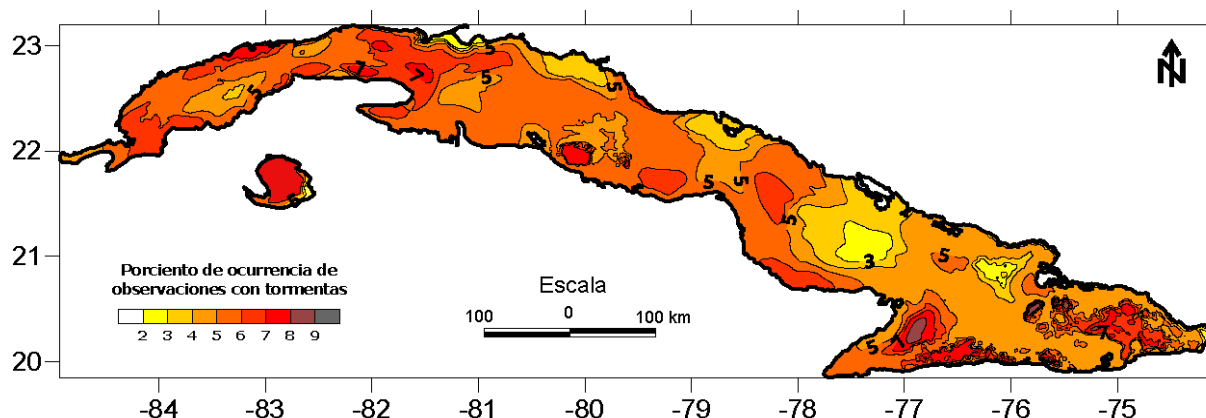


Figura 4. Distribución espacial de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con “tormentas” para Cuba (carta base escala 1:250000)

primera. Para todas las estaciones el por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta fue de 5.17, con un máximo de 8.41% para la estación de Gran Piedra (366) y un mínimo de 1.53% para la estación de Punta Lucrecia (365). El 93% de las estaciones clasifican entre las categorías de “medianamente frecuente” y “muy frecuente”, por lo que puede considerarse a la tormenta como un fenómeno frecuente en grandes áreas del país.

De su distribución espacial (Figura 4) se observa que en las provincias de Pinar del Río y oeste de Artemisa hay zonas de máximo en el extremo oeste de Pinar del Río y en zona norte de la Sierra del Rosario y de los Órganos y mínimos hacia la estación de Paso Real de San Diego (317), en el este de Artemisa. En las provincias de Mayabeque, La Habana y oeste de Matanzas se observó un crecimiento de las costas hacia el interior. De la parte este de Matanzas hasta Guantánamo hay en general un crecimiento de la costa norte a la sur con énfasis de ocurrencia en las zonas montañosas y con zonas extendidas de mínimo desde la costa norte hacia el interior de las provincias de Camaguey, Ciego de Ávila y Holguín. La Isla de la Juventud mostró un crecimiento de la actividad de tormentas de las costas hacia el interior con mínimo hacia la zona de Punta de Este.

La interpolación realizada con campos base

de aproximadamente 1km de resolución resultó efectiva, pues redujo el error de interpolación promedio de 0.1076 con máximo de -1.27 para la estación Casablanca (325), dado en el estudio anterior ([Álvarez y colaboradores, 2012b](#)) a -0.04 con máximo de -0.302 para la estación de Gran Piedra (366).

La distribución espacial de las “lluvias, chubascos y tormentas” en su conjunto (Figura 5) pudo alcanzar valores de ocurrencia por encima del 15% como es el caso de la estación de Jamal (356) en la provincia de Guantánamo que coincide con la de mayores acumulados de lluvia. La distribución en general mostró zonas de ocurrencia más altas al norte de las provincias Pinar del Río y Artemisa, hacia el interior de Matanzas y al centro de la provincia de Guantánamo. Las zonas de menor ocurrencia se agrupan en áreas de la región central y hasta el oeste de Holguín.

En general la distribución espacial de la frecuencia de ocurrencia de observaciones asociadas a los fenómenos en estudio presenta valores prominentes al norte de Pinar del Río y Artemisa y en el centro de Matanzas y Guantánamo, para las “lluvias”, los “chubascos” y las “tormentas”, en coincidencia con zonas de altos acumulados de lluvia. El “relámpago” visible se destaca en el interior de Matanzas y en zonas montañosas.

