

Estudio de la marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta para el territorio cubano.

Lourdes Álvarez Escudero, Israel Borrajero Montejo, Rosendo Álvarez Morales, Laura Aenlle Ferro, Ibis Rivero Llerena, Caridad Iraola Ramírez, Yanneyis Rojas Díaz y Mirna Hernández Gil

Instituto de Meteorología. Apartado Postal 17032. CP 11700. Habana 17. La Habana. Cuba. Teléfono: (537) 868 66 19

e-mail: lourdes.alvarez@insmet.cu, israel.borrajero@insmet.cu, ibis.rivero@insmet.cu, caridad.iraola@insmet.cu, yanneyis.rojas@gtm.insmet.cu, mirna.hernandez@insmet.cu

(Recibido: 05-Oct-2011. Publicado: 30-Mar-2012)

Resumen

Usando como información de base los registros de observaciones trihorarias de código de estado del tiempo presente para 69 estaciones del territorio cubano, se realiza un análisis de la calidad de la información teniendo en cuenta fundamentalmente cuan completas se encontraban las series de registros. El 98 % de las estaciones califican sus series como buenas o categorías superiores y el calificador que acumula más series con resultados regulares y malos es el sesgo horario. Se determinó que el periodo 1989-2008 era el más idóneo para el estudio y se seleccionaron las observaciones relativas al fenómeno “tormenta eléctrica”. Se realizó un estudio de marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas, que mostró una mayoría de series con comportamiento diverso, ya sea homogéneo o tendencia creciente o decreciente y su disposición espacial no mostró áreas de pauta preferente.

Palabras clave: tormenta eléctrica, homogeneidad, tiempo presente.

Abstract

Using as base information trihourly observation records of current weather state for 69 stations over the Cuban Territory, an analysis is made of the information quality taking mainly into account the completion of the series. 98% of stations qualified as good or upper category, and the qualifier comprising more series with regular or bad results was the hourly bias. It was determined that the period 1989-2008 was the most suitable for the study and observations related to the phenomenon Thunderstorm were selected. A study was made of the inter-annual course of the Frequency of occurrence of thunderstorm reports that yielded a majority of series with diverse behaviors, homogeneous, increasing or decreasing. Their spatial distribution didn't show either any defined patterns.

Key words: Thunderstorms, homogeneity, current weather.

1. Introducción

Para emprender el estudio del comportamiento de cualquier variable climática, es necesario contar con series de registros suficientemente largos en número de años, completos y confiables y lograr que las series que se construyan sean homogéneas en el sentido de que sean representativas de la población que describe el parámetro de análisis.

Para poder analizar fenómenos meteorológicos se poseen, en las estaciones meteorológicas varias formas de registros, a saber, el código de estado de tiempo presente, el código de estado de tiempo pasado y el registro de fenómenos, cada uno con sus características específicas; así el tiempo presente brinda la información sobre la ocurrencia de fenómenos de forma trihoraria mediante 100 códigos, el tiempo

pasado solo posee 10 códigos, aunque da la información de las dos horas precedentes a la dada por el tiempo presente y el registro de fenómenos solo da 7 posibilidades de reconocimiento de los mismos y constituye una fuente de información secundaria, que no tributa al código sinóptico, aunque sí da con bastante aproximación la hora de comienzo y final del fenómeno.

En estudios anteriores (Álvarez *et al.*, 2009a, 2009b) se llegó a la conclusión de que los registros más adecuados para el trabajo con los fenómenos nieblas y neblinas eran los de código de tiempo presente. Este análisis puede ser extendido a los demás fenómenos y entre ellos a las tormentas eléctricas. No obstante, los registros de código de tiempo presente no son siempre correctos ni completos, por lo que es necesario el análisis de la calidad de los datos para saber qué estudios pueden emprenderse a partir de ellos y cuales son sus limitaciones.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM, 1992) sugiere que los datos meteorológicos deben pasar por varias etapas de control de calidad como son: la verificación de errores groseros, la verificación de la coherencia interna y de la coherencia temporal, y la verificación de la coherencia espacio-temporal. Muchos trabajos se han dedicado a verificar y completar las series de las variables meteorológicas medidas en las estaciones, incluyendo en ocasiones datos de aire superior, aunque en general las variables más trabajadas han sido la temperatura, la precipitación, la humedad y el viento (Gandin, 1988; Graybeal, *et al.*, 2004b; Feng, *et al.*, 2004; Hubbard *et al.*, 2005; You *et al.*, 2008; Araya, 2011). El código de estado de tiempo presente, sin embargo, no ha sido de los más favorecidos y en ocasiones ha sido utilizado como criterio, junto a otros elementos y metadatos, para perfeccionar y completar registros de otras variables (Graybeal, *et al.*, 2004a).

Dai (2001b) en su trabajo sobre la frecuencia de ocurrencia de tipos de precipitación y tormentas para todo el globo, calculados a partir de registros de código de tiempo presente y pasado, detecta cuatro tipos de inhomogeneidades en los datos: los cambios introducidos en las tablas de código de la OMM, los cambios temporales en el número de reportes, en el tipo de operación de la estación y en la cobertura espacial, el sesgo asociado con los observadores o equipos y el sesgo introducido por la ausencia de datos en diferentes horarios, fundamentalmente en la noche. El mismo autor (Dai, 2001a) plantea como los reportes de tiempo presente presentan a nivel global un marcado contraste en cantidad y calidad para regiones distintas, por lo que recomienda que sean interpretados con precaución, y esta diferencia se observa en los resultados obtenidos, según el fenómeno y el área en estudio.

