

Estudio de las tormentas eléctricas y su tendencia en la estación meteorológica de Santiago de las Vegas.

Lourdes Álvarez Escudero, Israel Borrajero Montejo, Rosendo Álvarez Morales,
Laura Aenlle Ferro

Centro de Física de la Atmósfera. Instituto de Meteorología.
Apartado Postal 17032. CP 11700. Habana 17. Ciudad Habana. Cuba.
FAX: (537) 33 80 10 e-mail: lulu@met.inf.cu

RESUMEN

Se caracterizan las tormentas eléctricas a partir de la variable estado del tiempo presente para la serie trihoraria de la estación meteorológica de Santiago de las Vegas en el periodo 1970 - 2002 y se determina su representatividad. Se diferencia el estudio para los códigos que representan tormenta sobre la estación y lejos de ella. Se obtiene una tendencia creciente altamente significativa para la serie de número de observaciones con tormenta sobre la estación con un punto de cambio sobre 1981 y decreciente significativa para tormentas lejanas a la estación con un punto de cambio cercano a dicho año. La mayoría de las observaciones de tormenta se agrupan en los meses de verano con un máximo en agosto y en horas de la tarde y la noche con un máximo a las 16 (hora local). La tendencia por meses del año y horas del día se presenta en general creciente altamente significativa, allí donde su representatividad es más elevada, para las tormentas sobre la estación y decrecientes para las tormentas lejanas.

Palabras claves: tormenta eléctrica, tiempo presente, turbonada.

INTRODUCCIÓN

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).

Álvarez (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. 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 la estación Santiago de las Vegas en el periodo 1970 - 2002, de manera que este análisis sirva de metodología al trabajo con otras estaciones a lo largo y ancho del país que permita describir la distribución espacial de las tormentas eléctricas en Cuba.

MATERIALES Y METODOS

Aquí se trabajará con los valores trihorarios de la variable estado del tiempo presente para la estación de Santiago de las Vegas, Ciudad Habana, en el periodo 1970 - 2002. Esta estación excepto entre los años 1973 y 1977 no realizaba mediciones en los horarios de noche y madrugada (01, 04, 22 hora local) por lo que los análisis de tendencia por horas del día se realizarán solo para los horarios con representatividad suficiente.

El análisis se realizará para dos modos de caracterizar las tormentas, 1) el que incluye los códigos de tiempo presente relativos a tormentas sobre la estación (29, 91, 92, 95, 96, 97, 99) y 2) el que incluye los códigos de tiempo presente relativos a tormentas lejos de la estación (13, 17).

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.

RESULTADOS

En la estación Santiago de las Vegas los códigos de tormenta considerando tormenta lejana como cercana, abarcan el 12 por ciento del total de observaciones. Entre los códigos más sobresalientes se encuentran el 13 con 3.83%, el 17 con el 4.51% y el 95 con el 2.12%. El porcentaje de ocurrencia para cada uno de los códigos de tiempo presente puede verse en la figura 1.