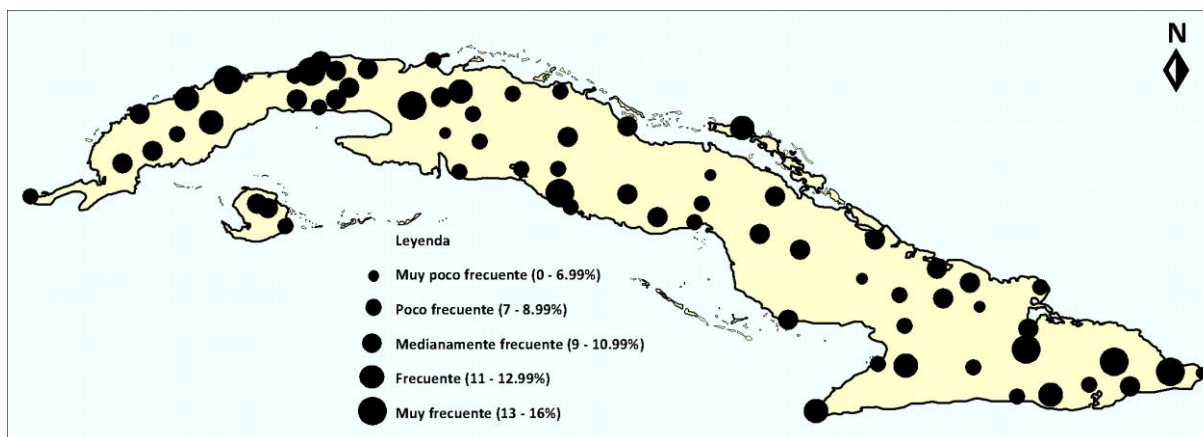


Figura 5. Distribución espacial por rangos de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con “lluvias, chubascos y tormentas” en su conjunto para Cuba

Distribución espacial del número promedio anual de días con determinados fenómenos

El número promedio anual de días con “relámpago” visible ([Figura 6](#)) presentó una distribución espacial similar a la de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con el fenómeno ([Figura 1](#)), por lo que se intuye que el “relámpago” presenta por lo general una observación al día. El promedio para todas las estaciones fue de 115 días y el 90% de las estaciones clasificó en los rangos no extremos. Las estaciones en el rango “muy poco frecuente” fueron Varadero (328) con 56.5 días que es el mínimo absoluto y Palenque de Yateras (334) con 66.3, aunque como se mostró su ocurrencia nunca fue cero día y el valor más bajo se correspondió aproximadamente con la sexta parte de los días del año. El valor más alto se alcanzó en la estación de Unión de Reyes (327) con 165 días que se correspondió con aproximadamente la mitad de los días del año.

A diferencia de la frecuencia de ocurrencia las “lluvias” clasificaron en los rangos de “Poco frecuente” y “Medianamente Frecuente” para el 75% de las estaciones con respecto al número promedio anual de días, lo que sugiere la ocurrencia de una observación al día con el fenómeno. El valor máximo se alcanzó en Santiago de las Vegas (373) con 132 días

promedio anual y el mínimo en Amistad Cuba – Francia con 21. Su distribución espacial ([Figura 7](#)) mostró el carácter local del fenómeno con agrupaciones solo en el sur de la provincia La Habana y todo Mayabeque con altos valores y la Isla de la Juventud donde las tres estaciones clasificaron en el rango de “Muy poco frecuente”.

Los “Chubascos” presentaron mínimos de ocurrencia cercanos a cero, así la estación con valor más bajo de días promedio anual fue Manzanillo (359) con 0.64 días al año. El valor máximo de 122 días se alcanzó en la estación de Jamal (356), en la Provincia Guantánamo y tanto el mínimo absoluto como el máximo, coincidieron con los datos para la frecuencia de ocurrencia. El promedio de días para todas las estaciones en estudio fue solo de 33.3. El 68% de las estaciones clasificaron en los rangos de “Poco frecuente” y “Medianamente frecuente”. La distribución espacial ([Figura 8](#)) al igual que la frecuencia de ocurrencia ([Figura 3](#)) mostró rangos más bajos hacia la parte sur del país, sobre todo en la provincia Granma y al oeste de Santiago de Cuba y rangos más altos para la provincia Guantánamo y la Isla de la Juventud donde las tres estaciones están en el rango de “frecuentes”.

El nivel ceráunico o número promedio anual de días con tormenta tal y como se muestra en la [figura 9](#) mostró una distribución muy

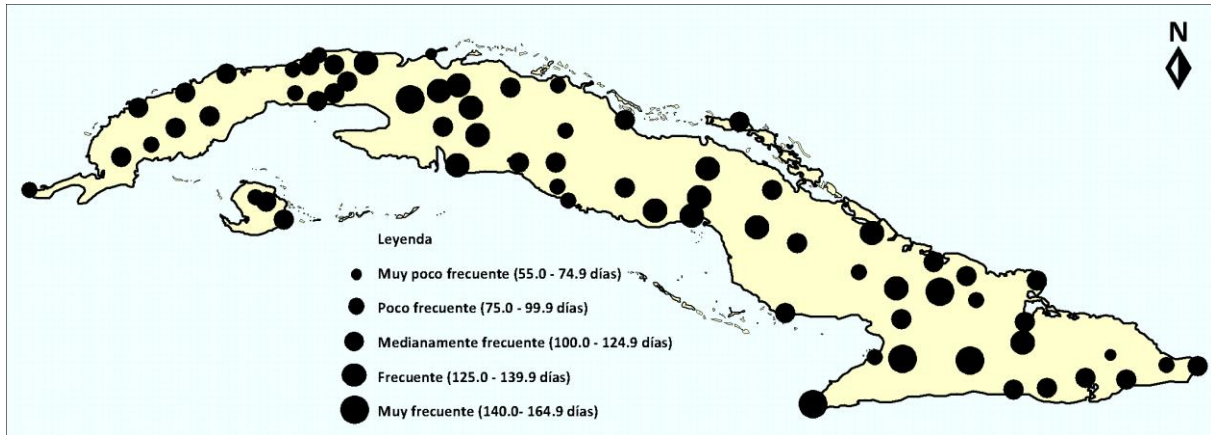


Figura 6. Distribución espacial por rangos de días promedio anual con “relámpago” para Cuba