Para caracterizar las tormentas a partir del código de estado de tiempo presente, Cuba cuenta con las series de observaciones trihorarias, de entre unos pocos años hasta más de 30, en 69 estaciones meteorológicas, distribuidas para garantizar la representatividad de variables como la temperatura y la humedad y allí donde los recursos y la infraestructura existente permitían ubicarlas. Si se considera que un trueno (modo de identificar la tormenta por los observadores) puede bajo condiciones ideales oírse a 16 km de su origen (Vavrek *et al.*, 2011) y se traza una circunferencia de representatividad con centro en cada una de las 69 estaciones meteorológicas cubanas, se encontrarán gran cantidad de áreas donde no hay cobertura para el trueno y otras áreas donde aunque haya solapamiento de las mencionadas circunferencias, las características del fenómeno en las estaciones involucradas es bien diferente, debido a disparidades en la orografía, los obstáculos existentes, el nivel de ruido medioambiental, el método de observación, etc. Además, la falta de información que puede presentar una estación puede ser la misma que la que presenta su vecina más cercana, debido a que la causa de estas lagunas de información puede estar dada por el diseño de los regímenes de observación (medir solo en horarios diurnos).

De la explicación anterior se deduce que una verificación de coherencia espacio-temporal para los registros de código de estado de tiempo presente, asociados a tormentas eléctricas u otros fenómenos, es prácticamente imposible para el dominio de estudio y podría traer más contradicciones que soluciones para el llenado de las series. No obstante, aquí se analizará cada serie teniendo en cuenta su largo, su cantidad de información útil y el sesgo que la falta de registros por meses del año y horas del día pueda provocar, para identificar las limitaciones que tienen los datos con los que se trabaja.

Una vez conocida la calidad de los datos, puede resultar que las series para un fenómeno específico no sean homogéneas y representativas de una población, por ello se imponen verificaciones de coherencia interna y temporal. Las estaciones donde existen series largas de registros pueden estar sometidas a cambios de localización, del personal a cargo y de los métodos de observación, lo que puede provocar cambios bruscos y sin explicación aparente en las marchas interanuales, sobre todo cuando estos cambios no han sido registrados (Álvarez *et al.*, 2011).

El objetivo del presente trabajo es calificar la calidad de los datos de código de estado de tiempo presente para 69 estaciones meteorológicas de la República de Cuba, en el periodo entre el comienzo de funcionamiento de la estación y el año 2008, mediante 4 índices relativos al largo de la serie, la información útil, y el sesgo mensual y horario que introducen las lagunas de información. Además se construirán las series de marchas interanuales de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta y se realizará un análisis de homogeneidad, arribando a conclusiones para cada estación.

2. Materiales y métodos

2.1. Fuentes de información

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

De la figura se constata que la distribución no es uniforme para todo el país, teniendo como parte crítica la zona extremo “este” de la provincia Holguín y la Ciénaga de Zapata donde no hay estaciones. Además las características de las series de observaciones son también desiguales, tanto en el largo de las series disponibles como en las lagunas de información. En la tabla 1 se muestra la identificación de la estación y algunas características de las series utilizadas.

Como se puede observar en la mencionada tabla, las series varían en largo entre 3 y 39 años con un alto promedio de 32.4 años, pero donde hay importantes lagunas de información, con 14 estaciones por debajo del 70 % de información útil y con un promedio de 83.1 % de datos con respecto a los posibles. Para todos los registros en estudio las lagunas de información están entre 5 y casi 8 días promedio al mes, con un máximo en el mes de febrero de 7.7 días.

Con respecto a los datos por horas del día, los horarios menos favorecidos fueron las 01, 04 (máximo con 180 días promedio al año de 365 posibles) y 22 hora local y para los horarios diurnos el faltante promedio oscila entre 7 y 16 días al año.



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

Los datos fueron tomados de la Base de Datos THOR (Álvarez *et al.*, 2009a) a la que se le agregaron los registros correspondientes al periodo 2006-2008, obtenidos de la Base de Datos del Centro del Clima del Instituto de Meteorología de Cuba, datos estos que fueron sometidos a varias validaciones y adaptaciones con el objetivo de lograr homogeneidad en los registros de la base. También se agregaron datos captados manualmente mediante el programa THOR (Álvarez, 2006) de fechas anteriores al 2006, así como datos de horarios no convencionales para la estación Casablanca.

Para trabajar con mayor facilidad en la gestión de la información se creó la Base “Nueva_THOR”, implementada sobre MS-ACCESS y que consta solo de tres tablas:

- WW-Pais_2008: que posee la información de registros de estado del tiempo presente para 69 estaciones desde que comenzaron a asentarse los datos en los modelos CLIM 01 del centro del Clima del Instituto de Meteorología hasta el 2008.
- W-Pais_2008: que posee la información de registros de estado de tiempo pasado para 14 estaciones escogidas con fecha variable de comienzo y hasta el 2008.
- Casablanca-horaria: que posee los registros de tiempo presente y tiempo pasado, según disponibilidad, con periodicidad horaria en las observaciones, desde 1972 y hasta el 2008 de la estación Casablanca (325). Los datos trihorarios de esta estación forman parte de las Tablas WW-Pais_2008 y W-Pais_2008.

2.2. Análisis de la calidad de la información

Para el análisis de la calidad de la información se seguirá una metodología dirigida a examinar el completamiento de las series de registros y el sesgo que la falta de datos podría introducir en su distribución. Para ello se usó la metodología desarrollada por Álvarez *et al.* (2009a) basada en la determinación del largo de la serie, la información utilizable, el sesgo mensual y el sesgo horario. A la clasificación de los índices dados en la metodología se le hicieron pequeñas variaciones para su utilización.