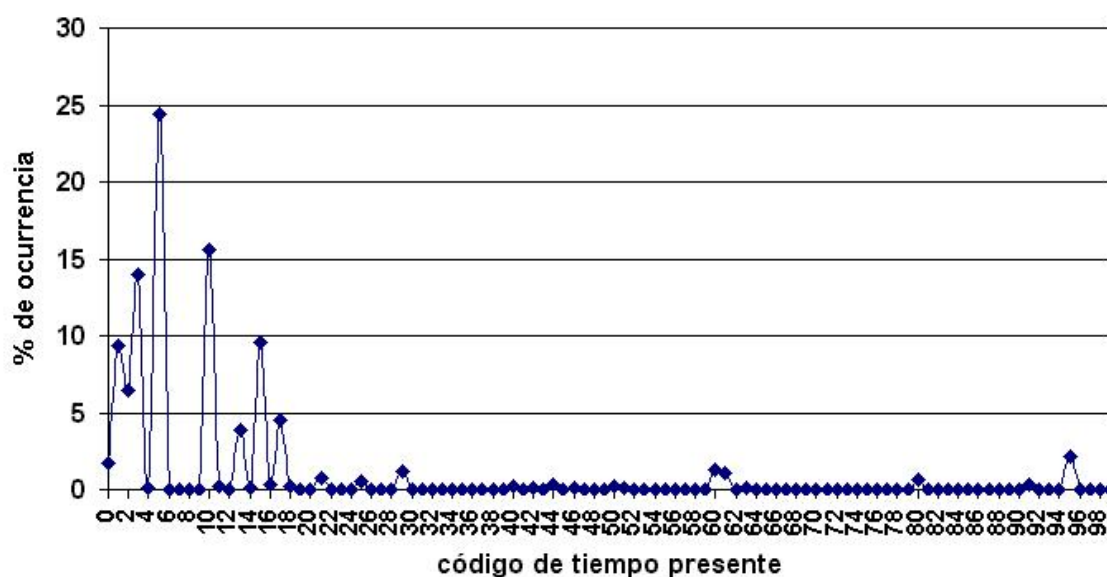


Figura 1. Porcentaje de ocurrencia para cada código de tiempo presente en la estación Santiago de las Vegas en el periodo 1970 - 2002.

La marcha anual para las tormentas en la estación se muestra en la figura 2 y las lejanas a la estación en la figura 3. Estas curvas presentan un comportamiento semejante, por lo general la mayoría de los casos son en el periodo del verano (mayo - octubre) en correspondencia con el periodo lluvioso, aunque para las tormentas sobre la estación la frecuencia de ocurrencia es bastante pareja entre los meses de junio y septiembre y para las tormentas lejanas hay un máximo marcado en septiembre.

La marcha diaria presenta un comportamiento diferente para las tormentas sobre la estación y lejanas a la misma. Las tormentas sobre la estación tienen su mayor frecuencia de ocurrencia en horas de la tarde con un máximo a las 16 hora local, sin embargo y a pesar de la poca representatividad del número de observaciones para esos horarios, la mayor frecuencia de ocurrencia de códigos de tormenta lejana se agrupan en los horarios de la noche y la madrugada, donde son más visibles las manifestaciones eléctricas (figuras 4 y 5).

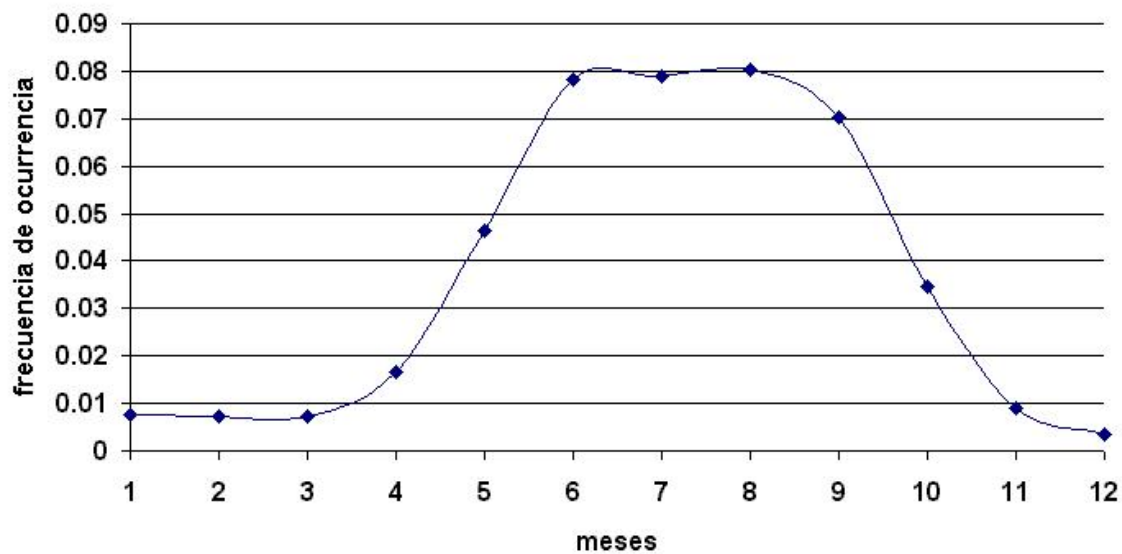


Figura 2. Marcha anual de tormentas eléctricas sobre la estación para la estación de Santiago de las Vegas en el periodo 1970 - 2002.

