

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.

Autores: Lourdes Álvarez Escudero, Israel Borrajero Montejo, Rosendo Álvarez Morales
Centro de Física de la Atmósfera. Instituto de Meteorología.
e-mail: lourdes.alvarez@insmet.cu.

Resumen.

Se realiza un estudio de la tendencia a partir de las series cronológicas de las variables frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta, frecuencia de ocurrencia de observaciones de tormentas con lluvia y número de días con tormentas, allí donde la calidad de los registros de la variable estado del tiempo presente lo permite y se da una caracterización de la variación temporal del fenómeno tormenta para el territorio cubano. Se constata que la calidad de los datos es fundamental en la obtención de un carácter de la tendencia coherente entre las tres variables en estudio y en la determinación de cambios debidos a causas naturales y puntos de cambio dentro de las series de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas en general y con lluvia y días con tormenta. Se obtiene que las series de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas son en su mayoría crecientes altamente significativas u homogéneas, observándose núcleos de tendencia creciente en el centro sur de la provincia Pinar del Río, Ciudad de la Habana, la Isla de la Juventud, la zona central del país y la región sur oriental. Las series de tormentas en general suelen tener muchas más estaciones con carácter homogéneo que las series de tormentas con lluvia lo que en general sugiere que el crecimiento del número de observaciones con tormenta por año son más debidas a las tormentas sin lluvia (fundamentalmente el trueno), que a las con lluvia. Las series de día con tormenta que pudieron evaluarse presentan en su mayoría carácter creciente altamente significativo.

Palabras claves: tiempo presente, tendencia, tormentas eléctricas.

Introducción.

Aunque se han realizado en el mundo muchos trabajos sobre la distribución espacial de las tormentas pocas son las menciones a estudios sobre la tendencia a largo plazo de este fenómeno.

Changnon (1988) calculó la tendencia en la actividad del evento trueno durante el periodo 1948 - 1977 indicando cuatro tipos diferentes de características. Las estaciones en el suroeste y noroeste del país no mostraban cambios en su tendencia durante los 30 años en estudio, pero los eventos en la región norte de la gran planicie del medio - oeste decrecían gradualmente con el tiempo, en la zona de los Grandes Lagos crecía desde 1950 y en el sureste de Estados Unidos decrecía con un mínimo hacia los sesenta y después crecía hasta 1977. El propio Changnon (2001) realizó un estudio de la calidad de los datos de las estaciones consideradas de primer orden en los Estados Unidos y que tenían series largas de datos para evaluar los cambios que diferentes factores podían influir en que se oyera o no el trueno en una estación para considerar el día con tormenta y encontró que de las 130 estaciones con series largas de registros 20 de ellas debían ser desechadas por poseer registros impropios.

En Cuba los estudios de las características generales de las tormentas eléctricas (distribución espacial, estacionalidad y duración) asociados a los

estudios de tendencia son escasos, debido fundamentalmente a que las series temporales de las variables en estudio son cortas.

Álvarez y colaboradores (2004) 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 determinando su representatividad y diferenciando el estudio para los códigos que representan tormenta sobre la estación y lejos de ella. Del trabajo realizado por técnicas no paramétricas de análisis de tendencia y puntos de cambio para series temporales (Sneyers, 1990; Sneyers y Álvarez, 2000) 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.

García (2004) realizó un estudio de la tendencia a partir del ajuste de rectas por mínimos cuadrados y el criterio dado por su coeficiente de correlación, arrojó una tendencia creciente de la actividad eléctrica en las provincias en estudio.

Álvarez y colaboradores (2005) basado en el estudio de la estación Santiago de las Vegas extendió el análisis a la región occidental de Cuba donde las tendencias son analizadas para series por estación con

más de 20 años de información obteniendo tendencias 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.

El objetivo de este trabajo es realizar el estudio de la tendencia a partir de las series cronológicas de las variables frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas, frecuencia de ocurrencia de observaciones de tormentas con lluvia y número de días con tormentas, allí donde la calidad de los registros de la variable estado del tiempo presente lo permita y dar una caracterización de la variación temporal del fenómeno tormenta para el territorio cubano.

Materiales y métodos.

Para el estudio se analizaron los datos de la variable estado del tiempo presente de 63 estaciones meteorológicas del territorio cubano. Se escogieron como códigos representativos de las tormentas 17, 29, 91, 92, 95, 96, 97 y 99. Se realizó un estudio de cantidad de observaciones válidas por años, meses y horas del día, así como de los meses donde no existía información alguna por falta de mediciones o de registros asentados en los libros. Este estudio permitió la clasificación de las series según 5 categorías: excelente (E), muy buenas (MB), buenas (B), regulares (R) y malas (M). Los criterios de clasificación fueron los siguientes:

Excelentes: estaciones con series de más de 20 años de información donde no faltan registros o faltan muy pocos (menos 0.2%, fundamentalmente en horarios de noche y madrugada y meses de la temporada poco activa).

Muy buenas: series con 18 años o más de información, con registros faltantes solo en horarios de noche y madrugada en una parte de la serie (información faltante de menos del 9% del total de observaciones).

Buenas: series con 15 años o más de información (con la excepción de la 339 Cayo Coco que tiene 13 años), donde en casi todos los años faltan los registros de noche y madrugada (información faltante de menos del 22% del total de observaciones).

Regulares: series con 20 años o más de información, pero que presentan registros faltantes en horario diurno en todos los meses y en años intermedios de la serie (información faltante de aproximadamente el 25% del total de observaciones).