Para ganar en claridad se definirán los índices según Álvarez *et al.* (2009a) y las variaciones propuestas en su clasificación como sigue:

- Calidad en el largo de la serie (ILARGO): Dado por el largo de la serie en años y se clasificaría de Excelente (E) para series con 30 años o más, Muy Buena (MB) para series entre 25 y 29 años, Buenas (B) para series entre 15 y 24 años, Regulares (R) para series entre 10 y 14 años y Malas (M) para series con menos de 10 años. Esta clasificación aunque subjetiva está basada en experiencias de trabajos anteriores fundamentalmente referidos a descripciones climáticas y cálculos de tendencia (Álvarez, 2006; Álvarez *et al.*, 2006).
- Calidad en la información útil (IU): Referido al por ciento de información útil, que estaría dado por la razón entre la información válida y la posible, y se clasificaría como E para series con 90% o más de la información posible, MB para estaciones entre el 85 y el 89.9%, B para estaciones entre el 70 y el 84.5%, R para series entre el 60 y 69.9% (sin incluir este último) y M para series con menos del 60% de la información. Para la definición de este índice se entiende como datos válidos aquellos que se corresponden con una observación (diferente de nula dadas por el código 999) y los posibles son aquellos dados por el número de observaciones que pudieron realizarse para el número de años de la serie.
- Nivel del sesgo mensual (Sm): Expresa cuánto sesgo puede introducir a la distribución de los datos la falta de registros mensuales de forma recurrente. Se calcula a partir de la resta del máximo mensual de registros válidos para todos los años de la serie correspondiente a una estación menos el mínimo dividido entre la longitud de la serie; este índice crece a medida que el sesgo es mayor. Para

calificar el índice se compara con el número de observaciones posibles para un mes (suponiendo meses de 30 días con 240 observaciones posibles) y se clasifica como E si el sesgo es menor que el 10 % del total posible, MB si está entre 10.0 y 19.9 %, B si está entre 20.0 y 29.9 %, R si está entre 30.0 y 39.9 % y M si es mayor o igual que 40 %.

- Nivel del sesgo horario (Sh): Expresa cuánto sesgo puede introducir a la distribución de los datos la falta de registros horarios. La forma de calcularse es similar a la mensual, pero usando los totales horarios por estación. Este índice es importante porque muchas estaciones no han realizado observaciones de noche y madrugada por largos períodos de tiempo. Para su calificación también se comparó con el número de observaciones posibles para un horario en un año (365 observaciones posibles) y se clasifica con el mismo criterio usado para el sesgo mensual. Como no se cuenta con un criterio para dar más peso a un índice que a otro y esto en todo caso dependería de la aplicación específica para la que quieren usarse, se definió un índice de calidad general (ICALI) dando valores entre 5 y 1 a las 5 categorías definidas para los calificadores (E, MB, B, R, M), sumando lo obtenido por cada índice individual, dividiendo entre 4 y volviendo a calificar con el mismo criterio. El resultado de los índices de calidad calculados para las series por estaciones, en cuanto a registros de código de estado de tiempo presente, se resume en la tabla 2.

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

Núm.	Nombre	Año Inicial	Año Final	Nº de Años	Datos posibles	Datos válidos	Inform. útil (%)
308	La Piedra	2006	2008	3	8768	8768	100.0
309	Amistad Cuba Francia	2003	2008	6	17536	17242	98.3
310	Cabo San Antonio	1970	2008	39	113960	101351	88.9
312	Santa Lucía	1981	2008	28	81816	75124	91.8
313	Isabel Rubio	1970	2008	39	113960	104739	91.9
314	San Juan y Martínez	1970	2008	39	113960	88550	77.7
315	Pinar del Río	1978	2008	31	90584	86533	95.5
316	La Palma	1971	2008	38	111040	95849	86.3
317	Paso Real de San Diego	1970	2008	39	113960	108264	95.0
318	Bahía Honda	1977	2008	32	93504	87775	93.9
319	Valle de Caujerí	1992	2008	17	49680	32726	65.9
320	Güira de Melena	1970	2008	39	113960	87675	76.9
321	La Fe	1970	2008	39	113960	104405	91.6
322	Batabanó ¹	1986	2008	22	67208	50700	75.4
323	Güines	1971	2008	38	111040	71481	64.4
324	Punta del Este	1971	2008	38	111040	84222	75.8
325	Casablanca	1972	2008	37	108120	108054	99.9
326	Santo Domingo	1980	2008	29	84744	80795	95.3
327	Unión de Reyes	1977	2008	32	93504	89749	96.0
328	Varadero	2003	2008	6	17536	17529	100.0
329	Indio Hatuey	1970	2008	39	113960	73430	64.4
330	Jovellanos	1970	2008	39	113960	102159	89.6
331	Jagüey Grande ²	1977	2008	30	93504	63259	67.7
332	Colón	1975	2008	34	99352	94197	94.8
333	Playa Girón	1970	2008	39	113960	108576	95.3
334	Palenque Yateras ³	1993	2008	16	46752	45296	96.9