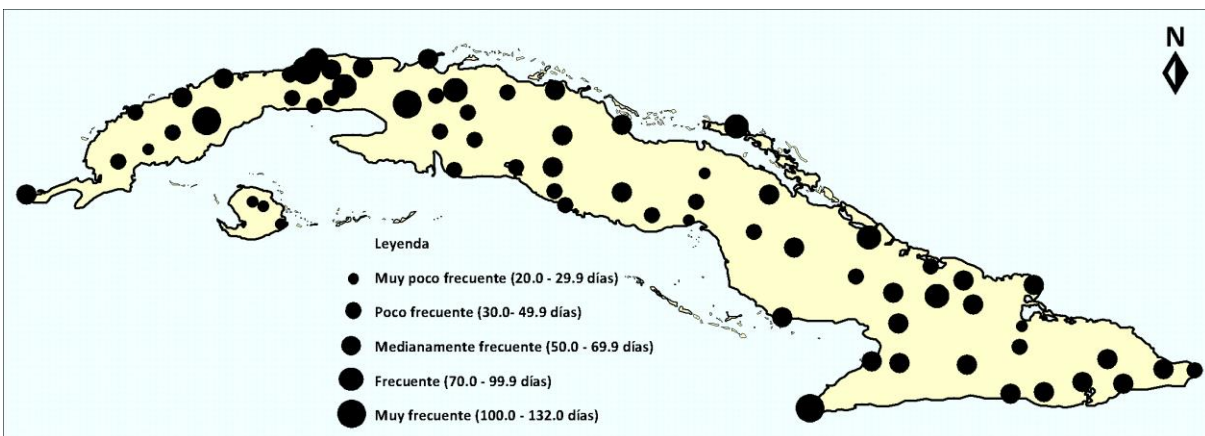


Figura 7. Distribución espacial por rangos de días promedio anual con “lluvias” para Cuba

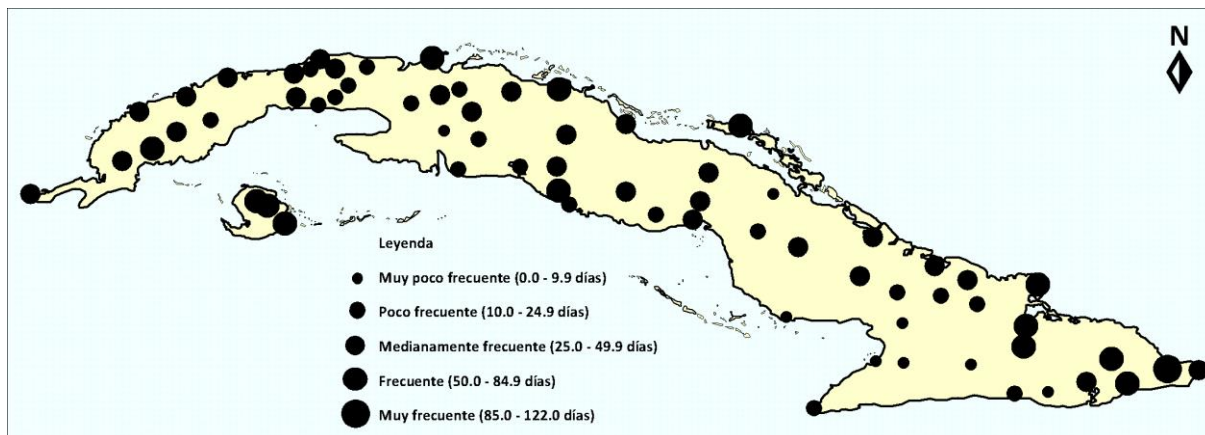


Figura 8. Distribución espacial por rangos de días promedio anual con “chubascos” para Cuba

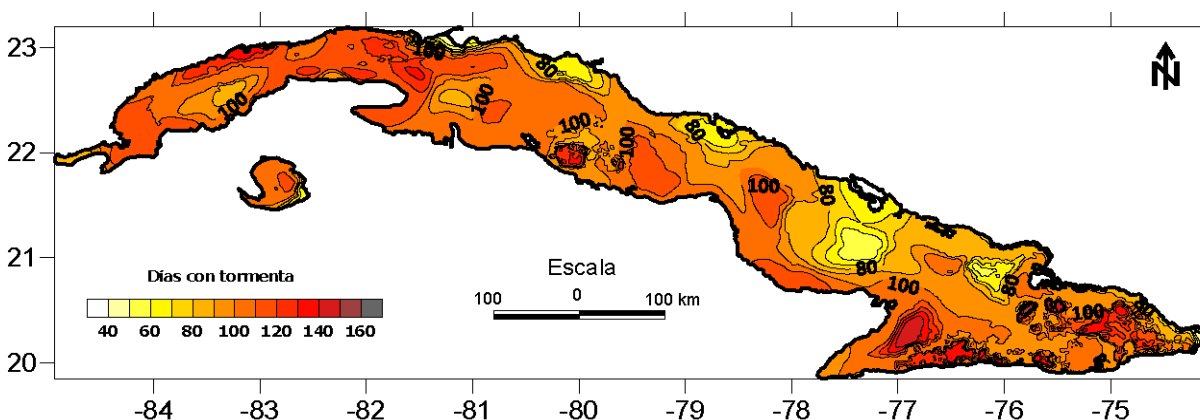


Figura 9. Distribución espacial de días promedio anual con “tormentas” (nivel cerámico) para Cuba (carta base escala 1:250000)

perceda a la del por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta, aunque los mínimos en la costa norte de las provincias centrales y orientales fueron un poco más marcados y las zonas montañosas presentan gradientes muy fuertes en su crecimiento. La Isla de la Juventud presentó una distribución muy similar a la de la ocurrencia, pero mostró un máximo hacia la parte noreste de la isla.