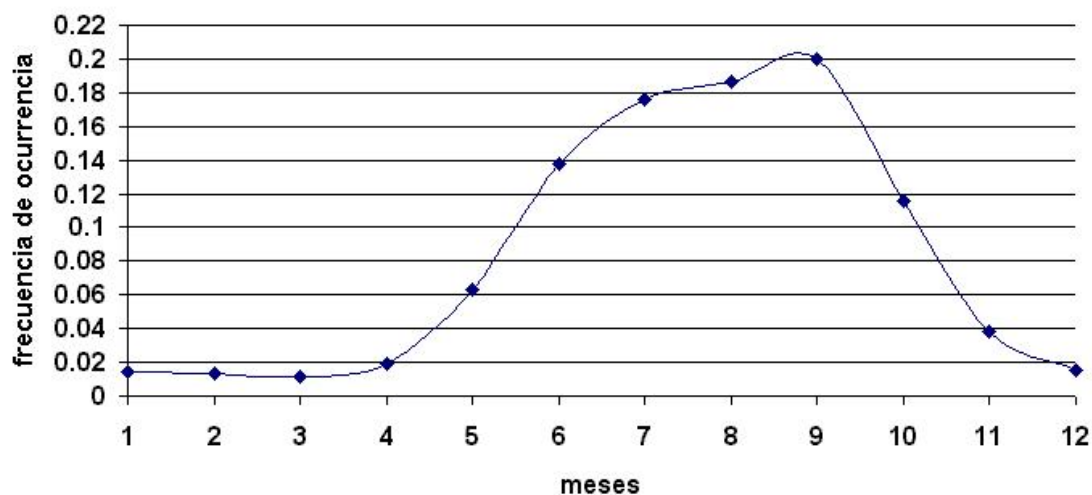


Figura 3. Marcha anual de tormentas eléctricas lejanas a la estación para la estación de Santiago de las Vegas en el periodo 1970 - 2002.

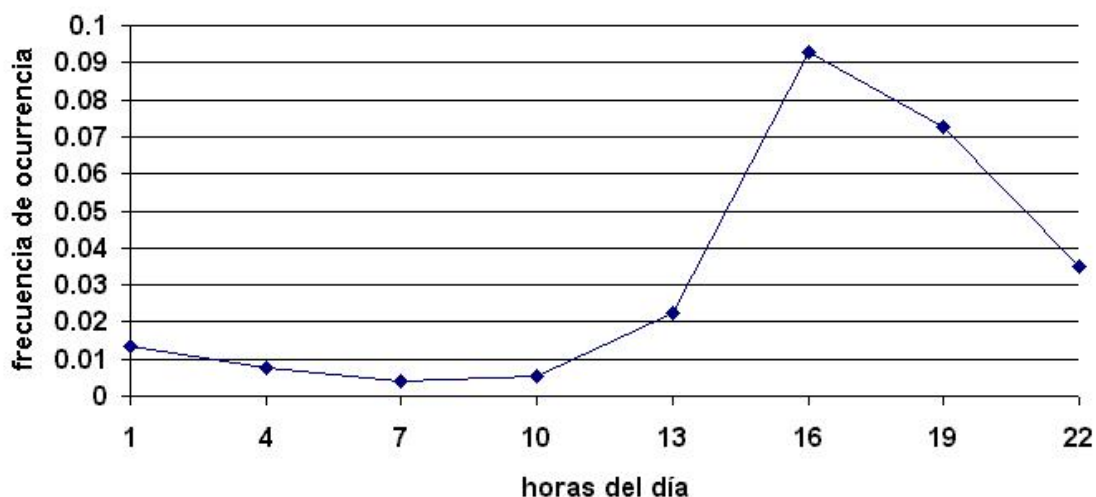


Figura 4. Marcha diaria de tormentas eléctricas sobre la estación para la estación de Santiago de las Vegas en el periodo 1970 - 2002.