¹ A la estación Batabanó le falta el año 1991

² A la estación Jagüey Grande le faltan los años 2006 y 2007 completos

³ La estación Palenque de Yateras tiene dos periodos 1970-1978 y 1993-2008

Núm.	Nombre	Año Inicial	Año Final	Nº de Años	Datos posibles	Datos válidos	Inform. útil (%)
335	Aguada de Pasajeros	1975	2008	34	99352	71079	71.5
337	Trinidad	1970	2008	39	113960	92185	80.9
338	Sagua la Grande	1970	2008	39	113960	100789	88.4
339	Cayo Coco	1990	2008	19	55520	55034	99.1
340	Bainoa	1979	2008	30	87664	63699	72.7
341	Jíbaro	1977	2008	32	93504	83674	89.5
342	Topes de Collantes	1970	2008	39	113960	82376	72.3
343	El Yabú	1977	2008	32	93504	87635	93.7
344	Cienfuegos	1975	2008	34	99352	86318	86.9
345	Júcaro	1970	2008	39	113960	78915	69.2
346	Venezuela	1977	2008	32	93504	80000	85.6
347	Camilo Cienfuegos	1977	2008	32	93504	80825	86.4
348	Caibarién	1970	2008	39	113960	101496	89.1
349	Sancti Spiritus	1970	2008	39	113960	100484	88.2
350	Florida	1970	2008	39	113960	88750	77.9
351	Santa Cruz ⁴	1970	2008	36	113960	78285	68.7
352	Esmeralda	1970	2008	39	113960	86396	75.8
353	Nuevitas	1970	2008	39	113960	93841	82.3
354	Palo Seco	1976	2008	33	96432	67471	70.0
355	Camagüey	1970	2008	39	113960	113939	100.0
356	Jamal	1992	2008	17	49680	41510	83.6
357	Las Tunas	1975	2008	34	99352	84216	84.8
358	Puerto Padre	1975	2008	34	99352	87864	88.4
359	Manzanillo	1975	2008	34	99352	81114	81.6
360	Cabo Cruz	1970	2008	39	113960	108107	94.9
361	Jucarito	1976	2008	33	96432	60236	62.5
362	La Jiquima	1975	2008	34	99352	67688	68.1
363	Contramaestre	1977	2008	32	93504	78371	83.8
364	Santiago de Cuba	1970	2008	39	113960	96995	85.1
365	Punta Lucrecia	1970	2008	39	113960	102169	89.7
366	Gran Piedra	1970	2008	39	113960	112670	98.9
367	Pedagógico de Holguín ⁵	1993	2008	16	46752	43550	93.2
368	Guantánamo	1982	2008	27	78896	74903	94.9
369	Maisí	1970	2008	39	113960	107805	94.6
370	Guaro	1975	2008	34	99352	79565	80.1
371	Pinares de Mayarí	1975	2008	34	99352	78091	78.6
372	La Sabana ⁶	1979	1993	15	43832	26158	59.7
373	Santiago de las Vegas ⁷	1970	2008	38	113960	77695	68.2
374	Tapaste	1976	2008	33	96432	63937	66.3
375	Melena del Sur	1974	2008	35	102272	72147	70.5
376	Bauta	1974	2008	35	102272	66563	65.1
377	Veguitas	1977	2008	32	93504	61476	65.7
378	Velazco	1976	2008	33	96432	61375	63.6

⁴A la estación Santa Cruz le faltan los años 1983, 1984 y 1985 completos

⁵Aunque la estación Pedagógico de Holguín tiene según el código de la OMM el número 372, aquí se usará el 367 para que no se confunda con La Sabana

⁶La estación La Sabana estuvo activa de 1979 a 1993 y su número pasó a la estación Pedagógico de Holguín que empezó en 1993

⁷A la estación Santiago de las Vegas le falta el año 2007 completo

Tabla 2: Calificadores por índices para cada serie en estudio de código de estado de tiempo presente por estaciones.

Estación	Nombre	ILARGO	IU	Sm	Sh	ICALI
308	La Piedra	M	E	E	E	MB
309	Amistad Cuba Francia	M	E	MB	E	MB
310	Cabo San Antonio	E	MB	E	R	MB
312	Santa Lucía	MB	E	MB	R	MB
313	Isabel Rubio	E	E	E	R	MB
314	San Juan y Martínez	E	B	E	M	B
315	Pinar del Río	E	E	E	MB	E
316	La Palma	E	MB	E	M	MB
317	Paso Real de San Diego	E	E	MB	B	MB
318	Bahía Honda	E	E	MB	B	MB
319	Valle de Caujerí	B	R	MB	M	B
320	Güira de Melena	E	B	E	M	B
321	La Fe	E	E	E	B	E
322	Batabanó	B	B	E	M	B
323	Güines	E	R	E	M	B
324	Punta del Este	E	B	MB	M	B
325	Casablanca	E	E	E	E	E
326	Santo Domingo	MB	E	MB	B	MB
327	Unión de Reyes	E	E	MB	MB	E
328	Varadero	M	E	E	E	MB
329	Indio Hatuey	E	R	E	M	B
330	Jovellanos	E	MB	E	B	MB
331	Jagüey Grande	E	R	E	M	B
332	Colon	E	E	E	MB	E
333	Playa Girón	E	E	MB	B	MB
334	Palenque Yateras	B	E	MB	M	B
335	Aguada de Pasajeros	E	B	E	M	B
337	Trinidad	E	B	E	M	B
338	Sagua la Grande	E	MB	MB	B	MB
339	Cayo Coco	B	E	MB	E	MB
340	Bainoa	E	B	E	M	B
341	Jíbaro	E	MB	E	M	MB
342	Topes de Collantes	E	B	MB	M	B
343	El Yabú	E	E	MB	B	MB
344	Cienfuegos	E	MB	E	M	MB
345	Júcaro	E	R	E	M	B
346	Venezuela	E	MB	E	R	MB
347	Camilo Cienfuegos	E	MB	E	R	MB
348	Caibarién	E	MB	E	M	MB
349	Sancti Spiritus	E	MB	MB	R	MB
350	Florida	E	B	E	M	B
351	Santa Cruz	E	R	MB	M	B
352	Esmeralda	E	B	E	M	B
353	Nuevitas	E	B	E	M	B
354	Palo Seco	E	B	E	M	B