Malas: series muy cortas (10 años o menos de información) o con muchos registros faltantes en horarios diurnos y en los meses de máxima actividad del fenómeno a lo largo de toda la serie (información faltante de 32% o más del total de observaciones).

La identificación de cada estación en estudio, el año de comienzo y final de la serie de mediciones, la categoría de calidad de los datos, explicada anteriormente, el año propuesto para comenzar el análisis de tendencia y la duración en años de la serie a analizar se recogen en la Tabla 1.

Para el análisis de tendencia de las series de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas y frecuencia de ocurrencia de observaciones de tormentas con lluvia solo se utilizaron las series calificadas como excelentes, muy buenas y buenas y solo los datos correspondientes al horario diurno (07 a 19 hora local) que es donde más incidencia hay del fenómeno y para el caso de número promedio anual de días con tormentas (donde la falta de información es mucho más influyente en los resultados) solo las que alcanzaron la categoría de excelente y muy buena.

Tabla 1. Resumen por estaciones de las características de la calidad de las series de la variable estado del tiempo presente para ser utilizadas en el análisis de tendencia.

No. de estación	Nombre	Año de comienzo de la serie	Año final de la serie	Calificador para el cálculo de la tendencia	Año a partir del que comienza la serie para la tendencia	Longitud de la serie (en años)
310	Cabo de San Antonio	1970	2002	MB	1970	33
312	Santa Lucía	1981	2002	MB	1985	18
313	Isabel Rubio	1970	2002	B	1970	33
314	San Juan y Martínez	1970	2002	B	1970	33
315	Pinar del Río	1978	2002	MB	1985	18
316	La Palma	1971	2002	MB	1985	18
317	Paso Real de San Diego	1970	2002	MB	1970	33
318	Bahía Honda	1977	2002	E	1985	18
320	Güira de Melena	1970	2002	R		
321	Santa Fe	1970	2002	MB	1971	32
323	Güines	1971	2002	M		
324	Punta del Este	1971	2002	MB	1972	31
325	Casablanca	1972	2002	E	1972	31
326	Santo Domingo	1980	2002	MB	1980	23
327	Unión de Reyes	1977	2002	MB	1979	24
329	Indio Hatuey	1970	2002	B	1981	22
330	Jovellanos	1970	2002	MB	1973	30
331	Jaquety Grande	1977	2002	B	1978	25
332	Colón	1975	2002	MB	1976	27
333	Playa Girón	1970	2002	MB	1970	33
334	Palenque de Yateras	1970	1978	M		
335	Aguada de Pasajeros	1975	2002	B	1982	21
337	Trinidad	1970	2002	B	1986	17
338	Sagua la Grande	1970	2002	B	1970	33
339	Cayo Coco	1990	2002	B	1990	13
340	Bainoa	1979	2002	M		
341	El Jibaro	1977	2002	B	1981	22
342	Topes de Collantes	1970	2002	B	1971	32
343	El Yabú	1977	2002	MB	1978	25
344	Cienfuegos	1975	2002	B	1975	28
345	Júcaro	1970	2002	B	1970	33
346	Venezuela	1977	2002	B	1977	26
347	Camilo Cienfuegos	1977	2002	B	1977	26
348	Caibarién	1970	2002	B	1970	33
349	Sancti - Spiritus	1970	2002	B	1975	28
350	Florida	1970	2002	B	1970	33
351	Santa Cruz del Sur	1970	2002	M		

Tabla 1. Continuación

No. de estación	Nombre	Año de comienzo de la serie	Año final de la serie	Calificador para el cálculo de la tendencia	Año a partir del que comienza la serie para la tendencia	Longitud de la serie (en años)
352	Esmeralda	1970	2002	B	1970	33
353	Nuevitas	1970	2002	B	1970	33
354	Palo Seco	1976	2002	B	1976	27
355	Camagüey	1970	2002	E	1970	33
357	Las Tunas	1975	2002	B	1975	28
358	Puerto Padre	1975	2002	B	1979	24
359	Manzanillo	1975	2002	R	1988	15
360	Cabo Cruz	1970	2002	B	1970	33
361	Jucarito	1976	2002	M		
362	La Jiguima	1975	2002	B	1985	18
363	Contramaestre	1977	2002	B	1981	22
364	Santiago de Cuba	1970	2002	B	1970	33
365	Punta Lucrecia	1970	2002	B	1980	23
366	Gran Piedra	1970	2002	E	1970	33
367	Pedagógico de Holguín	1993	2002	M		
368	Guantánamo	1982	2002	B	1985	18
369	Maisí	1970	2002	M		
370	Guaro	1975	2002	B	1975	28
371	Pinares de Mayarí	1975	2002	B	1977	26
372	La Sabana	1979	1993	M		
373	Santiago de las Vegas	1970	2002	B	1970	33
374	Tapaste	1976	2002	B	1988	15
375	Melena del Sur	1974	2002	B	1979	24
376	Bauta	1974	2002	M		
377	Veguitas	1977	2002	M		
378	Velazco	1976	2002	B	1988	15

La estación 367 es la 372, pero se usa ese número para no confundirla con La Sabana que cerró en 1993

Para el análisis de homogeneidad de las series se realizaron los siguientes pasos:

a) se graficó el valor anual de la variable en estudio y se resumió un descriptor de su comportamiento de la siguiente forma:

- alto bajo medio o similares: se refiere a que el gráfico muestra valores altos de la variable en un periodo y posteriormente valores bajos (o viceversa) y después oscilan alrededor del valor medio.

- regular: se refiere a que los valores en el gráfico oscilan alrededor de un valor medio.

