

Distribución espacial de las tormentas eléctricas y su tendencia en la región occidental de la Isla de Cuba.

Autores: Lourdes Álvarez Escudero, Rosendo Álvarez Morales, Israel Borrajero Montejo, Laura Aenlle Ferro.
Centro de Física de la Atmósfera, Instituto de Meteorología: E-mail: lulu@met.inf.cu

Resumen.

Se caracterizan las tormentas eléctricas a partir de los registros tri-horarios de la variable estado del tiempo presente, en 21 estaciones meteorológicas de la región occidental de la Isla de Cuba determinándose qué códigos son los más representativos para el estudio. Se analiza la marcha diaria y anual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas, encontrándose que en todas las estaciones los valores máximos ocurren en el verano y en horas de la tarde. Se realiza un estudio de la influencia que trae la falta de observaciones en horarios de noche y madrugada en varias estaciones y se introduce una corrección para solventar el problema. Se hace una primera interpolación teniendo en cuenta la representatividad espacial de cada estación, a partir de una regionalización hecha mediante un análisis de cluster de la frecuencia de ocurrencia del fenómeno tormenta. En el mapa de distribución espacial se observa que hay una mayor ocurrencia del fenómeno en la región centro oriental de las provincias Habana y Ciudad de la Habana y en la región norte y centro de la provincia de Matanzas, en la provincia Pinar del Río se nota una disminución de norte a sur. Las tendencias son analizadas por métodos no paramétricos para series por estación con más de 20 años de información. En el mapa de tendencias se observa que las mismas son crecientes en casi todo el territorio en estudio, con la excepción de la región entre la parte oriental de la provincia Pinar del Río y la occidental de la provincia Habana donde se encuentran series homogéneas y decrecientes de manera significativa. Se dan recomendaciones sobre el rescate de más información relativa al fenómeno y la extensión de la metodología a todo el territorio Nacional.

Palabras claves: tormenta eléctrica, tiempo presente, tendencia.

Introducción.

El estudio del comportamiento de las tormentas eléctricas es de particular importancia para elaborar planes encaminados a la protección de vidas humanas y diversos sectores de la economía. La muerte por fulguraciones constituye la primera causa de muerte en Cuba asociada a fenómenos naturales (Finalé, 2004), con un promedio anual entre los años 1987 y 2000 de 67 víctimas. En la economía uno de los sectores más afectados es la actividad eléctrica y ya se realizan trabajos para prevenir los efectos de las descargas eléctricas.

Las tormentas eléctricas han sido estudiadas desde muchos puntos de vista tales como su climatología dada por la cantidad de días con tormentas, su marcha diaria y anual, el comienzo y final de la temporada de tormentas y las manifestaciones severas de las mismas tales como tornados y trombas.

Ya desde fechas cercanas a la creación de la OMM, se publicó un documento que reportaba un estudio de la distribución mundial de días con tormenta. (OMM, 1956).

En Cuba las tormentas eléctricas constituyen un fenómeno relevante debido a su incidencia. Los trabajos, sin embargo, realizados en el país analizaron periodos de relativamente corta duración y no se han llevado a cabo análisis sobre esta temática en los

últimos años con excepción del caso particular de las tormentas locales severas, que si han sido más estudiadas (Alfonso, 1994; Aguilar, 2000).

Alvarez (1978) presentó, como parte de su tesis de doctorado, tres mapas: uno de frecuencia mínima, otro de frecuencia máxima y otro de frecuencia promedio de ocurrencia de tormentas eléctricas, realizados con 10 años de información de 47 estaciones del país y con el objetivo de localizar las inversiones provocada por la lluvia rápida.

Alfonso en 1986 analizó algunos aspectos climatológicos de las turbonadas en Ciudad de la Habana encontrando un periodo de gran actividad entre los meses de mayo y octubre y relacionando la frecuencia de ocurrencia con el comportamiento de otros elementos climatológicos.

Otros investigadores (Sosa, 1981; Alfonso, 1985; García, 2003) se han ocupado de los problemas de pronóstico a corto plazo de tormentas.

Un estudio más abarcador es el recogido por Lecha et al. (1994) donde se dan 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 periodos de actividad.

Todos estos estudios han sido realizados con datos recopilados manualmente y con distintos criterios de evaluación del fenómeno, además los periodos de

estudios son cortos para realizar un análisis de tendencia y por lo general referidos a años anteriores a 1980.

El objetivo de este trabajo es el estudio de las tormentas eléctricas a partir de la variable estado del tiempo presente, tanto su frecuencia de ocurrencia

como su tendencia para 21 estaciones escogidas dentro de la zona occidental de la Isla de Cuba como estudio preliminar al que se realizará para todo el país.