Estación	Nombre	ILARGO	IU	Sm	Sh	ICALI
355	Camagüey	E	E	E	E	E
356	Jamal	B	B	MB	E	MB
357	Las Tunas	E	B	MB	M	B
358	Puerto Padre	E	MB	E	M	MB
359	Manzanillo	E	B	E	M	B
360	Cabo Cruz	E	E	MB	B	MB
361	Jucarito	E	R	E	M	B
362	La Jíquima	E	R	MB	M	B
363	Contramaestre	E	B	MB	M	B
364	Santiago de Cuba	E	MB	E	R	MB
365	Punta Lucrecia	E	MB	MB	R	MB
366	Gran Piedra	E	E	E	E	E
367	Pedagógico de Holguín	B	E	MB	MB	MB
368	Guantánamo	MB	E	MB	MB	MB
369	Maisí	E	E	MB	MB	E
370	Guaro	E	B	MB	M	B
371	Pinares de Mayarí	E	B	E	M	B
372	La Sabana	B	M	MB	M	R
373	Santiago de las Vegas	E	R	E	M	B
374	Tapaste	E	R	E	M	B
375	Melena del Sur	E	B	E	M	B
376	Bauta	E	R	E	M	B
377	Veguita	E	R	E	M	B
378	Velazco	E	R	E	M	B

De la tabla 2 se aprecia que, con respecto al largo de las series, la mayoría califica de excelente o muy buena, quedando solo 10 series con calificador de Buena o inferior, generalmente estaciones que cerraron años atrás o de reciente creación. Con respecto a la información útil 13 series fueron calificadas como regulares y una como mala debido fundamentalmente a registros perdidos o no medidos en meses específicos o en horarios de noche y madrugada. El sesgo mensual no constituye un problema pues todas las estaciones muestran calificadores entre excelente y muy bueno. El sesgo horario es el calificador que acumula más series con resultados Regulares o Malos (67%), debido a que en los años anteriores al 2000, muchas estaciones tenían regímenes de observación que solo abarcaban el horario diurno. Esta ausencia de información influye en índices como el de la información útil y debe tenerse en cuenta a la hora de sacar conclusiones sobre la ocurrencia del fenómeno tormenta, aunque este es un fenómeno fundamentalmente diurno (Álvarez *et al.*, 2005).

Teniendo en cuenta los índices analizados y dándole a todos la misma importancia, las series por estaciones califican 8 como Excelentes, 28 como Muy Buenas, 32 como Buenas y solo una como Regular, lo que hace que el 98% de las estaciones califican sus series como buenas o categorías superiores. En general teniendo en cuenta las limitaciones que la ausencia de la información puede implicar, las series en estudio pueden ser utilizadas para describir particularidades del fenómeno tormenta.

Si se analiza toda la base “Nueva_THOR” en su conjunto, teniendo en cuenta, que las primeras estaciones comenzaron a reportar en 1970 y que hay al cierre del estudio 69 estaciones, se puede obtener el porcentaje de completamiento de la información total de la base para diferentes periodos, dividiendo los datos válidos entre los posibles. Esto es lo que se representa en la figura 2. Aquí se observa que a medida que se acorta el periodo más hacia el final de la serie, mayor es el porcentaje de información válida, así en el periodo 2005-2008 alcanza el máximo con 95%.

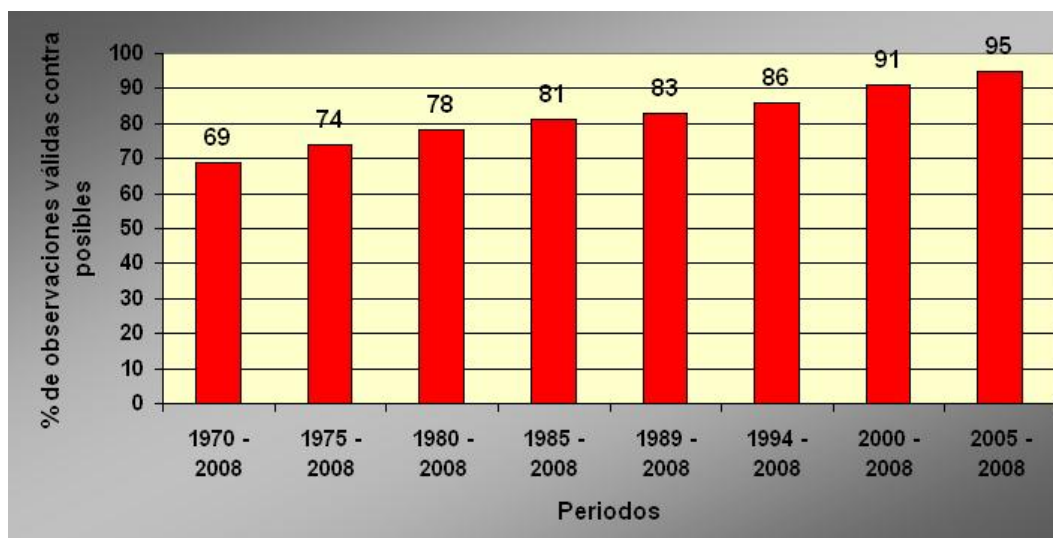


Figura 2: Por ciento de observaciones válidas contra posibles para diferentes periodos de la información contenida en la Base de Datos “Nueva_THOR”.