- abrupta: se refiere a un cambio brusco en la serie a partir de un año dado

- abrupta pronunciada: lo mismo que la anterior pero el cambio es más visible.

- creciente (decreciente) en escalera: los valores tienden a ser mayores (menores) de año en año de forma progresiva.

- creciente (decreciente) en escalera pronunciada: lo mismo que el anterior pero el cambio es más visible.

- creciente (decreciente): los valores tienden a ser mayores (menores) de año en año, de forma general, aunque en cierto número de años la tendencia es contraria.

- combinaciones de estos descriptores: describen el comportamiento del gráfico por tramos, por ejemplo «regular creciente» describe un gráfico que en su primer tramo los valores oscilan sobre la media y después son mayores de año en año de forma general.

En la figura 1 se muestran gráficos de series de frecuencia de ocurrencia anual de observaciones con tormenta o de tormentas con lluvia para cada uno de los descriptores de comportamiento definidos anteriormente y donde «A» representa el «alto medio bajo» dado por la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas en la estación 310, «B» representa el «regular» dado por la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas en la estación 331, «C» representa el «abrupta» dado por la frecuencia de ocurrencia de observaciones de tormentas con lluvias en la estación 312, «D» representa el «abrupta pronunciada» dado por la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas en la estación 327, «E» representa el «creciente en escalera» (que podría ser también decreciente) dado por la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas en la estación 321, «F» representa el «creciente en escalera pronunciada» (que podría ser también decreciente) dado por la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas en la estación 325 y «G» representa el «decreciente regular» (que podría ser también creciente) dado por la frecuencia de ocurrencia de observaciones de tormentas con lluvia en la estación 364. En este último caso el descriptor es combinado entre un decreciente que no es en escalera y un regular que oscila alrededor del valor medio de la serie.

b) Se calculó el estadígrafo de Wald-Wolfowitz para determinar correlación interna.

c) Se calculó el estadígrafo de Spearman y el de Mann-Kendall para determinar su tendencia global,

d) Para ayudar a tomar una conclusión, principalmente si había contradicción entre las dos pruebas anteriores se realizaba la prueba global de Fisher. El cálculo de los estadígrafos se hizo según Sneyers (1990).

e) Allí donde las series no son homogéneas estadísticamente se realiza un análisis de punto de cambio, siempre que las series directa y retrógrada de Mann solo presenten un corte o cortes muy cercanos y la prueba de Pettitt dé un punto significativo cercano al valor de la prueba de Mann Kendall. Cuando hay varios cortes el análisis de puntos de cambio suele ser muy complejo y las series deben dividirse en varios tramos, cuestión esta que no es posible porque las series no son lo suficientemente largas. En cualquier caso siempre se refiere el año donde se alcanza el punto extremo del estadígrafo de Pettitt.

Se toma una decisión teniendo en cuenta todo el análisis anterior, usando el siguiente convenio de 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 y sin valor - los datos no eran suficientes o muy contradictorios para arribar a una conclusión.

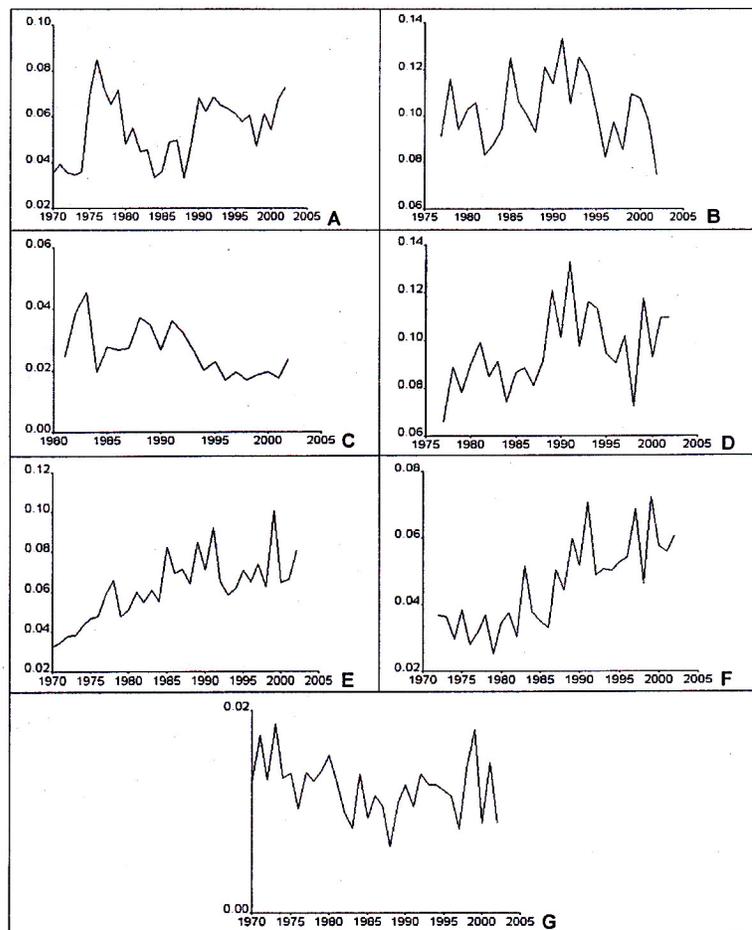


Fig. 1. Representación de los gráficos de series de frecuencia de ocurrencia anual de observaciones con tormenta o de tormentas con lluvia para los diferentes descriptores de comportamiento definidos.

Discusión y resultados.