Materiales y métodos.

Los datos utilizados en el estudio se describen en la Tabla 1.

Tabla 1. Descripción de los datos utilizados para caracterizar el comportamiento de las tormentas eléctricas en la zona occidental del país.

No. de la estación según código de la OMM	Nombre de la estación	Serie utilizada	% de observaciones no realizadas en horarios diurnos (07 a 19 hora local)	% de observaciones no realizadas en horarios de noche y madrugada (01, 04, 22 hora local)
310	Cabo de San Antonio	1970 - 2002	1.2	31.5
313	Isabel Rubio	1970 - 2002	0.3	24.9
314	San Juan y Martínez	1970 - 2002	1.3	65.1
315	Pinar del Río	1978 - 2002	1.3	11.6
316	La Palma	1971 - 2002	2.3	39.5
317	Paso Real de San Diego	1970 - 2002	1.4	12.2
320	Güira de Melena	1970 - 2002	4.9	62.0
323	Güines	1971 - 2002	8.9	97.4
325	Casablanca	1972 - 2002	0.1	0.1
327	Unión de Reyes	1977 - 2002	1.0	11.6
329	Indio Hatuey	1970 - 2002	4.5	98.7
330	Jovellanos	1970 - 2002	2.5	28.4
331	Jagüey Grande	1977 - 2000	2.6	55.8
332	Colón	1975 - 2002	1.8	13.8
333	Playa Girón	1970 - 2002	1.3	11.3
340	Bainoa	1979 - 1993	3.4	85.4
372	La Sabana	1979 - 1993	4.5	100.0
373	Santiago de las Vegas	1970 - 2002	0.1	76.5
374	Tapaste	1976 - 2002	5.8	95.1
375	Melena del Sur	1974 - 2002	1.4	92.4
376	Bauta	1974 - 2002	9.2	92.8

La distribución de las estaciones utilizadas para el estudio puede observarse en la figura 1

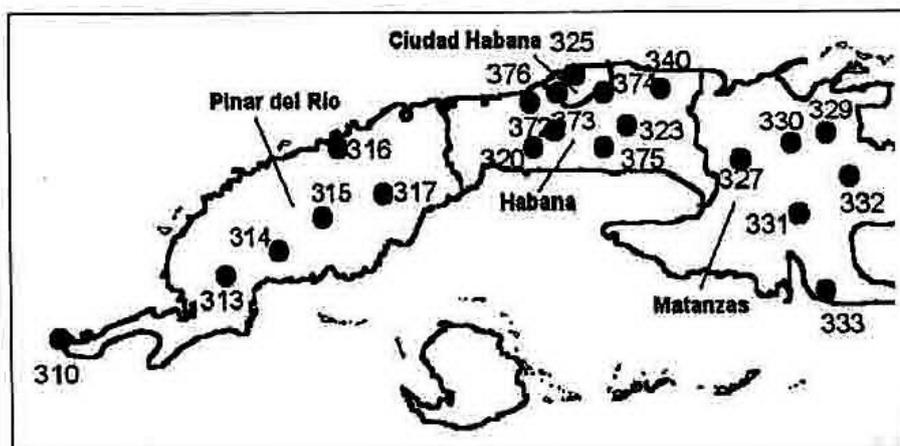


Fig. 1. Distribución espacial de las 21 estaciones de la zona occidental de la Isla de Cuba utilizadas en el estudio.

El análisis se realizará para cuatro modos de caracterizar las tormentas, 1) el que incluye los códigos de tiempo presente relativos a tormentas sobre la estación en el tiempo de la observación o anterior y trueno (17, 29, 91, 92, 95, 96, 97, 99), 2) el que incluye los códigos de tiempo presente relativos a tormentas sobre la estación en el tiempo de la observación y que constituye un subconjunto de los anteriores códigos (95, 96, 97, 99), 3) el trueno (17) y 4) el relámpago visible (13).