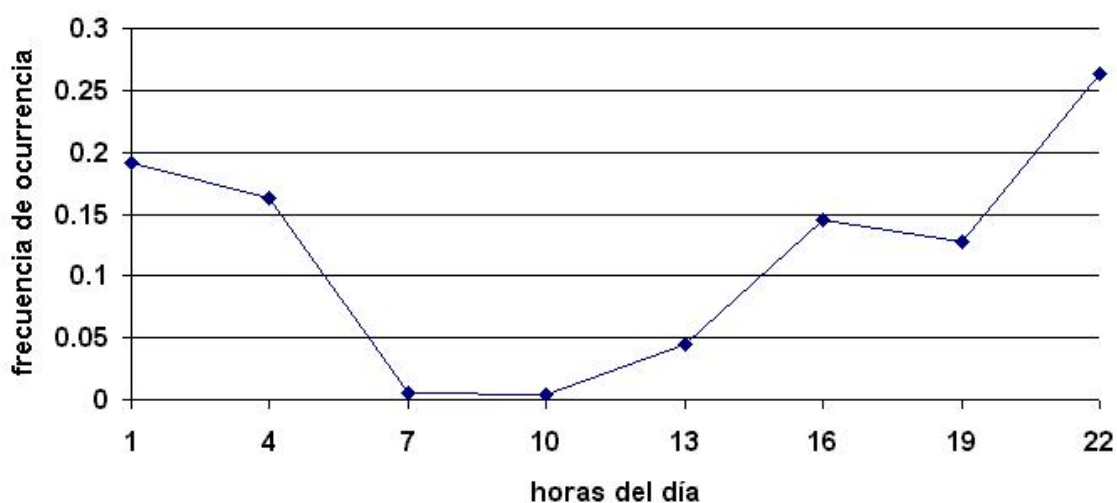


Figura 5. Marcha diaria de tormentas eléctricas lejanas a la estación para la estación de Santiago de las Vegas en el periodo 1970 - 2002.

El comportamiento aquí descrito sobre todo en lo referente a las tormentas sobre la estación muestra similitud con estudios anteriores mencionados en la introducción realizados a partir del número de días con tormentas y que plantean que la mayoría de las lluvias en Cuba se vinculan a las tormentas y que estas se producen en horas de la tarde debido al calentamiento diurno. La diferencia fundamental está dada en que aquí el estudio se hace a partir de la variable estado del tiempo presente y esto permite una mayor heterogeneidad de los fenómenos.

El análisis de tendencia se realizó para varios conjuntos de códigos según su naturaleza, el resumen de este análisis puede verse en la Tabla 1.

Códigos	Descripción	Tendencia según estadígrafo de Wald-Walfowitz	Tendencia según estadígrafo de Sperman	Tendencia según estadígrafo de Mann-Kendall	Posible punto de cambio	Conclusión
29,91, 92,95, 96,97, 99	Tormenta sobre la estación en el tiempo de la observación o una hora antes	2	+2	+2	1981 - 1983	serie creciente altamente significativa
13,17, 29,91, 92,95, 96,97, 99	Tormenta sobre la estación o lejana a esta	2	0	0	---	serie homogénea
13, 17	Tormenta lejana a la estación	2	+2	+1	---	serie creciente significativa
95, 96,97, 99	Tormenta sobre la estación en el tiempo de la observación con lluvia	2	+2	+2	1977 - 1981	serie creciente altamente significativa
29, 91, 92	Tormenta sobre la estación una hora antes de la observación	2	+2	+2	1988 - 1989	serie creciente altamente significativa

	con o sin lluvia					
17	Tormenta lejana a la estación (se oye el trueno)	1	+2	+2	1977 - 1984	serie creciente significa- tiva
13	Tormenta lejana a la estación (relámpago visible)	2	-2	-2	1983	serie decre- ciente altamente significa- tiva

Tabla 1. Resumen del análisis de tendencia para series de la estación Santiago de las Vegas en el periodo 1970 - 2000.

De la anterior tabla se observa que casi todas las series son crecientes altamente significativas, con la excepción de la serie que agrupa a los código 13 o donde esta influye, que hace que estas sean homogéneas o crecientes significativas. Este resultado puede estar enmascarado por la ausencia de datos en horarios de la noche y la madrugada que como se ve en la figura 5, son los horarios donde mayor presencia tiene el fenómeno representado por el código 13, ya que es donde más visible se hace el relámpago. De aquí puede recomendarse trabajar el código 13 aparte y darle importancia en dependencia de su representatividad, aunque no debe desecharse por ser un indicativo de actividad eléctrica con mucha más representatividad que otros códigos de tormenta.

El análisis mensual y por horas del día para los códigos de tormenta sobre la estación y lejana a ella se resume en las Tablas 2, 3, 4, 5.