El número promedio de días con tormenta para todas las estaciones fue de 99 con máximo de 151.6 días en la estación de Pinares de Mayarí (371) y mínimo al igual que para el por ciento de ocurrencia en Punta Lucrecia (365). El 69% de las estaciones clasificaron en las categorías de “medianamente frecuente” y “frecuente”.

Con respecto al mapa anterior dado por [Álvarez y colaboradores \(2012b\)](#) hay bastante semejanza, aunque el mínimo de la estación de Paso Real de San Diego (317) no es tan marcado en correspondencia con el carácter creciente de la serie de observaciones del fenómeno ([Álvarez-Escudero et al., 2014b](#)), hacia la parte este de Matanzas los valores bajan debido a la información de la estación de Jagüey Grande (331) dado por los problemas que se describieron anteriormente en el estudio de la distribución espacial del por ciento de ocurrencia, el mínimo tierra adentro de la costa norte de Camaguey se hizo menos profundo con un aumento del número de días en la

estación de Santa Cruz del Sur (351), situación esta que fue una de las principales limitaciones de la versión anterior del mapa de niveles cerámicos dado por [Álvarez y colaboradores \(2012b\)](#) y debido a cambios en los valores de la estación de Pedagógico de Holguín (367) se formó una zona de mínimo al noroeste de la provincia Holguín.

La interpolación que arrojaba en la versión anterior un error promedio de 12 días con máximo de 13 días para la estación de Pedagógico de Holguín (367), ahora muestra un error de -0.498 con máximo de -4.0 días para la estación de Gran Piedra (366) y seguido por la estación Casablanca con -3.8, constituyendo estas dos estaciones las únicas con error en valor absoluto por encima de 1. De la comparación de estos valores podría concluirse que los nuevos ajustes introducidos en el programa de interpolación son válidos, aunque aún deben analizarse conductas como, que todos los errores de interpolación con respecto a los valores en las estaciones presentan el mismo signo, lo que constituye un sesgo, que podría estar relacionado con los valores predeterminados para los radios de influencia en el método de Cressmann y la pertinencia de introducir otros campos base en el ajuste.

La desviación estándar del número promedio anual de días con tormenta, presentó un promedio de 12 días para todas las

estaciones en estudio, con mínimo de 2.45 días en la estación de La Piedra (308) y máximo de 26.66 días en la estación de Palenque de Yateras (334). En la mayoría de las estaciones el valor estuvo alrededor de la media o sobre esta, lo que da un indicativo de la variabilidad de las series interanuales de días con tormenta en las estaciones. Su distribución espacial ([Figura 10](#)) mostró valores más altos hacia la mitad oriental del país con máximos alrededor de las estaciones de Palenque de Yateras (334), Contramaestre (363) y Santa Cruz del Sur (351), aunque estas estaciones presentaron promedios altos de días con tormenta, por lo que la variabilidad puede considerarse no tan marcada. Las zonas de mínimo se encontraron al sur de Matanzas, Cienfuegos y Sancti Spiritus, asociado a las estaciones de Jagüey Grande (331) y La Piedra (308) influenciadas por la corta longitud de las series para estas estaciones.

Para los fenómenos “lluvias”, “chubascos” y “tormentas” en su conjunto el número de días promedio anual, promedio para todas las estaciones fue 151 días, con máximo de 201 días en la estación de Jamal (356) que es la que presenta los máximos acumulados de lluvia en Cuba y mínimo de 98.4 días en la Punta de Maisí (369). El 72% de las estaciones clasifica entre las categorías de “moderadamente frecuente” y “muy frecuente”. La distribución espacial de los tres fenómenos en su conjunto ([Figura 11](#)) fue muy similar a la de por ciento de observaciones, coincidiendo sus zonas de máximo y mínimo.

Si se realiza un análisis de cluster que tenga como individuos a las estaciones y como variables los rangos que representan el número promedio anual de días con “lluvias”, con “chubascos” y con “tormentas” (3 variables), se podría describir un comportamiento espacial de los tipos de precipitaciones en general. Si se usa para la realización del dendrograma el método de Ward y distancias euclidianas, se tiene lo que se muestra en la [figura 12](#). Si se definen los grupos tomando como distancia de

enlace 15, teniendo en cuenta que las diferencias más pequeñas presentan distancias de enlace de alrededor de 3, se obtienen 3 grupos bien definidos. Los valores medios de rango para cada uno de estos grupos serían los siguientes:

- Grupo I: Presenta valores medios para la “lluvia”, bajos para los “chubascos” y altos para las “tormentas”, lo que muestra una supremacía de la actividad convectiva por tormentas.
- Grupo II: Presenta valores bajos para las “lluvias” y medios para los “chubascos” y “tormentas”, lo que muestra un predominio de las lluvias convectivas en general.
- Grupo III: Presenta valores medios para las “lluvias”, altos para los “chubascos” y bajos para las “tormentas”, que daría un cierto equilibrio entre lluvias no convectivas y convectivas dadas por los chubascos, que en general como fenómeno es menos representativo que las tormentas.