El análisis de la tendencia para cada serie en estudio se realiza de la siguiente forma: a) se grafica el comportamiento de la serie y se analiza si dada la cantidad de datos podía o no someterse a un análisis posterior, b) se calcula el estadígrafo de Wald-Wolfowitz para determinar correlación interna, c) se calcula el estadígrafo de Spearman y el de Mann-Kendall para determinar la tendencia global, d) si fuese necesario por presentar contradicción entre las pruebas de los epígrafes b y c, se realiza la prueba global de Fisher, e) se toma una decisión usando la siguiente representación: 0 - serie homogénea, -1 - serie decreciente significativa (10% de significación), -2 - serie decreciente altamente significativa (5% de significación), +1 - serie creciente significativa, +2 - serie creciente altamente significativa, sin valor - los datos no eran suficientes para realizar un análisis y ? - no puede arribarse a una conclusión coherente, f) se analiza si la serie presenta uno o más cortes entre la serie directa y retrógrada de Mann - Kendall, g) si posee un solo corte se determina cual es el año de cambio dado por el lugar de corte entre las curvas de las series directa y retrógrada de Mann - Kendall y por la prueba de Pettitt analizando su significación y se toma a partir de esto una decisión acerca del punto de cambio, h) si hay más de un corte no se realiza el análisis, pues el trabajo puede ser engorroso (Sneyers et al., 2000) para una sola serie, así que aquí donde se tratan gran número de ellas sería prácticamente imposible. El cálculo de los estadígrafos se hizo según la metodología recomendada por la Organización

Meteorológica Mundial (OMM) (Sneyers, 1992), de análisis de tendencia de series temporales para variables meteorológicas.

Los mapas se trazan siguiendo un recurso para mejorar la situación de los errores notables que introduce utilizar alguna relación de peso en función de la distancia, de cada punto a las posiciones de las estaciones donde existen valores, sobre todo si existen anisotropías y que consiste en pesar la distancia de los puntos a las estaciones por una función del ángulo entre estos, pues las condiciones ambientales de las que es representativa una estación no varían de la misma manera en diferentes direcciones.

Siguiendo este principio, se elaboraron para cada estación rosas de igual representatividad para tres distancias, 5, 20 y 40 km, que se trazan más lejos o más cerca de su valor preestablecido en dependencia de como varían las condiciones que influyen en la formación de tormentas con respecto a las que existen en la estación. El proceso de interpolación utiliza el método iterativo de Cressman (Cressman, 1959) y toma como aproximación inicial una ponderación con el inverso de la distancia al cuadrado, pero esta distancia está previamente modulada por la función de representatividad angular definida. La función de peso angular se definió para 8 rumbos y usa una interpolación lineal para ángulos intermedios, también se hacen interpolaciones lineales entre los tres rangos de distancias establecidos.

Discusión y resultados.

Si se considera tormenta todos los códigos relativos a este fenómeno sobre la estación, en el momento de la observación, con anterioridad a la misma y el trueno, tal y como está dada su definición por la OMM, se pueden trazar las marchas anuales de frecuencia de ocurrencia del fenómeno para cada una de las estaciones en estudio. Para ejemplificar la distribución de las marchas anuales se escogieron 6 estaciones de las 4 provincias en estudio tal y como se muestra en la figura 2.

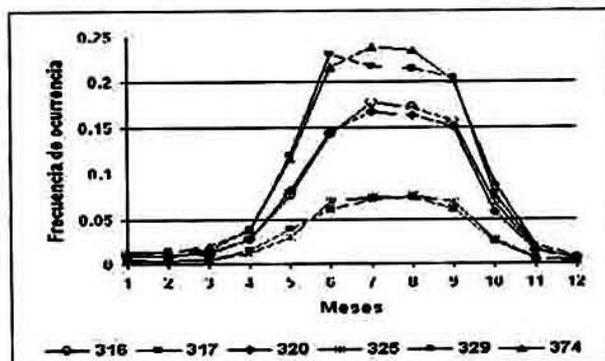


Fig. 2. Marcha anual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con código de tiempo presente relativo a tormentas eléctricas (17, 29, 91, 92, 95, 96, 97, 99) para 6 estaciones escogidas en la región de estudio (316 - La Palma, 317 - Paso Real de San Diego, 320 - Güira de Melena, 325 - Casablanca, 329 - Unión de Reyes, 374 - Tapaste).

De aquí se observa que la distribución es muy similar en todas las estaciones: entre los meses de mayo y octubre se encuentra el 90% de las observaciones y si afinamos más el periodo entre junio y septiembre se encuentra entre el 70 y 80% de las observaciones. Entre los meses de julio y agosto oscila el máximo absoluto de frecuencia, con la excepción de la estación Indio Hatuey (329) que presenta un máximo en junio.

Si se analiza la marcha diaria de la frecuencia de ocurrencia de las tormentas dadas por los códigos de tiempo presente 17, 29, 91, 92, 95, 96, 97, 99, se tiene lo que se muestra a manera de ejemplo para 6 estaciones en la figura 3.