Tabla 2. Análisis de tendencia de la ocurrencia anual de tormentas eléctricas, para la estación Santiago de las Vegas (373) por meses del año. Se consideran tormentas las que ocurren sobre la estación (códigos 29, 91, 92, 95, 96, 97, 99)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV
---	----	-----	----	---	----	-----	------	----	---	----	-----	------	-----	----

1	33	14	0.037	0	2	2	2	1	1976	2	2	2	1977	---
2	33	13	0.048	0	0	0	0	15	0	0	0	0	1991	---
3	33	9	0.025	0	0	1	1	5	0	1	1	1	1982	---
4	33	5	0.06	0	2	2	2	3	0	2	2	2	1988	+2
5	33	0	0.09	0.005	0	2	2	1	1976	2	2	2	1983	?
6	33	0	0.2	0.018	2	2	2	1	1981	2	2	2	1980	+2
7	33	0	0.135	0.02	2	2	2	1	1978	2	2	2	1981	+2
8	33	0	0.153	0.024	2	2	2	1	1989	2	2	2	1984	+2
9	33	0	0.146	0.013	2	2	2	1	1978	2	2	2	1981	+2
10	33	0	0.104	0.004	0	2	2	5	0	2	2	2	1990	?
11	33	7	0.026	0	0	2	1	1	1976	1	0	1	1977	---
12	33	23	0.019	0	0	0	0	9	0	0	0	0	1992	---

- I. Meses del año.
- II. Total de puntos de la serie.
- III. Cantidades de valores iguales a cero.
- IV. Valor máximo de frecuencia en la serie.
- V. Valor mínimo de frecuencia en la serie.
- VI. Conclusión sobre el cálculo del estadígrafo de Wald - Wolfowitz.
- VII. Conclusión sobre el cálculo del estadígrafo de Spearman.
- VIII. Conclusión sobre el cálculo del estadígrafo de Mann - Kendall.
- IX. Cantidad de cortes entre las series directa y retrógrada del estadígrafo de Mann - Kendall.
- X. Posible punto de cambio si hay un solo corte entre las series directa y retrógrada del estadígrafo de Mann - Kendall.
- XI. Conclusión de la prueba de Fisher para los estadígrafos de Wald - Wolfowitz y Spearman.
- XII. Conclusión de la prueba de Fisher para los estadígrafos de Wald - Wolfowitz y Mann - Kendall.
- XIII. Conclusión sobre el cálculo del estadígrafo de Pettitt.
- XIV. Posible punto de cambio según el estadígrafo de Pettitt.
- XV. Conclusión general sobre el análisis de tendencia de la serie.

Tabla 3. Análisis de tendencia de la ocurrencia anual de tormentas eléctricas, para la estación Santiago de las Vegas (373) por horas del día. Se consideran tormentas las que ocurren en la estación (códigos 29, 91, 92, 95, 96, 97, 99).

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV
1	33	7	10	0	0	2	2	3	0	2	2	2	1984	---
4	33	19	10	0	0	1	0	3	0	0	0	0	1974	---
7	33	13	0.016	0	0	2	1	5	0	0	0	0	1996	?
10	33	8	0.016	0	0	2	2	1	1976	2	2	2	1981	?
13	33	0	0.041	0.005	0	1	1	3	0	0	0	1	1984	?
16	33	0	0.148	0.036	2	2	2	1	1984	2	2	2	1983	+2
19	33	0	0.129	0.014	2	2	2	3	0	2	2	2	1988	+2
22	33	5	10	0	0	2	2	5	0	2	2	2	1978	---

Tabla 4. Análisis de tendencia de la ocurrencia anual de tormentas eléctricas, para la estación Santiago de las Vegas (373) por meses del año. Se consideran tormentas las lejanas a la estación (códigos 13, 17)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV
1	33	9	0.08	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1981	---
2	33	9	0.043	0	0	0	0	9	0	0	0	0	1980	---
3	33	11	0.065	0	0	2	2	1	1985	1	1	2	1986	---
4	33	6	0.06	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1988	---
5	33	2	0.149	0	2	0	0	7	0	2	2	0	1980	0
6	33	0	0.304	0.036	0	0	0	5	0	0	0	0	1977	0
7	33	0	0.379	0.052	2	-2	-2	3	0	2	2	2	1977	-2
8	33	0	0.444	0.071	2	-2	-2	1	1980	2	2	2	1977	-2
9	33	0	0.433	0.072	2	-1	-2	1	2001	2	2	0	1993	-2
10	33	0	0.27	0.032	0	0	0	5	0	0	0	0	1995	0
11	33	0	0.093	0.007	0	0	0	1	1999	0	0	0	1994	0
12	33	7	0.069	0	0	0	0	5	0	0	0	0	1983	---

Tabla 5. Análisis de tendencia de la ocurrencia anual de tormentas eléctricas, para la estación Santiago de las Vegas (373) por horas del día. Se consideran tormentas las lejanas a la estación (códigos 13, 17).