Todos los análisis realizados se resumen en la Tabla 2. Las letras FT, FL y D dadas como encabezamiento de las filas representan las tres variables a analizar, a saber, frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas, frecuencia de ocurrencia de observaciones de tormentas con lluvia y día con tormenta. Los números romanos que encabezan las columnas representan lo siguiente:

I - Número de la estación según convenio de la OMM.

II - Valor máximo de la serie.

III - Valor mínimo de la serie.

IV - Número de ceros.

V - Descriptor del gráfico.

VI - Nivel de significación para el estadígrafo de Wald Wolfowitz (según convenio dado al final del acápite de materiales y métodos).

VII - Nivel de significación para el estadígrafo de Spearman (según convenio dado al final del acápite de materiales y métodos).

VIII - Nivel de significación para el estadígrafo de Mann Kendall (según convenio dado al final del acápite de materiales y métodos).

IX - Número de cortes entre las series directa y retrógrada del estadígrafo de Mann Kendall.

X - Valor de la abscisa correspondiente al corte entre las series directa y retrógrada del estadígrafo de Mann Kendall (en caso de ser uno).

XI. Nivel de significación para el estadígrafo de Fisher que relaciona los estadígrafos de Wald Wolfowitz y Spearman (según convenio dado al final del acápite de materiales y métodos).

XII. Nivel de significación para el estadígrafo de Fisher que relaciona los estadígrafos de Wald Wolfowitz y Mann Kendall (según convenio dado al final del acápite de materiales y métodos).

XIII - Nivel de significación para el estadígrafo de Pettitt (según convenio dado al final del acápite de materiales y métodos).

XIV - Valor de la abscisa correspondiente al valor extremo del estadígrafo de Pettitt.

Tabla 2. Resumen del análisis de tendencia por estaciones para las tres variables en estudio según la calidad de las series de datos.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV
FT 310	0.085246	0.033333	0	alto bajo medio	2	1	1	5			2	2	1	1989
FL 310	0.021382	0.005485	0	regular	2	0	0	3			2	2	0	1974
D 310	98	53	0	abrupta	0	2	2	7			2	2	2	1989
FT 312	0.123491	0.061918	0	abrupta pronunciada	2	-2	-2	1	1994		2	2	2	1992
FL 312	0.037179	0.01694	0	abrupta	2	-2	-2	1	1994		2	2	2	1993
D 312	150	92	0	abrupta pronunciada	0	0	0	1	1993		0	0	0	1995
FT 313	0.111233	0.041186	0	regular, creciente en escalera pronunciada	2	2	2	1	1975		2	2	2	1977
FL 313	0.032329	0.003844	0	regular, creciente en escalera	2	2	2	1	1973		2	2	2	1977
FT 314	0.110685	0.045005	0	creciente en escalera pronunciada	2	2	2	1	1981		2	2	2	1984
FL 314	0.031233	0.006027	0	creciente en escalera	2	2	2	1	1977		2	2	2	1980
FT 315	0.112329	0.041096	0	decreciente regular	0	-2	-1	3			2	1	2	1991
FL 315	0.03388	0.010411	0	decreciente regular	0	-2	-2	1	1993		2	2	2	1992
D 315	115	67	0	regular	0	0	0	7			0	0	0	1991
FT 316	0.125479	0.08	0	decreciente regular	0	0	0	3			0	0	0	1992
FL 316	0.032329	0.017486	0	decreciente regular	0	0	0	5			0	0	0	1987
D 316	149	109	0	regular	0	0	0	3			0	0	0	1988
FT 317	0.059726	0.01589	0	alto bajo alto	2	1	2	5			2	2	2	1994
FL 317	0.023014	0.007671	0	regular	0	0	0	5			0	0	0	1994
D 317	99	46	0	alto bajo alto	2	2	2	1	1999		2	2	2	1994
FT 318	0.120548	0.085792	0	regular	0	0	0	5			0	0	0	1988
FL 318	0.036164	0.020274	0	regular	0	0	0	7			0	0	0	2000
D 318	145	111	0	regular	0	1	1	7			0	0	0	1998
FT 320	0.103562	0.059726	0	alto bajo alto	1	0	0	3			0	0	0	1993
FL 320	0.029041	0.014762	0	regular	0	0	0	1	1993		0	0	0	1992
FT 321	0.100274	0.034521	0	creciente en escalera	2	2	2	1	1977		2	2	2	1984
FL 321	0.029041	0.00274	0	creciente en escalera	2	2	2	3			2	2	2	1977
D 321	135	52	0	creciente en escalera pronunciada	2	2	2	3			2	2	2	1984
FT 324	0.058082	0.01261	0	creciente en escalera	2	2	2	1	1988		2	2	2	1988
FL 324	0.014754	0.000546	0	bajo, alto irregular	0	2	2	1	1977		2	2	2	1977
D 324	79	24	0	creciente en escalera pronunciada	2	2	2	1	1985		2	2	2	1984
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV
FT 325	0.072368	0.025205	0	creciente en escalera pronunciada	2	2	2	1	1989		2	2	2	1986
FL 325	0.025137	0.003836	0	abrupta pronunciada	2	2	2	3			2	2	2	1986
D 325	108	45	0	creciente en escalera pronunciada	2	2	2	1	1988		2	2	2	1986
FT 326	0.108493	0.050411	0	regular	2	1	0	1	1989		2	2	2	1988
FL 326	0.029431	0.010929	0	regular	0	0	0	3			0	0	0	1982
D 326	136	75	0	abrupta pronunciada	1	2	1	3			2	2	2	1988
FT 327	0.133151	0.072329	0	abrupta pronunciada	0	2	2	1	1988		2	2	2	1988
FL 327	0.047671	0.019726	0	regular	0	0	0	1	1992		0	0	0	1991
D 327	160	103	0	abrupta pronunciada	0	2	2	1	1989		2	2	2	1988
FT 329	0.135342	0.088525	0	regular	0	0	0	3			0	0	0	1984
FL 329	0.043288	0.019178	0	regular	0	0	0	7			0	0	0	1987
FT 330	0.109589	0.056447	0	creciente en escalera pronunciada	2	2	2	1	1984		2	2	2	1984
FL 330	0.043884	0.021311	0	abrupta	0	1	2	3			0	0	2	1984
D 330	137	75	0	creciente en escalera	2	2	2	1	1981		2	2	2	1988
FT 331	0.133151	0.074521	0	regular	0	0	0	5			0	0	0	1994
FL 331	0.041644	0.015342	0	regular decreciente	0	-2	-2	7			2	2	2	1991
FT 332	0.100274	0.049727	0	regular creciente	1	2	2	3			2	2	2	1990
FL 332	0.033516	0.014795	0	regular	0	0	0	7			0	0	0	1991
D 332	127	73	0	creciente regular	0	2	2	1	1978		1	1	2	1988
FT 333	0.091447	0.037126	0	regular creciente	2	2	2	1	1974		2	2	2	1977
FL 333	0.022963	0.005464	0	regular creciente	0	2	2	1	1975		2	2	2	1977
D 333	123	75	0	regular	0	0	0	5			0	0	0	1983
FT 335	0.120548	0.055921	0	regular	0	0	0	5			0	0	2	1994
FL 335	0.025205	0.010417	0	regular	0	-2	-2	3			2	2	2	1993
FT 337	0.08114	0.037808	0	regular creciente	0	2	2	3			2	2	1	1990
FL 337	0.020263	0.007104	0	regular	0	0	0	5			0	0	0	1977
FT 338	0.077808	0.018112	0	abrupta pronunciada	2	2	2	1	1975		2	2	2	1982
FL 338	0.02137	0.004937	0	regular	1	0	0	1	1971		0	0	0	1983
FT 339	0.048219	0.025137	0	decreciente en escalera pronunciada	0	-2	-2	1	1997		2	2	2	1997
FL 339	0.01863	0.007164	0	decreciente en escalera pronunciada	2	-2	-2	3			2	2	2	1996