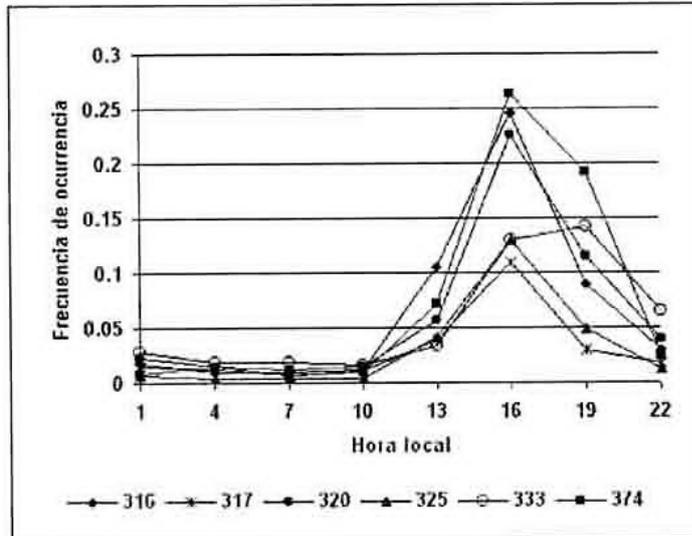


Fig. 3. Marcha diaria de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con código de tiempo presente relativos a tormentas eléctricas (17, 29, 91, 92, 95, 96, 97, 99) para 6 estaciones escogidas en la región de estudio (316 - La Palma, 317 - Paso Real de San Diego, 320 - Güira de Melena, 325 - Casablanca, 333 - Playa Girón, 374 - Tapaste).

En el caso de la marcha diaria la mayoría de las observaciones de tormentas se encuentran entre los horarios de las 07 y las 19 hora local (entre el 80 y el 90% del total) y entre los horarios de las 13 y las 19 se encuentra entre el 75 y el 90% del total de observaciones, con la excepción de la estación de Playa Girón (333) donde el porcentaje es aproximadamente 68. También esta estación constituye excepción para la hora de máxima frecuencia, en las restantes estaciones ocurre a las 16 hora local, mientras que para ella ocurre a las 19. Debe notarse que para las estaciones de la provincia Matanzas (es la provincia que está más al este), la diferencia entre la frecuencia de ocurrencia de los horarios de las 16 y las 19 no es tan pronunciada como en las restantes provincias. La estación de Playa Girón es la que se encuentra más al sur de las estaciones en estudio con la excepción de la de Cabo de San Antonio (310) que tiene características muy particulares por encontrarse en la punta de la Isla rodeada de área marítima.

El análisis teniendo en cuenta por separado los truenos y las tormentas sobre la estación en el tiempo de observación es muy similar, sin embargo para el relámpago visible la situación varía. La marcha anual para el código 13, aunque la mayoría de las observaciones se agrupan entre los meses de mayo

y de octubre, hay un máximo absoluto en todas las estaciones para el mes de septiembre, con la excepción de Indio Hatuey (329) que está en octubre.

En el caso de la marcha diaria el comportamiento es bien diferente a los restantes códigos observándose máximos en las horas extremas del día (01, 04 y 22 hora local) y mínimos marcados durante el periodo diurno.

Como puede verse de los argumentos de la Tabla 1, los horarios de la noche y la madrugada (01, 04, 22 hora local) tienen grandes faltantes de información; muchas solo midieron en los últimos años de la serie, otras en intervalos saltados y otras no midieron. Por esta razón se realizó un análisis de la información correspondiente a cuatro estaciones, de frecuencia de ocurrencia de todos los horarios contra los diurnos, para periodos de 5, 3 y 2 años, según el largo de las series que poseían información de noche y madrugada, de manera que siempre quedarán 6 puntos a los cuales ajustar una recta, que diera información de cómo variaban las frecuencias en el tiempo. Las estaciones escogidas fueron Cabo de San Antonio (310), Pinar del Río (315), Casablanca (325) y Unión de Reyes (327) y el análisis se realizó para diferentes grupos de códigos. La comparación arrojó que excepto para el código 13 (relámpago visible) que

es típico de los horarios de noche y madrugada, las restantes combinaciones de códigos presentan magníficos ajustes con pendientes entre 1 y 1.5 e intercepto cercano a cero. Esto implica que la relación entre las frecuencias totales y diurnas se mantienen constantes para estaciones en diferentes regiones y para diferentes intervalos de las series por lo que sería válido rectificar las frecuencias totales a partir de las frecuencias diurnas conocida la relación entre ellas.