Si se fuera a escoger un periodo para el estudio basado en el completamiento de la información sería recomendable usar el periodo 1989-2008, ya que serían 20 años de información, hacia la parte final de la serie y con un completamiento del 83 %. Este periodo aunque puede no ser óptimo para una variable como la precipitación, sí lo es para la nubosidad (Jansá, 1974) y las tormentas están relacionadas con estas variables, aunque la precipitación acumula efectos de las tormentas y de otros tipos de lluvia. Así las tormentas clasificadas a partir de oír el trueno, agrupan también mecanismos de formación diferentes, como los dados para las tormentas convectivas diurnas y nocturnas y las tormentas frontales, aunque los registros acumulados no permiten reconocer diferencias.

2.3. Selección de los códigos de tormenta y variables utilizadas para el estudio

Para la identificación del fenómeno tormenta eléctrica a partir del código de estado de tiempo presente se tomaron los siguientes, según la Tabla 4677, sobre “Tiempo presente, comunicado desde una estación meteorológica dotada de personal”, del Manual de Claves (WMO, 1988).

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

La variable para construir las marchas interanuales sería la “frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas”, obtenida al dividir el número de casos de códigos relativos a tormentas entre el número de observaciones válidas.

El uso de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas, debido al hecho de trabajar con frecuencias o probabilidades solventa en cierta medida la falta de información, ya que la ausencia de datos en algunos periodos puede ser compensada por los periodos donde sí existe, puesto que siempre se divide por el número de observaciones válidas; esto hace que los valores de frecuencia anuales dentro de las series para cada estación sean más comparables.

2.4. Metodología para el análisis de la homogeneidad

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

a) Se graficó su comportamiento y se resumió un descriptor de su comportamiento de la siguiente forma:

- Alto - bajo - medio o similares: se refiere a que el gráfico muestra un cierto carácter oscilatorio para grupos de años.
- Fluctuante: 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, pero no de forma progresiva, sino general.
- Esporádicos: la serie presenta valores distintos de cero en años saltados y escasos (menos del 50%) dentro de la serie.
- Combinaciones de estos descriptores: describen el comportamiento del gráfico por tramos, por ejemplo “fluctuante - 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.

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 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 Pettit de 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 Pettit.

Según el análisis se concluye el carácter de las series temporales como:

- Serie homogénea (representado por “0”)
- Serie decreciente significativa (10 % de significación) (representado por “-1”)
- Serie decreciente altamente significativa (5 % de significación) (representado por “-2”)
- Serie creciente significativa (10 % de significación) (representado por “+1”)
- Serie creciente altamente significativa (5 % de significación) (representado por “+2”)
- Los datos no eran suficientes o muy contradictorios para arribar a una conclusión (no se asigna valor a la representación).

El análisis de homogeneidad de la serie se hará allí donde sea oportuno según la calidad de la misma y la descripción de su marcha interanual. Este estudio es similar al desarrollado por Álvarez *et al.* (2011) para los fenómenos nieblas y neblinas. Los análisis se harán con ayuda del programa WINSTAT de uso en el Instituto de Meteorología para estos fines (Israel Borrajero, Centro de Física de la Atmósfera, comunicación personal).

3. Análisis de los resultados

Las series utilizadas en el presente estudio pueden abarcar desde un periodo de 39 años hasta unos pocos, por lo que el análisis de la marcha interanual puede presentar comportamientos muy particulares, para diferentes intervalos de información. Para soslayar el problema más grave en la calidad de los datos, que es la ausencia marcada de registros en horarios de la noche y la madrugada, aquí se trabajará con la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas, teniendo en cuenta solo los horarios diurnos (07 a 19 hora del meridiano 75°W), dado que en estos horarios la información es más completa y que las tormentas son fenómenos fundamentalmente diurnos (Álvarez *et al.*, 2005).

En las tabla 3 y 4 se presenta un resumen del análisis de homogeneidad realizado para las 69 estaciones en estudio. En la tabla 3 se refleja el análisis de los estadígrafos según se especificó en la metodología y debe tenerse en cuenta que los estadígrafos de Walt-Wolfowitz, Fisher y Pettit no llevan signo según el convenio establecido, ya que solo dan significación y no carácter creciente o decreciente de la serie. En la tabla 4 se presenta el criterio general sobre el comportamiento de la serie y el periodo recomendado en que la serie puede considerarse homogénea.

Tabla 3: Resumen de las características generales y comportamiento de los estadígrafos para las series de marcha interanual de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta en horarios diurnos para todas las estaciones en estudio. Los conceptos de los identificadores de la primera fila se dan a continuación:

Nº: Número de la estación según el código de la OMM.

Ini: Año de comienzo de la serie para el análisis

Fin: Año final de la serie para el análisis

Máx.: Máximo valor de la serie

Mín.: Mínimo valor de la serie

n0: Número de ceros en la serie

Comportamiento: Descriptor del comportamiento gráfico de la serie

sWW: Nivel de significación para el estadígrafo de Wald Wolfowitz (según convenio)

sS: Nivel de significación para el estadígrafo de Spearman (según convenio)

sMK: Nivel de significación para el estadígrafo de Mann Kendall (según convenio).

nC: Número de cortes entre las series directa y retrógrada del estadígrafo de Mann Kendall.

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

sF1: Nivel de significación para el estadígrafo de Fisher que relaciona los estadígrafos de Wald Wolfowitz y Spearman (según convenio).

sF2: Nivel de significación para el estadígrafo de Fisher que relaciona los estadígrafos de Wald Wolfowitz y Mann Kendall (según convenio).

sP: Nivel de significación para el estadígrafo de Pettit (según convenio).

xP: Valor de la abscisa correspondiente al valor extremo del estadígrafo de Pettit.