Tabla 2. Continuación														
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV
FT	341	0.103562	0.049342	0	regular	0	0	0	3		0	0	1	1988
FL	341	0.021918	0.008743	0	regular	1	0	0	3		0	0	0	1993
FT	342	0.157516	0.05266	0	abrupta pronunciada	2	2	2	1	1989	2	2	2	1988
FL	342	0.035068	0.012568	0	creciente en escalera	0	2	2	7		2	2	2	1988
FT	343	0.093801	0.045355	0	creciente en escalera	2	2	2	3		2	2	2	1987
FL	343	0.024658	0.01261	0	regular	0	0	0	1	1986	0	0	0	1984
D	343	132	64	0	creciente en escalera	0	2	2	1	1993	2	2	2	1988
FT	344	0.099781	0.048634	0	regular	0	0	0	11		0	0	0	1976
FL	344	0.025219	0.0104	0	regular	0	0	0	5		0	0	0	1984
FT	345	0.097588	0.037808	0	creciente regular	2	1	1	1	1973	2	2	0	1974
FL	345	0.023497	0.002187	0	creciente regular	0	2	2	1	1974	1	2	1	1982
FT	346	0.078356	0.043716	0	regular	0	0	0	13		0	0	0	1998
FL	346	0.028962	0.014452	0	decreciente regular	0	-2	-2	3		0	0	1	1988
FT	347	0.087432	0.029057	0	abrupta pronunciada	2	-2	-2	1	1996	2	2	2	1991
FL	347	0.033443	0.009315	0	decreciente en escalera	2	-2	-2	1	1992	2	2	2	1991
FT	348	0.093202	0.027397	0	abrupta pronunciada	2	2	2	1	1990	2	2	2	1986
FL	348	0.023014	0.007671	0	regular	0	0	0	5		0	0	0	1986
FT	349	0.122259	0.008427	0	creciente en escalera pronunciada	2	2	2	1	1978	2	2	2	1984
FL	349	0.030719	0.004384	0	creciente en escalera	0	2	2	1	1977	2	2	2	1984
FT	350	0.10411	0.033425	0	creciente en escalera pronunciada	2	2	2	1	1978	2	2	2	1987
FL	350	0.044709	0.010965	0	regular	1	0	0	7		1	1	1	1975
FT	352	0.078356	0.029589	0	creciente en escalera	2	2	2	1	1996	2	2	2	1982
FL	352	0.025137	0.007135	0	creciente regular	1	2	2	3		2	2	2	1982
FT	353	0.073973	0.014795	0	abrupta pronunciada	2	0	0	5		2	2	1	1992
FL	353	0.018082	0.000546	0	alto bajo alto	2	2	2	3		2	2	2	1991
FT	354	0.073973	0.029589	0	decreciente en escalera	0	-2	-2	1	1985	2	2	2	1986
FL	354	0.02411	0.008197	0	regular	0	0	0	5		0	1	1	1985
FT	355	0.07726	0.019189	0	abrupta pronunciada	2	2	2	1	1990	2	2	2	1985
FL	355	0.033973	0.007127	0	creciente en escalera	2	2	2	1	1987	2	2	2	1985
D	355	105	32	0	abrupta pronunciada	2	2	2	1	1989	2	2	2	1985
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV
FT	357	0.082192	0.032126	0	regular	0	0	0	13		0	0	0	1989
FL	357	0.025938	0.008886	0	regular	0	0	0	3		0	0	0	1996
FT	358	0.094536	0.05589	0	regular	0	0	0	3		0	0	0	1987
FL	358	0.01863	0.007123	0	regular	0	1	1	5		0	0	0	1989
FT	360	0.064658	0.015847	0	creciente en escalera pronunciada	2	2	2	1	1992	2	2	2	1991
FL	360	0.013209	0	2	abrupta pronunciada	2	2	2	3		2	2	2	1980
FT	362	0.115102	0.056986	0	bajo alto bajo	0	0	0	5		0	0	0	1997
FL	362	0.028493	0.014795	0	regular	0	0	0	1	2002	0	0	0	1996
FT	363	0.095637	0.05731	0	regular	0	0	0	3		0	0	0	1996
FL	363	0.026898	0.009315	0	regular	0	0	0	5		0	0	0	1983
FT	364	0.072877	0.031614	0	creciente en escalera	2	2	2	1	1990	2	2	2	1989
FL	364	0.018661	0.006568	0	decreciente regular	0	-1	-1	1	1981	0	0	2	1981
FT	365	0.036718	0.008219	0	decreciente en escalera pronunciada	0	0	0	5		0	0	0	1983
FL	365	0.011475	0.003288	0	regular	0	0	0	0		0	0	0	1988
FT	366	0.133151	0.006034	0	creciente en escalera pronunciada	2	2	2	1	1978	2	2	2	1985
FL	366	0.019737	0	1	creciente en escalera pronunciada	2	2	2	1	1979	2	2	2	1985
D	366	158	93	0	abrupta pronunciada	2	2	2	3		2	2	2	1988
FT	368	0.085526	0.04057	0	abrupta pronunciada	2	2	2	3		2	2	2	1991
FL	368	0.013661	0.004953	0	regular	0	2	1	1	1990	1	1	1	1988
FT	370	0.116735	0.054247	0	regular	0	0	0	5		0	0	1	1983
FL	370	0.025205	0.009863	0	decreciente regular	0	-2	-2	1	1984	2	2	2	1983
FT	371	0.180408	0.060822	0	regular	0	2	2	1	1991	2	2	2	1989
FL	371	0.045714	0.013187	0	regular	2	0	0	7		1	1	1	1994
FT	373	0.128219	0.036252	0	creciente en escalera pronunciada	2	2	2	1	1985	2	2	2	1988
FL	373	0.039452	0.006693	0	creciente en escalera pronunciada	2	2	2	1	1977	2	2	2	1981
FT	374	0.142215	0.033404	0	regular	0	0	0	1	1990	0	0	0	1990
FL	374	0.041894	0.011372	0	regular	0	0	0	5		0	0	0	1999
FT	375	0.131907	0.034029	0	abrupta pronunciada	2	2	2	1	1992	2	2	2	1990
FL	375	0.020601	0.006094	0	regular	0	0	0	5		0	0	0	1990
FT	378	0.096327	0.059016	0	regular	0	0	0	5		0	0	0	1994
FL	378	0.026122	0.009315	0	regular	0	0	0	1	1992	0	0	0	1992