La distribución espacial de estos grupos se muestra en la [figura 13](#). Aquí se observa como el Grupo I es representativo de las provincias Mayabeque, Matanzas, Granma, Santiago de Cuba y este de Holguín, el Grupo II en general se encuentra en Pinar del Río, Artemisa y Ciego de Ávila, mientras el Grupo III es más frecuente en estaciones costeras de la ribera norte y en la provincia Guantánamo.

Esta distribución es difícil de atribuir a algún mecanismo físico, y podría estar relacionado con lo local de los fenómenos en estudio. La distribución espacial del Grupo III podría estar relacionada con la baja ocurrencia de tormentas en la costa norte.

En general la distribución espacial del número promedio anual y el por ciento de observaciones con determinado fenómeno son similares, cambiando en algunos puntos de categoría de ocurrencia, si existe más de una observación al día con el fenómeno en estudio.

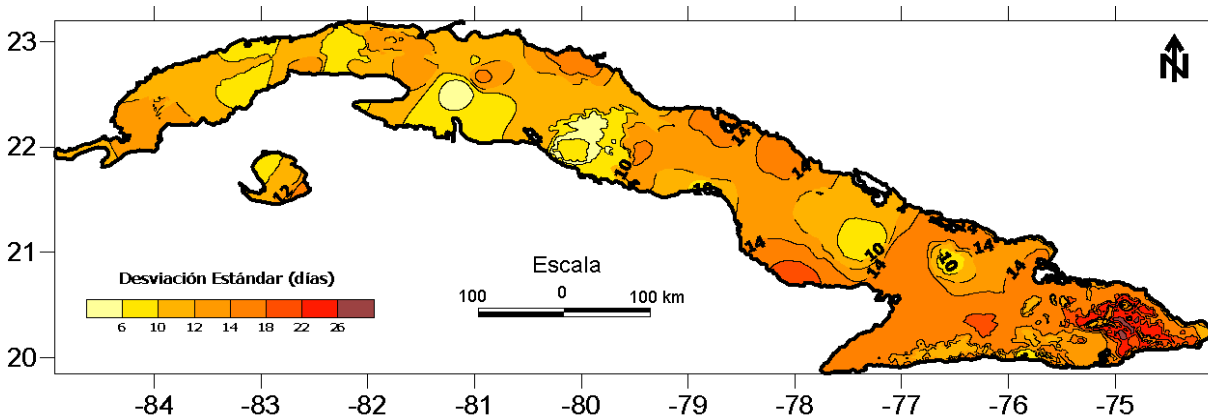


Figura 10. Distribución espacial de la desviación estándar del número promedio anual de días con “tormentas” para Cuba (carta base escala 1:250000)

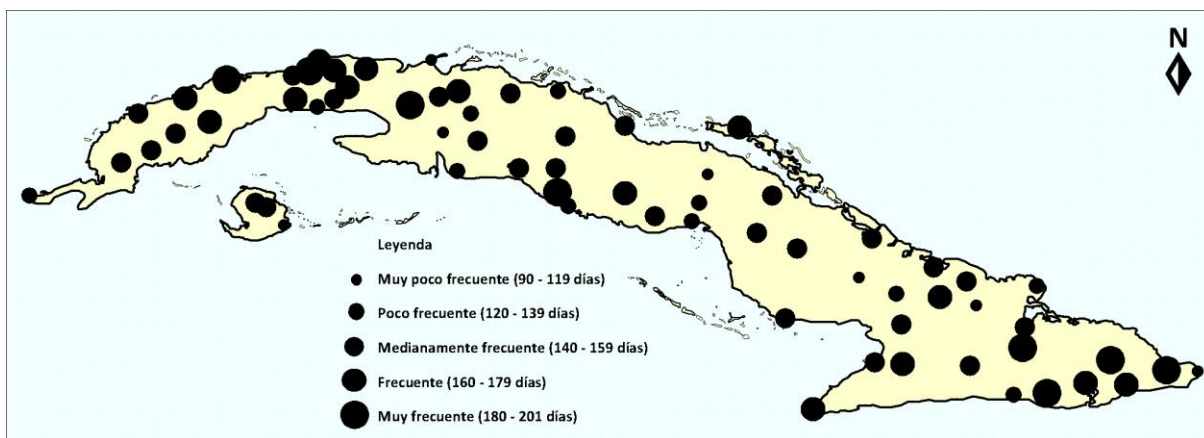


Figura 11. Distribución espacial por rangos del número de días promedio anual con “lluvias, chubascos y tormentas” en su conjunto para Cuba