Para determinar esta relación se comparó la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas totales y en horario diurno para las

estaciones que poseían alguna información para diferentes grupos de códigos de tiempo presente. El resumen de este análisis se recoge en la Tabla 2. Aquí puede observarse que nuevamente excepto para el código 13, los ajustes son muy buenos, las pendientes de las rectas para diferentes grupos de códigos se encuentran entre 1.35 y 1.45 y los interceptos son cercanos a cero. Estas relaciones serán utilizadas en el trazado de los mapas de distribuciones espaciales de las tormentas.

Tabla 2. Coeficientes de ajuste de una recta y coeficientes de la calidad del ajuste para relacionar las frecuencias de ocurrencia en todos los horarios del día con la frecuencia de ocurrencia para los horarios diurnos, según diferentes grupos de código de tiempo presente, para las estaciones en estudio que poseían algún intervalo de información en horarios de la noche y la madrugada (01, 04, 22 hora local).

Códigos	Coefficiente a	Coefficiente b	Coefficiente de correlación	Error standard
17, 29, 91, 92, 95, 96, 97, 99	0.00197896	1.3595611	0.9670793	0.0056239
95, 96, 97, 99	-0.00088069	1.4485052	0.9826158	0.0013363
29, 91, 92	-0.00038147	1.3884728	0.9867859	0.0010551
17	0.000602299	1.3896891	0.9713190	0.0038756
13	0.000588941	0.16430175	0.6838289	0.0043567

Otro punto que debe analizarse es la representatividad de los valores de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas para observaciones trihorarias de estado del tiempo presente. Podría presumirse que la falta de la información brindada por la variable estado del tiempo pasado podría influir sobre el resultado obtenido. Para dar luz sobre este asunto se tomó la información de la estación Casablanca que atesora 31 años de registros horarios de información de la variable estado del tiempo presente y que por tanto recoge la información de la variable estado del tiempo pasado. Se comparó la frecuencia de ocurrencia de observaciones horarias con trihorarias para los códigos 17, 29, 91, 92, 95, 96, 97 y 99 por separado y se ajustó una recta que dio 0.9995794 de coeficiente de correlación y 0.0188875 de error estándar. La ecuación de la recta es:

$$\text{frecuencia trihoraria} = 0.0084189197 + 1.0268961 (\text{frecuencia horaria})$$

Este es un ajuste con pendiente muy cercana a 1 e intercepto muy cercano a cero, por lo que podría considerarse casi una recta $y = x$. Para verificar lo planteado se calculan los intervalos de confianza (Ostle, 1981), para un 0.99 de nivel de significación

obteniéndose que el valor de pendiente 1 cae dentro de dicho intervalo ya que los valores obtenidos son 0.98966993 y 1.06412227 y el valor de intercepto cero cae entre los valores obtenidos de -0.02658944 y 0.04342698 por lo que podemos concluir que la recta puede ser considerada como $y = x$ o lo que es lo mismo frecuencias trihorarias = frecuencias horarias, razón por la cual para el presente estudio será suficiente utilizar la observaciones trihorarias de la variable estado del tiempo presente.

El código 13 no se analizó porque para todos los restantes análisis ha tenido un comportamiento diferente, por lo que aquí se tratará aparte según la disponibilidad de los datos.

Para poder definir las rosas de igual representatividad a partir de las cuales se trazan los mapas, se realizó un análisis de cluster para 43 individuos dados por las 43 estaciones que actualmente se tienen procesadas y de las cuales son subconjunto las que sometemos a estudio y 3 variables dadas por la frecuencia de ocurrencia de observaciones con truenos (17), la frecuencia de ocurrencia de observaciones de tormenta sobre la estación en el momento de la medición (95, 96, 97, 99) y la frecuencia

de ocurrencia de observaciones de tormenta sobre la estación anterior al momento de la medición (29, 91, 92). El análisis arrojó que las estaciones cercanas a la costa son más representativas a lo largo de ella, que tierra adentro, que las estaciones en terrenos llanos pegados a montañas mayores de 100 m no son representativas del comportamiento en las montañas y que las estaciones de montaña tienen un gran área donde son representativas a su alrededor, al igual que las estaciones localizadas en áreas llanas y que se encuentran tierra adentro.

Una vez obtenidas las rosas de igual representatividad se pueden trazar los mapas de distribución espacial de tormentas en la región occidental de la Isla de Cuba. Aquí se mostrará el mapa para los códigos representativos de tormentas, menos el relámpago visible (17, 29, 91, 92, 95, 96, 97, 99) (figura 4). Las frecuencias se calcularán a partir de las observaciones diurnas con las rectificaciones propuestas en la Tabla 2.