Nº	Ini	Fin	Máx.	Mín.	n0	Comportamiento	sWW	sS	sMK	nC	xMK	sF1	sF2	sP	xP
308	2006	2008				Serie corta									
309	2003	2008				Serie corta									
310	1970	2008	0.07	0.02	0	Abrupta Pronunciada	2	0	0	9	-	2	2	0	1983
312	1981	2008	0.09	0.03	0	Abrupta Pronunciada	2	-2	-2	3	-	2	2	2	1993

Nº	Ini	Fin	Máx.	Mín.	n0	Comportamiento	sWW	sS	sMK	nC	xMK	sF1	sF2	sP	xP
313	1970	2008	0.10	0.03	0	Fluctuante	2	0	0	3	-	1	1	1	1975
314	1970	2008	0.11	0.03	0	Abrupta Pronunciada	2	+2	+2	1	1980	-	-	2	1983
315	1978	2008	0.10	0.03	0	Fluctuante	1	-2	-2	1	1992	2	2	2	1991
316	1971	2008	0.12	0.01	0	Bajo-alto-medio	2	0	0	1	2004	2	2	1	1993
317	1970	2008	0.04	0.01	0	Fluctuante	2	+2	+2	3	-	2	2	2	1996
318	1977	2008	0.08	0.05	0	Alto-bajo-medio	0	0	0	7	-	0	0	0	1980
319	1992	2008	0.10	0.03	0	Abrupta Pronunciada	0	-2	-2	1	2005	2	2	2	2002
320	1970	2008	0.11	0.02	0	Fluctuante	2	-2	0	3	-	2	2	2	1980
321	1970	2008	0.06	0.02	0	Creciente en escalera	2	+2	+2	1	1976	2	2	2	1982
322	1986	2008	0.08	0.03	0	Abrupta Pronunciada	2	-1	-1	1	1997	2	2	2	1996
323	1971	2008	0.11	0.01	0	Bajo-alto-medio	2	+1	+1	5	-	2	2	2	1980
324	1971	2008	0.06	0.01	0	Abrupta Pronunciada	2	+2	+2	1	1988	2	2	2	1990
325	1972	2008	0.05	0.02	0	Creciente en escalera pronunciada	2	+2	+2	3	-	2	2	2	1988
326	1980	2008	0.10	0.03	0	Abrupta Pronunciada	0	0	0	1	1988	0	0	0	1987
327	1977	2008	0.09	0.04	0	Fluctuante	0	0	0	3	-	0	0	0	1988
328	2003	2008				Serie corta									
329	1970	2008	0.14	0.04	0	Bajo-alto-bajo	2	0	0	3	-	2	2	2	1980
330	1970	2008	0.08	0.04	0	Fluctuante	2	0	0	7	-	0	0	0	1976
331	1977	2004	0.12	0.06	0	Alto-bajo-alto	1	0	0	1	1995	0	0	1	1994
332	1975	2008	0.07	0.03	0	Fluctuante	0	0	0	7	-	0	0	0	1990
333	1970	2008	0.06	0.03	0	Fluctuante	2	0	0	5	-	0	0	0	1974
334	1993	2008	0.10	0.01	0	Alto-medio	0	0	0	3	-	0	0	0	1994
335	1975	2008	0.12	0.01	0	Bajo-alto-medio	2	0	0	5	-	2	2	2	1999
337	1970	2008	0.07	0.02	0	Bajo-alto-medio	2	+2	+2	3	-	2	2	2	1987
338	1970	2008	0.05	0.02	0	Fluctuante	2	0	0	1	2003	2	2	2	2000
339	1990	2008	0.03	0.01	0	Decreciente	0	-1	-2	3	-	1	1	1	1997
340	1979	2008	0.12	0.03	0	Medio-alto-medio	2	0	0	1	2008	2	2	1	2000
341	1977	2008	0.08	0.03	0	Fluctuante	0	0	0	3	-	0	0	0	1994
342	1970	2008	0.16	0.04	0	Abrupta Pronunciada	2	+2	+2	1	1974	2	2	2	1987
343	1977	2008	0.07	0.03	0	Fluctuante	0	+2	+2	9	-	1	1	2	1993
344	1975	2008	0.08	0.03	0	Fluctuante	1	-1	-1	1	1994	2	2	2	1993
345	1970	2008	0.09	0.03	0	Fluctuante	2	0	0	3	-	2	2	2	1975
346	1977	2008	0.07	0.03	0	Abrupta Pronunciada	2	-2	-2	1	1987	2	2	2	1989
347	1977	2008	0.09	0.02	0	Abrupta Pronunciada	2	-2	-2	1	1993	2	2	2	1991
348	1970	2008	0.06	0.02	0	Abrupta Pronunciada	2	+2	+2	1	1991	2	2	2	1987
349	1970	2008	0.08	0.01	0	Abrupta Pronunciada	2	+2	+2	1	1976	2	2	2	1979
350	1970	2008	0.10	0.02	0	Bajo-medio-alto-medio	2	+2	+2	1	1974	2	2	2	1980
351	1986	2008	0.12	0.03	0	Abrupta Pronunciada	2	-2	-2	1	2004	2	2	2	1993
352	1970	2008	0.08	0.02	0	Bajo-alto-medio-alto	2	+2	+2	1	1983	2	2	2	1981
353	1970	2008	0.07	0.01	0	Bajo-alto-bajo-medio	2	0	0	7	-	2	2	0	1984
354	1976	2008	0.06	0.02	0	Decreciente en escalera pronunciada	2	-2	-2	3	-	2	2	2	2002
355	1970	2008	0.05	0.01	0	Abrupta Pronunciada	2	+2	+2	1	1989	2	2	2	1987
356	1993	2008	0.05	0.03	0	Fluctuante	0	0	0	3	-	0	0	0	1995
357	1975	2008	0.07	0.03	0	Medio-alto-medio	0	0	0	3	-	0	0	1	1992
358	1975	2008	0.09	0.03	0	Abrupta Pronunciada	2	-2	-2	3	-	2	2	2	1983
359	1975	2008	0.11	0.02	0	Fluctuante	2	0	0	5	-	2	2	0	1985
360	1970	2008	0.04	0.01	0	Creciente en escalera pronunciada	2	+2	+2	1	1994	2	2	2	1991
361	1976	2008	0.27	0.04	0	Fluctuante	2	0	0	3	-	2	2	2	2003
362	1975	2008	0.13	0.04	0	Alto-medio-bajo	2	-2	-2	1	2003	2	2	2	1997
363	1977	2008	0.08	0.03	0	Decreciente en escalera pronunciada	2	-2	-2	1	1997	2	2	2	1994
364	1970	2008	0.05	0.02	0	Fluctuante	2	0	0	5	-	2	2	1	1987
365	1970	2008	0.04	0.01	0	Abrupta Pronunciada	2	-2	-2	1	1986	2	2	2	1983
366	1970	2008	0.08	0.01	0	Abrupta Pronunciada	2	+2	+2	1	1978	2	2	2	1985
367	1993	2008	0.06	0.02	0	Abrupta Pronunciada	0	-2	-2	1	1996	2	2	1	1999
368	1982	2008	0.07	0.03	0	Fluctuante	0	0	0	1	1994	0	0	0	1991
369	1970	2008	0.02	0.01	0	Fluctuante	2	+2	0	1	1990	2	2	2	1987
370	1975	2008	0.12	0.04	0	Abrupta Pronunciada	2	0	0	5	-	2	2	2	1990