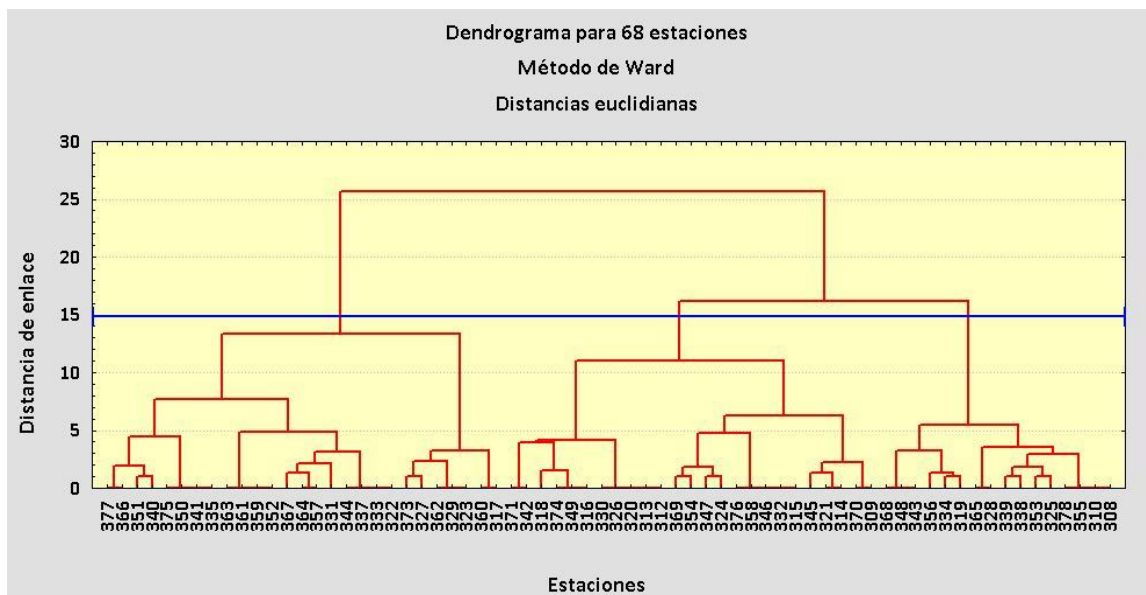


Figura 12. Dendrograma que tiene como individuos a las estaciones y como variables los rangos que representan el número promedio anual de días con “lluvias”, con “chubascos” y con “tormentas”

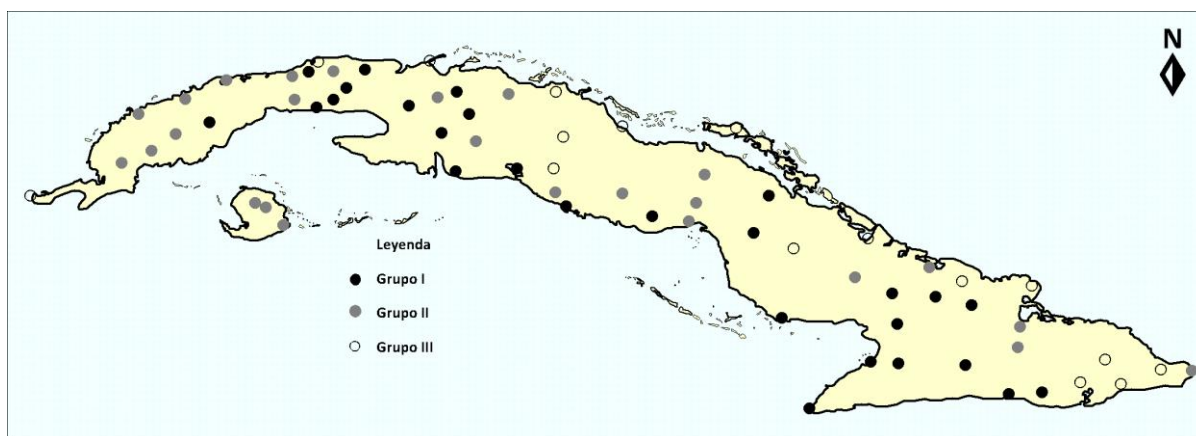


Figura 13. Distribución espacial de los grupos obtenidos del análisis de clusters realizado teniendo como individuos las estaciones y variables el rango en que clasifican el número promedio anual de días con “lluvias”, con “chubascos” y con “tormentas”

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La distribución espacial de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con “lluvias” no muestra zonas de agrupación por rangos de frecuencia ya que en la mayoría de las estaciones los por ciento de ocurrencia se enmarcan en los rangos más bajos.

Los “chubascos” presentan áreas de mayor frecuencia de ocurrencia al norte de las provincias de Las Tunas y Holguín y en Guantánamo y generalmente las estaciones con rangos más altos de ocurrencia son más cercanas a las costas.

Las observaciones con tormenta presentan máximos de ocurrencia hacia el norte de la provincia Pinar del Río y el interior de La Habana, Artemisa, Mayabeque y el oeste de Matanzas. En el resto de las provincias los valores crecen de norte a sur con máximos de ocurrencia en las zonas montañosas.

Las “lluvias”, “chubascos” y “tormentas” en su conjunto son prominentes al norte de Pinar del Río y Artemisa y en el centro de Matanzas y Guantánamo en coincidencia con zonas de altos acumulados de lluvia.

La ocurrencia del “relámpago” visible se destaca en el interior de Matanzas y en zonas montañosas.

Las distribuciones espaciales del número promedio anual y por ciento de observaciones con determinado fenómeno son similares, cambiando en algunos puntos de categoría de ocurrencia, si existe más de una observación al día con el fenómeno.

Se recomienda extender el periodo de observaciones para lograr información más completa y más representativa de los parámetros de por ciento de ocurrencia de observaciones y número promedio anual de días con determinados fenómenos.

Se recomienda seguir mejorando el desempeño del método de interpolación usado haciendo uso en los ajustes de nuevos campos base.

REFERENCIAS

- Albrecht, R. I.; Goodman S. J.; Blakeslee, R. J. & Christian, H. J. 2016. “Where are the lightning hotspots on Earth?”. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, doi:10.1175/BAMS-D-14-00193.1.
- Alfonso, A. P. 1980. *Descripción preliminar de las condiciones meteorológicas en la Isla de la Juventud*. Informe Científico – Técnico No.134, Instituto de Meteorología, 25 p.