En el mapa se observa que lejos de las costas hay mayor frecuencia de ocurrencia de tormentas especialmente en las provincias de La Habana, Matanzas y la parte occidental de Pinar del Río y se ve un fuerte gradiente de valores bajos en las costas de Ciudad de la Habana a altos valores en el centro de la Provincia Habana y un gradiente bien marcado desde valores altos al norte y muy bajos al sur de la parte oriental de la provincia de Pinar del Río. Esta diferencia tan marcada entre la zona occidental y oriental de la provincia Pinar del Río, pudiera deberse

a falta de datos en la costa norte de dicha provincia que en caso de existir ayudarían a establecer un perfil de distribución más detallado, por esto se recomienda rescatar datos, aunque las series sean parciales, de las estaciones de Santa Lucía (312) y Bahía Honda (318) para precisar el trazado de isolinéas.

Respecto al estudio de las tendencias, se utilizan las series de frecuencia de ocurrencia anuales de observaciones con tormentas para los códigos 17, 29, 91, 92, 95, 96, 97 y 99 en los horarios diurnos (07 a 19 hora local); lo primero permitirá ganar en representatividad del fenómeno y lo segundo homogenizar las series, pues muchas estaciones tienen series parciales en los horarios de noche y madrugada o no tienen ninguna información, además se determinó anteriormente que existía una correlación significativa entre las frecuencias en todos los horarios y en los diurnos, por lo que se puede considerar estos últimos representativos del cambio año a año.

El mapa de tendencias se observa en la figura 5 donde solo representaremos el valor de las tendencias en las estaciones según el convenio establecido en el acápite de materiales y métodos, sin trazar isolinéas que pueden conducir a interpretaciones erróneas de la distribución espacial, debido al insuficiente número de puntos para este análisis. No se utilizarán las estaciones de La Sabana (372) porque solo posee 15 años de información y Bauta (376) porque su serie está dividida por un periodo con falta de datos.

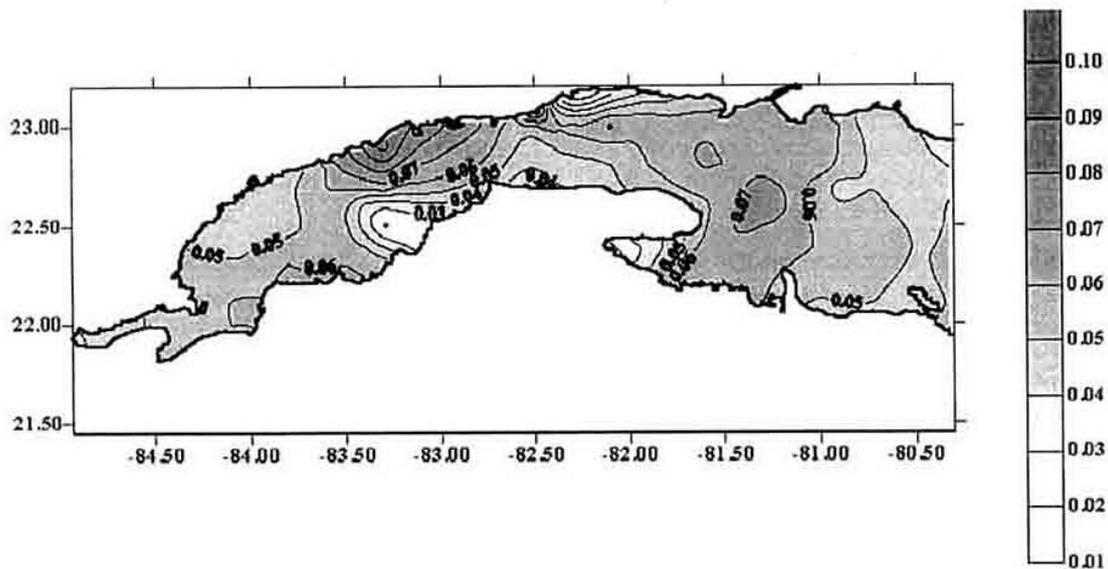


Fig. 4. Distribución espacial de la frecuencia de ocurrencia de observaciones de tormentas dadas por los códigos de tiempo presente 17, 29, 91, 92, 95, 96, 97 y 99 para la región occidental de la Isla de Cuba.