Las conclusiones del análisis de tendencia para las estaciones escogidas según la calidad de sus datos y para las tres variables es estudio se resumen en la Tabla 3. La representación espacial de este estudio para cada variable se representa en las figuras 2, 3 y 4.

Tabla 3. Resumen de las características de la tendencia y de los puntos de cambio de las series de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas, frecuencia de ocurrencia de observaciones de tormentas con lluvia y día con tormenta para las estaciones escogidas según la calidad de sus datos.

Número de la Estación	Variable: frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta		Variable: frecuencia de ocurrencia de observaciones de tormenta con lluvia		Variable: número de días con tormentas	
	Características de la tendencia	Posible punto de cambio	Características de la tendencia	Posible punto de cambio	Características de la tendencia	Posible punto de cambio
310	+1	-	0	-	+2 (no hay correlación serial)	-
312	-2	1994	-2	1994	0	-
313	+2	1977	+2	1977	-	-
314	+2	1981	+2	1977	-	-
315	0	-	0	-	0	-
316	0	-	0	-	0	-
317	+1	-	0	-	+2	1994
318	0	-	0	-	0	-
320	0	-	0	-	-	-
321	+2	1977	+2	1977	+2	1984
324	+2	1988	+2 (no hay correlación serial)	-	+2	1985
325	+2	1989	+2	1986	+2	1988
326	0	-	0	-	+1	-
327	+2 (no hay correlación serial)	-	0	-	+2 (no hay correlación serial)	-
329	0	-	0	-	-	-
330	+2	1984	0	-	+2	1981
331	0	-	0	-	-	-
332	+1	1990	0	-	+2 (no hay correlación serial)	-
333	+2	1974	+2 (no hay correlación serial)	1975	0	-