- Alfonso, A. P. & Florido, A. 1993. *El clima de Matanzas*. Editorial Academia, La Habana, 113 p.
- Álvarez, L. 2006. *Estudio de la localización espacial de las tormentas eléctricas en Cuba y su tendencia*. Tesis presentada en opción del grado de Doctor en Ciencias Meteorológicas, UDICT, Instituto de Meteorología, 149 p.
- Álvarez L.; Borrajero I. & Álvarez R. 2006a. “Análisis de la tendencia de las series de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta, de tormentas con lluvia y de días con tormenta para el territorio cubano”. *Revista Cubana de Meteorología*, 13(1), 83 – 94, ISSN: 0864-151X.
- Álvarez, L.; Borrajero, I.; Álvarez, R.; Aenlle, L. & Amaro, L. 2006b. “Análisis preliminar del comportamiento de fenómenos meteorológicos significativos en el ecosistema costero Sabana – Camagüey”. *Revista Cubana de Meteorología*, 13 (2): 27-41, ISSN: 0864-151X.
- Álvarez, L.; Borrajero, I.; Álvarez, R. & Aenlle, L. 2008. “Análisis preliminar de la variable estado del tiempo presente para cuatro estaciones relacionadas con el desarrollo eólico en Cuba”. *Ecosolar*, 24, Disponible en: [http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar24/ HTML/articulo06.htm](http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar24/HTML/articulo06.htm)
- Álvarez, L.; Borrajero, I.; Álvarez, R. & Aenlle, L. 2009a. “Análisis preliminar de la variable estado del tiempo presente para cuatro estaciones relacionadas con el desarrollo eólico en Cuba”. En: *Memorias de la VI Conferencia Internacional de Energía Renovable, Ahorro de Energía y Educación Energética, CIER 2009*, Palacio de Convenciones de la Habana, Cuba, del 9 al 12 de junio de 2009, pp. 1383 – 1395, publicación electrónica, ISBN 978-959-261-288-4
- Álvarez, L.; Borrajero, I. & Álvarez, R. 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*, 15(1):14-22, ISSN: 0864-151X.
- Álvarez L.; Borrajero, I.; Álvarez, R.; Aenlle, L.; Rivero, I.; Iraola, C.; Rojas, Y. & Hernández, M. 2012a. “Estudio de la marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta para el territorio cubano”. *Revista de Climatología*, 12:1-21, ISSN 1578-8768), <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, ISSN: 0864-151X.
- Álvarez-Escudero, L.; Borrajero, I. & Barcenás, M. 2014a. “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, ISSN: 0864-151X, <http://www.insmet.cu/contenidos/biblioteca/revistas/2014/n1/1.pdf>.
- Álvarez-Escudero, L.; Borrajero, I. & Barcenás, M. 2014b. “Análisis de la marcha interanual de fenómenos determinados por el código de tiempo presente para las estaciones de Cuba”. *Revista Cubana de Meteorología*, 20(2): 56 – 69, ISSN: 0864-151X, <http://www.insmet.cu/contenidos/biblioteca/revistas/2014/n2/6.pdf>
- Álvarez-Escudero, L. & Borrajero, I. 2016a. “Caracterización de la marcha anual de fenómenos meteorológicos en Cuba, clasificados según el código de tiempo presente”. *Revista Cubana de Meteorología*, 22(1): 3-28, ISSN: 0864-151X, <http://www.insmet.cu/contenidos/biblioteca/revistas/2016/n1/01.pdf>
- Álvarez-Escudero, L. & Borrajero, I. 2016b. “Estudio de la marcha diaria de fenómenos meteorológicos clasificados según el código