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV
1	33	16	10	0	0	-1	-2	3	0	1	2	2	1979	---
4	33	23	10	0	2	0	0	1	1981	2	2	2	1979	---
7	33	6	0.016	0	2	0	0	3	0	0	0	0	1992	0
10	33	9	0.011	0	0	0	0	7	0	0	0	0	1982	0
13	33	0	0.068	0.016	0	0	0	5	0	0	0	0	1983	0
16	33	0	0.214	0.084	0	1	1	1	1974	1	0	1	1982	0
19	33	0	0.195	0.042	0	0	0	5	0	0	0	0	1974	0
22	33	11	10	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1979	---

El comportamiento por meses del año y por horas del día es similar al análisis de las series en general, las series con códigos de tormenta sobre la estación suelen ser crecientes allí donde son representativas, con algunos casos donde a pesar de haber tendencia global no hay correlación interna por lo que es difícil arribar a una conclusión y las series representativas de tormentas lejanas a la estación suelen ser decrecientes u homogéneas, igualmente influidas por el código 13.

En general el análisis de puntos de cambio es complicado, pues muchas series no presentan un punto único y las pruebas de Mann - Kendall y Pettitt no suelen coincidir aunque se observa cierto número de series con puntos de cambio entre 1981 y 1983, por lo que se haría meritorio un estudio sobre las condiciones que pudieron causar un giro de las tendencias en esos años para la estación.

Como último punto sería interesante analizar la consecutividad entre códigos de tormenta, para lo que se escogieron aquellos de mayor representatividad, a saber el 13, el 17 y el 95. El resultado se resume en la Tabla 6.

Tabla 6. Porcientos de consecutividad en que un código de tormenta sigue a otro, para los códigos 13, 17 y 95 en la estación Santiago de las Vegas en el periodo 1970 - 2002.

1er código	2do código	% de veces
------------	------------	------------

		consecutivas
13	13	33
13	17	1
17	17	14
17	95	8
95	95	9

De la tabla se observa que la mayor permanencia la tiene el código 13 con un 33% de al menos dos observaciones seguidas con el mismo fenómeno (6 horas) y el segundo lugar con un 14% el código 17. En general no es común encontrar sobre la estación una secuencia 13, 17, 95 que significaría relámpago visible, trueno y tormenta, lo que podría implicar que las tormentas lejanas visibles desde la estación no suelen desplazarse sobre la estación o que el tiempo entre observaciones es muy grande para poder describir la secuencia. Una precisión sobre esto podría lograrse haciendo un estudio de la variable estado del tiempo pasado, para precisar tormentas entre observaciones, aunque esto no reflejaría diversidad en los códigos y el tiempo de ocurrencia no podría fijarse, además implicaría la adquisición de gran cantidad de datos, tarea que no puede realizarse en corto tiempo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estudio de las tormentas eléctricas a partir de los datos trihorarios de la variable estado del tiempo presente, muestra resultados similares a los reportados por la literatura y realizados con el conteo de días con tormentas, pero además permite el estudio de otros tipos de actividad eléctrica.

Las tormentas eléctricas sobre la estación tienen un máximo de frecuencia de ocurrencia entre los meses de mayo y octubre y a las 16 hora local a diferencia de las tormentas lejanas que tienen un máximo marcado en el mes de septiembre y son más abundantes en horas de la noche y la madrugada.

El estudio de tendencia de las series de cantidad de observaciones de tormentas eléctricas sobre la estación de Santiago de las Vegas para el periodo 1970 - 2002, muestra una tendencia creciente altamente significativa, a excepción del relámpago visible en la estación que a pesar de ser uno de los códigos de actividad eléctrica más representativo, ve afectado su análisis por la falta de observaciones de noche y madrugada.

La secuencia de códigos de tormenta más recurrente es de relámpago visible desde la estación con un 33% de que ocurra en la segunda observación si ocurrió en la primera.

Se recomienda extender la metodología a otras estaciones del país con igual y diferente situación físico geográfica con vistas a la comparación de resultados.

REFERENCIA

Aguilar 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.

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.

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