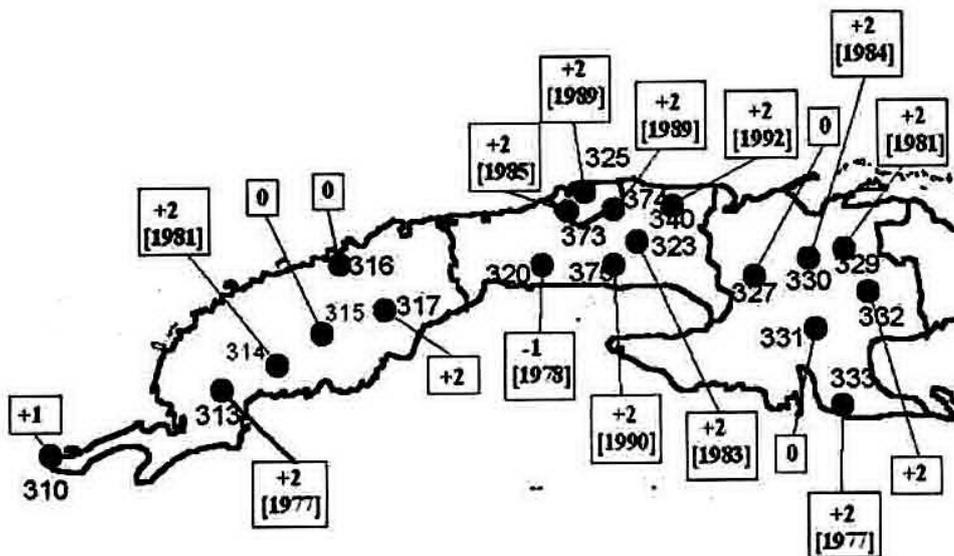


Fig. 5. Análisis de la tendencia de las series de frecuencia de ocurrencia de tormentas anuales para los códigos de tiempo presente 17, 29, 91, 92, 95, 96, 97 y 99 en cada estación de estudio. El carácter de la tendencia está reflejada en la parte superior de los recuadros siguiendo el convenio establecido en el acápite de materiales y métodos. El valor entre corchetes en la parte inferior de los recuadros es el punto probable de cambio de las series, allí donde el análisis fue posible.

Las series de frecuencia de ocurrencia de tormentas anuales son en gran número crecientes altamente significativas, excepto dos en la parte oriental de Pinar del Río (315 y 316) y dos en la parte occidental de Matanzas (327 y 331) que son homogéneas y una sola serie con tendencia decreciente significativa en la provincia La Habana (320). Los puntos de cambio son específicos para cada serie y están entre 1977 y 1992. En general existe un carácter creciente de las tormentas en la zona de estudio.

Conclusiones y recomendaciones.

En la región occidental de la Isla de Cuba tanto la marcha anual como la marcha diaria de frecuencia de ocurrencia de tormentas tiene una distribución similar entre todas las estaciones en estudio. La marcha anual presenta generalmente un máximo entre julio y agosto y entre los meses de mayo y octubre se encuentra el 90% de las observaciones. La marcha diaria presenta un máximo a las 16 hora local y entre los horarios de las 07 y las 19 se encuentra entre el 80 y el 90% del total de observaciones.

La marcha anual para el relámpago visible (código 13), aunque la mayoría de las observaciones se agrupan entre los meses de mayo y de octubre, hay un máximo absoluto en casi todas las estaciones para el mes de septiembre. En el caso de la marcha diaria el comportamiento es bien diferente a los restantes códigos observándose máximos en las horas extremas del día (01, 04 y 22 hora local) y mínimos marcados durante el periodo diurno.

Existe una relación lineal determinada para todas las estaciones entre la frecuencia de ocurrencia de tormentas en todas las horas del día y para el periodo diurno, obtenida a partir de los intervalos en que existe información de noche y madrugada; esto permite rectificar los valores de la serie de observaciones totales a partir de las observaciones diurnas solventando el problema de la falta de información.

Existe una equivalencia entre las frecuencias de ocurrencia calculada a partir de observaciones horarias y trihorarias para la estación Casablanca, lo que permite afirmar que puede caracterizarse el fenómeno tormenta a partir de observaciones trihorarias de la variable tiempo presente.

La distribución espacial de frecuencia de ocurrencia del fenómeno tormenta en la región occidental de la Isla de Cuba presenta que, lejos de las costas hay mayor frecuencia de ocurrencia de tormentas especialmente en las provincias de La Habana, Matanzas y la parte occidental de Pinar del Río y se observa un fuerte gradiente de valores bajos en las costas de Ciudad de la Habana a altos valores en el centro de la Provincia Habana y un gradiente bien marcado desde valores altos al norte y muy bajos al sur de la parte oriental de la provincia de Pinar del Río.

Las series de frecuencia de ocurrencia de tormentas anuales son en gran número crecientes altamente significativas, con la excepción de 4 estaciones con series homogéneas y una decreciente significativa al sur de la provincia La Habana.