- de tiempo presente”. *Cienc. Tierra y Esp.*, 17(2): 145-159, ISSN 1729-3790, <http://www.iga.cu/publicaciones/revista/ctye17no2-art3.html>.
- Byers, H. R. & Braham, R. R. 1949. *The thunderstorm*. U. S. Department of Commerce, Washington D. C., 287 p.
- Cecil, D. J.; Buechler, D. E. & Blakeslee, R. J. 2014. “Gridded lightning climatology from TRMM-LIS and OTD: Dataset description”. *Atmos. Res.*, 135–136: 404–414, DOI:10.1016/j.atmosres.2012.06.028.
- Cecil, D. J.; Buechler, D. E. & Blakeslee, R. J. 2015. “TRMM LIS Climatology of Thunderstorm Occurrence and Conditional Lightning Flash Rates”. *Journal of Climate*, 28: 6536 – 6547, DOI: 10.1175/JCLI-D-15-0124.1.
- Changnon, S. A. 1988a. “Climatology of Thunder Events in the Conterminous United States. Part I: Temporal Aspects”. *Journal of Climate*, 1(4): 389–398.
- Changnon, S. A. 1988b. “Climatology of Thunder Events in the Conterminous United States. Part II: Spatial Aspects”. *Journal of Climate*, 1(4): 399–405.
- Christian, H. J.; Blakeslee, R. J.; Goodman, S. J.; Mach, D. A.; Stewart, M. F.; Buechler, D. E.; Koshak, W. J.; Hall, J. M.; Boeck, W. L.; Driscoll, K. T. & Bocippio, D. J. 1999. “The Lightning Imaging Sensor”. In: *Proceedings of the 11th International Conference on Atmospheric Electricity*, Guntersville, Alabama, June 7-11, 1999, pp. 746-749.
- Christian, H. J.; Blakeslee, R. J.; Bocippio, D. J.; Boeck, W. L.; Buechler, D. E.; Driscoll, K. T.; Goodman, S. J.; Hall, J. M.; Koshak, W. J.; Mach, D. A. & 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.
- Dahl, J. M. L.; Höller, H. & Schumann, U. 2011a, “Modeling the Flash Rate of Thunderstorms. Part I: Framework”. *MWR*, 139(10): 3093–3111, DOI: 10.1175/MWR-D-10-05031.1
- Dahl, J. M. L.; Höller, H. & Schumann, U. 2011a, “Modeling the Flash Rate of Thunderstorms. Part II: Implementation”. *MWR*, 139(10): 3112 – 3124, DOI: 10.1175/MWR-D-10-05032.1
- Dai A. 2001a. “Global Precipitation and Thunderstorm Frequencies. Part I: Seasonal and Interannual Variations”. *Journal of Climate*, 14(6): 1092–1111.
- Dai A. 2001b. “Global Precipitation and Thunderstorm Frequencies. Part II: Diurnal Variations”. *Journal of Climate*, 14(6): 1112–1128.
- Easterling D. R. & Robinson P. J. 1985. “The Diurnal Variation of Thunderstorm Activity in the United States”. *Journal of Applied Meteorology*, 24(10): 1048–1058.
- Fierro, A. O.; Mansell, E. R.; Macgorman, D. R. & Ziegler, C. L. 2013. “The Implementation of an Explicit Charging and Discharge Lightning Scheme within the WRF-ARW Model: Benchmark Simulations of a Continental Squall Line, a Tropical Cyclone, and a Winter storm”. *MWR*, 141(7): 2390 – 2415, DOI: 10.1175/MWR-D-12-00278.1
- GEBCO. 2003. *Digital Bathymetry Atlas*. Published by the British Oceanographic Data Center, under the joint auspices of the Intergovernmental Oceanographic Commission and the International Hydrographical Organization, with founding provided by the Environment Research Council (update May 2009).
- Huffines, G. & Orville, R. 1999. “Lightning Ground Flash Density and Thunderstorm Duration in the Continental United States: 1989–96”. *Journal of Applied Meteorology*, 38: 1013 – 1019.
- 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.*, 112, D13111.

- Lecha, L. B.; Paz, L. R. & Lapinel, B., (eds.) 1994. *El Clima de Cuba*. Editorial Academia, La Habana, 186 p.
- Lynn, B. & Fair, Y. 2010. "Prediction of lightning flash density with the WRF model". *Adv. Geosci.*, 23: 11–16, Available: <<http://www.adv-geosci.net/23/11/2010/>>, [consulted: February 1, 2013]
- Ntelekos, A. A.; Smith, J. A. & Krajewski, W. F. 2007 "Climatological analices of Thunderstorms and Flash Floodsin the Baltimore Metropolitan Region". *Journal of Hydrometeorology*, 8: 88–101.
- McCaul, E. W., Jr., Goodman, S. J., LaCasse, K. & Cecil, D. 2009. "Forecasting lightning threat using cloud-resolving model simulations". *Wea. Forecasting*, 24: 709–729, DOI: 10.1175/2008WAF2222152.1.
- Olarte, E.; Santoyo, I.; Aranguren, D.; Pérez, E.; Herrera, J. & Torres, H. 2009. *Sistema colombiano de información de tormentas eléctricas soportado en RENATA*. Available: <http://www.renata.edu.co/index.php/descargas/doc_download/58-red-colombiana-de-informacion-de-tormentas.html>, [Consulted: April 27, 2013].
- OMM. 1956. *World distribution thunderstorm days*. WMO No. 21, TP 21, 71 p.
- Orville, R. E.; Huffines, G. R.; Burrows, W. R.; Holle, R. L. & Cummins, K. L. 2002. "The North American Lightning Detection Network (NALDN)—First Results: 1998–2000". *Monthly Weather Review*, 130: 2098 – 2109.
- Pessi, A. T. & Businger, S. 2009. "Relationships among Lightning, Precipitation, and Hydrometeor Characteristics over the North Pacific Ocean". *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 48: 833–848.
- Rodger, C. J.; Brundell, J. B.; Holzworth, R. H. & Lay, E. H. 2009. "Growing Detection Efficiency of the World Wide Lightning Location Network". In: *Proceedings of the Workshop AIP Conference*, vol. 1118, pp. 15–20.
- Virts, K. S.; Wallace, J. M.; Hutchins, M. L. & Holzworth, R. H. 2013. "Highlights of a New Ground-Based , Hourly Global Lightning Climatology". *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, September, 2013, p. 1381 - 1391, DOI:10.1175/BAMS-D-12-00082.1.
- WMO. 1988. *Manual on codes*. WMO – No. 306, Volume 1, Seccion D, Table 4677.
- WRC. 1942a. *Climate and Weather of Southeaster Asia. Part I. India, Burma and Southern China*. Publications of the Weather Research Center, vol. V, no. 3, 130 p.
- WRC. 1942b. *Climate and Weather of the British Isles*. Publications of the Weather Research Center, vol. VI, no. 2, 126 p.