Tabla 3. Continuación

Número de la Estación	Variable: frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta		Variable: frecuencia de ocurrencia de observaciones de tormenta con lluvia		Variable: Número de días con tormentas	
	Características de la tendencia	Posible punto de cambio	Características de la tendencia	Posible punto de cambio	Características de la tendencia	Posible punto de cambio
335	0	-	-2 (no hay correlación serial)	-	-	-
337	+2 (no hay correlación serial)	-	0	0	-	-
338	+2	1982	0	-	-	-
339	-2 (no hay correlación serial)	-	-2	1996	-	-
341	0	-	0	-	-	-
342	+2	1989	+2 (no hay correlación serial)	-	-	-
343	+2	1987	0	-	+2 (no hay correlación serial)	-
344	0	-	0	-	-	-
345	+1	1973	+2 (no hay correlación serial)	-	-	-
346	0	-	-2 (no hay correlación serial)	-	-	-
347	-2	1996	-2	1992	-	-
348	+2	1990	0	-	-	-
349	+2	1978	+2 (no hay correlación serial)	-	-	-
350	+2	1978	0	-	-	-
352	+2	-	+1	-	-	-
353	0	-	+2	-	-	-
354	-2 (no hay correlación serial)	-	0	-	-	-
355	+2	1990	+2	1987	+2	1989
357	0	-	0	-	-	-

Tabla 3. Continuación

Número de la Estación	Variable: frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta		Variable: frecuencia de ocurrencia de observaciones de tormenta con lluvia		Variable: Número de días con tormentas	
	Características de la tendencia	Posible punto de cambio	Características de la tendencia	Posible punto de cambio	Características de la tendencia	Posible punto de cambio
358	0	-	0	-	-	-
360	+2	1992	+2	-	-	-
362	0	-	0	-	-	-
363	0	-	0	-	-	-
364	+2	1990	-1 (no hay correlación serial)	-	-	-
365	0	-	0	-	-	-
366	+2	1978	+2	1979	+2	-
368	+2	-	+1 (no hay correlación serial)	-	-	-
370	0	-	-2 (no hay correlación serial)	-	-	-
371	+2 (no hay correlación serial)	-	0	-	-	-
373	+2	1985	+2	1987	-	-
374	0	-	0	-	-	-
375	+2	1992	0	-	-	-
378	0	-	0	-	-	-



Fig. 2. Representación espacial del carácter de la tendencia de las series de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas anuales para las estaciones seleccionadas según la calidad de sus registros históricos.



Fig. 3. Representación espacial del carácter de la tendencia de las series de frecuencia de ocurrencia de observaciones de tormentas con lluvia anuales para las estaciones seleccionadas según la calidad de sus registros históricos.

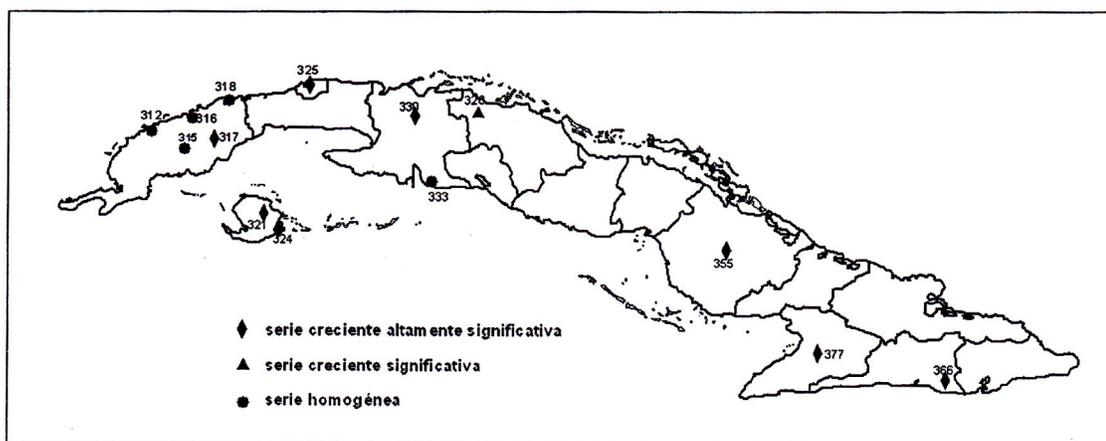


Fig. 4. Representación espacial del carácter de la tendencia de las series de días con tormentas anuales para las estaciones seleccionadas según la calidad de sus registros históricos.

Tanto de la Tabla 3 como de las figuras 2, 3 y 4 se puede constatar que la calidad de los datos es importante en la obtención de un carácter de la tendencia coherente entre las tres variables en estudio, así por ejemplo, las estaciones con mejores registros históricos para la variable estado del tiempo presente que son Casablanca y Camagüey (325, 355), presentan tendencias crecientes altamente significativas para todas las variables analizadas, con un punto de cambio significativo entre 1986 y 1990 y sus distribuciones específicamente la de Casablanca crece de manera progresiva de año en año, aunque Camagüey presenta un cambio abrupto tanto para la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas, como para el número promedio de días con tormenta anual, cambio este que habría que evaluar su carácter natural o antropogénico. Sin embargo series catalogadas como buenas presentan diferentes caracteres de la tendencia para la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta y de tormentas con lluvia y varias no poseen correlación serial.

En general en las estaciones occidentales (excepto la provincia La Habana), los datos tienen más calidad que en las estaciones de la región central y oriental del país. Las dos estaciones de la Isla de la Juventud son bastante buenas en cuanto a la calidad de sus registros. El extremo oriental del país se encuentra totalmente desprovisto de datos para este tipo de análisis.

Las series de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas (figura 2) son en su mayoría crecientes altamente significativas u homogéneas. Se observan núcleos de tendencia creciente en el centro sur de Pinar del Río, Ciudad de la Habana, la Isla de la Juventud, la zona central del país y la región sur oriental. Solo dos estaciones, una al norte de Pinar del Río (312) y otra al norte de Ciego de Ávila (347) presentan tendencia decreciente altamente significativa.