Se recomienda procesar las estaciones de Santa Lucía (312) y Bahía Honda (318) en la costa norte de la provincia Pinar del Río, para precisar el trazado de isólinas.

Dado que la metodología se considera válida se recomienda extender el trabajo a todo el país.

Referencias.

Agullar G. G. (2000): Los tornados intensos en Cuba. Análisis de dos casos de estudio. Tesis presentada en opción del título de Máster en Ciencias Meteorológicas. T-43-00, UDICT, InsMet, 64 pp.

Alfonso A. P. (1985): Pronóstico a corto plazo de las turbonadas en la Ciudad de la Habana. *Ciencias de la Tierra y el Espacio*, 10: 115 - 118.

Alfonso A. P. (1986): Aspectos climatológicos de las turbonadas en la Ciudad de la Habana. *Ciencias de la Tierra y el Espacio*, 12: 85 - 100.

Alfonso A. P. (1994): Climatología de las tormentas locales severas de Cuba. *Cronología*. Editorial Academia, La Habana, 168 pp.

Álvarez R. (1978): Estudio de la dispersión de contaminantes en la atmósfera de Cuba. Tesis presentada para el grado de Doctor en Ciencias Físico Matemáticas. Instituto de Física de la Atmósfera, Moscú, 156 pp.

Cressman, G. P. (1959): An operational objective analysis system. *MWR*, 87(10): 367-374

Finalé A. (2004): La fulguración en Cuba y sus particularidades en la provincia de Las Tunas. *Memorias de la Convención Trópico 2004*. Primer Taller de Meteorología Tropical, Ciudad Habana, del 4 al 9 de abril 2004, publicación electrónica, (E:/trabajos/meteorologia/II variabilidad y cambios climaticos/M073.pdf).

García E. (2003): Pronóstico de la ocurrencia de tormentas eléctricas para el día siguiente en el verano de Cuba. *Memorias del X Congreso Latinoamericano e Ibérico de Meteorología, II Simposium Internacional de Ciclones Tropicales «Benito Viñes in Memoriam» y II Congreso Cubano de Meteorología*. Ciudad de la Habana, del 3 al 7 de marzo del 2003, publicación electrónica, ISBN 959-270-014-1.

Lecha L. B.; L. R. Paz y B. Lapinel, eds. (1994): El Clima de Cuba. Editorial Academia, La Habana, 186 pp.

OMM (1956): World distribution of thunderstorm days. WMO Technical Publication No. 21, 77 pp.

Ostle B. (1981): Estadística Aplicada. Editorial Científico - Técnica, La Habana, 629 pp.

Sosa, J. A. (1981): Pronóstico objetivo de turbonadas para las provincias La Habana y Ciudad de la Habana. *Ciencia de la Tierra y el Espacio*, No. 3: 119 - 127.

Sneyers, R. (1990): On the statistical analysis of series of observations. Technical Note No. 143, WMO-No. 415, 192 pp.

Sneyers, R; L. Alvarez (2000): The change-point instability of climatological time-series as alternative to randomness. The example of annual temperature averages 1908 - 1995 at Casablanca (Cuba). *Boletín de la Sociedad Meteorológica de Cuba*, 6 (1), publicación electrónica. http://www.met.inf.cu/sometcub/boletin/v06_n01/english/paper_61.htm

Thunderstorms spatial distribution and its trend in the western region of the Island of Cuba.

Abstract.

A characterization of Thunderstorms is made based on tri-hourly records of the present weather state variable for 21 stations of the western region of Cuba, contained in a data base; it is determined which codes are most representative. The daily and yearly marches of frequencies of observations reporting storms are analyzed and it is found that maximum values occur in summer during the afternoon. A study is made on the influence of the lack of observations in the night shifts at several stations and a correction is introduced to solve the problem. A preliminary spatial interpolation is made taking into account the spatial representativity of each station, based on a cluster analysis of the frequency of occurrence of the storm phenomenon. In the spatial distribution maps it can be observed that there is a greater occurrence of storms in the central eastern region of the provinces Havana and Havana City and in the central northern region of the province of Matanzas. In the province of Pinar del Río a decrease is noted from North to South. Trends are analyzed by non parametrical methods for each station with more than 20 years of information. In the trends map it can be seen that they are growing over most of the territory under study with the exception of a region between the eastern part of Pinar del Río and the western part of Havana where homogeneous and significantly decreasing series are found. Recommendations are given on the rescue of more information related to the phenomenon and the extension of this methodology to the rest of the National territory.

Key words: Thunderstorms, present weather, trend.