Con respecto a las series de tormentas en general, las de tormentas con lluvia (figura 3) suelen tener muchas más estaciones con carácter homogéneo. Los

núcleos de tendencia creciente se reducen al extremo sur occidental de Pinar del Río, Ciudad de la Habana, Isla de la Juventud (con una sola estación), dos estaciones en Camagüey y tres al sur de Granma y Santiago de Cuba. En general parece que el crecimiento del número de observaciones con tormenta por año son más debidas a las tormentas sin lluvia (fundamentalmente el trueno), que a las con lluvia.

Las series de día con tormenta solo pudieron evaluarse para 14 estaciones (figura 4) y presentan en su mayoría carácter creciente altamente significativo. Las series homogéneas se agrupan al norte y centro oeste de Pinar del Río.

Algunas de las series con tendencia tanto creciente como decreciente presentan cambios abruptos marcados en sus valores año a año (por ejemplo Bahía Honda, Unión de Reyes que se muestra en la figura 1D, Santo Domingo o Sagüa la Grande), cosa que debe tenerse en cuenta, porque por lo general no representa un cambio natural y puede ser debida a causas como variación en los métodos de medición, aumento o disminución del nivel de ruido en la zona de la estación o cambio no registrado en la posición de la estación. En este sentido se recomienda un estudio pormenorizado de los cambios medio ambientales alrededor de estas estaciones, que permitan determinar el carácter antropogénico o natural de los mismos, antes de arribar a una conclusión definitiva. Un estudio de este tipo fue realizado por Changnon (2001) con buenos resultados.

Con respecto a los puntos de cambio, no se observa una concordancia ni a nivel del país, ni por zonas del mismo (Tabla 3) y por lo general dependen del largo de la serie. En el caso de la variable número de días con tormenta, allí donde pudo evaluarse su tendencia, la mayoría se encuentra en la década de los ochenta, fundamentalmente en la segunda mitad, lo que generalmente constituyen los puntos centrales de la serie. Para el caso de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas, donde pudieron evaluarse 27 puntos, estos van desde 1974 hasta 1994.

Conclusiones y recomendaciones.

La calidad de los datos es importante en la obtención de un carácter de la tendencia coherente entre las tres variables en estudio y en la determinación de cambios debidos a causas naturales y puntos de cambio dentro de las series de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas en general y con lluvia y días con tormenta.

Las series de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas son en su mayoría crecientes altamente significativas u homogéneas. Se observan núcleos de tendencia creciente en el centro

sur de la provincia Pinar del Río, Ciudad de la Habana, la Isla de la Juventud, la zona central del país y la región sur oriental.

Con respecto a las series de tormentas en general las series de tormentas con lluvia suelen tener muchas más estaciones con carácter homogéneo lo que en general sugiere que el crecimiento del número de observaciones con tormenta por año son más debidas a las tormentas sin lluvia (fundamentalmente el trueno), que a las con lluvia.

Las series de día con tormenta que solo pudieron evaluarse para 14 estaciones presentan en su mayoría carácter creciente altamente significativo.

Se recomienda un análisis de las condiciones medio ambientales que rodean a las estaciones con cambios abruptos en las series cronológicas de cualquiera de las tres variables en estudio, para determinar cambios naturales o antropogénicos en las mismas y poder arribar a conclusiones precisas sobre el carácter de la tendencia.

Referencias.

Álvarez L., Borrajero I., Álvarez R., Aenlle L. (2004): Estudio de las tormentas eléctricas y su tendencia en la estación meteorológica de Santiago de las Vegas. 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/M044.pdf).

Álvarez L.; R. Álvarez.; I. Borrajero; L. Aenlle (2005): Distribución espacial de las tormentas eléctricas y su tendencia en la región occidental de la Isla de Cuba. Revista Cubana de Meteorología, 12(2)35-42.

Changnon S. A. (1988): Climatology of Thunder Events in the Conterminous United States. Part I: Temporal Aspects. Journal of Climate, 1(4): 389-398.

Changnon S. A. (2001): Assessment of the Quality of Thunderstorm Data at First-Order Stations. Journal of Applied Meteorology, 40(4): 783-794.

García E. A. (2004): Comportamiento de la actividad eléctrica en las provincias habaneras. 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/M082.pdf).

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

Trend analysis of series of thunderstorms and thunderstorms with rainfall observations and days with thunderstorms over the Cuban Territory.

Abstract.

A study is made of the trend, based on chronological series of the variables frequency of occurrence of observations of thunderstorm, frequency of occurrence of observations of thunderstorms with rainfall and number of days with thunderstorm at stations where the quality of the data allows it and a characterization of the time variation of the

thunderstorm phenomenon is given for the Cuban Territory. It's stated that the quality of data is essential for the establishment of a coherent trend figure for the three variables under study as well as in the determination of changes due to natural causes and change points in the series of frequency of occurrence of thunderstorms and thunderstorms with rainfall and days with thunderstorm. The conclusion is reached that the series of frequency of observations of thunderstorms are mostly increasing in significant or highly significant mode or homogeneous, with nuclei of increasing trends towards the Center and South of the province of Pinar del Rio, Havana City, Isla de la Juventud, the Central region of the Country and the South Eastern region. The thunderstorms series use to have many more stations with homogeneous behaviour than the series of thunderstorms with rainfall have, which suggests that the growth of the number of observations of thunderstorms is rather due to thunderstorms without rainfall (mainly thunders) than to thunderstorms with rainfall. The series of days with thunderstorm that could be evaluated show in most cases a highly significant increasing trend.

Key words: present weather, trends, thunderstorms.