Nº	Ini	Fin	Máx.	Mín.	n0	Comportamiento	sWW	sS	sMK	nC	xMK	sF1	sF2	sP	xP
371	1975	2008	0.18	0.05	0	Abrupta Pronunciada	2	+2	+2	1	1988	2	2	2	1992
372	1979	1993	0.10	0.05	0	Alto-medio-bajo	1	-2	-2	3	-	2	2	1	1989
373	1970	2006	0.13	0.04	0	Creciente en escalera pronunciada	2	+2	+2	1	1983	2	2	2	1988
374	1976	2008	0.14	0.02	0	Fluctuante	2	0	0	5	-	2	2	2	2000
375	1974	2008	0.13	0.03	0	Abrupta Pronunciada	2	+2	+2	1	1991	2	2	2	1990
376	1992	2008	0.09	0.03	0	Abrupta	2	-2	-2	1	1999	2	2	2	1999
377	1977	2008	0.13	0.03	0	Bajo-alto-medio	2	+1	0	1	1986	2	2	2	1988
378	1976	2008	0.10	0.03	0	Bajo-alto-bajo	2	0	0	3	-	2	2	2	1987

Los periodos de homogeneidad fueron determinados en la mayoría de los casos por observación de los gráficos asociados a la marcha interanual, debido a que las series podían volverse cortas y no ameritar el cálculo de los estadígrafos. De la tabla 4 se observa que los periodos de homogeneidad escogidos presentan mucha variación, desde considerar la serie completa, hasta prácticamente los últimos 5 años. Una de las principales limitaciones consiste en que aquellas series homogéneas de largo periodo pudieran perder su estatus para sub-intervalos dentro de ellas. Otra dificultad encontrada es que hay series “crecientes en escalera pronunciada” donde no existe ningún periodo en que la misma no deje de crecer, un ejemplo de ello puede observarse para la estación Casablanca (figura 3), que es además una de las estaciones con información más completa. Si se apela, en el caso de Casablanca, a comparar con estaciones cercanas, se encuentra que su vecina más próxima, Santiago de las Vegas (373), presenta un comportamiento similar a pesar de terminar su serie en el 2006 y haber empezado en 1970 (figura 4). Esto hace difícil encontrar una causa antropogénica para esta conducta, debido a que el crecimiento es suave y constante y que en el área hay estaciones coincidentes.

Tabla 4: Conclusión del análisis de homogeneidad de las series, posibles puntos de cambio (PPC) y periodos recomendados donde las mismas pueden considerarse homogéneas (de Inicio a Fin) para cada una de las estaciones en estudio.

Nº	Nombre	Homogeneidad	PPC	Inicio	Fin
308	La Piedra	–	–	2006	2008
309	Amistad Cuba Francia	–	–	2004	2008
310	Cabo San Antonio	0	–	1980	2008
312	Santa Lucia	-2	–	1994	2008
313	Isabel Rubio	0	–	1970	2008
314	San Juan y Martínez	+2	1980	1983	2008
315	Pinar del Río	-1	1991	1990	2008
316	La Palma	0	–	1986	2008
317	Paso Real de San Diego	+2	–	1975	2008
318	Bahía Honda	–	–	–	–
319	Valle de Caujerí	-2	2002	2005	2008
320	Güira de Melena	0	–	1980	2008
321	La Fe	+2	1980	1984	2008
322	Batabanó	-1	1997	1997	2008
323	Güines	+1	–	1980	2008
324	Punta del Este	+2	1990	1990	2008
325	Casablanca	+2	–	1990	2008
326	Santo Domingo	–	–	2000	2008
327	Unión de Reyes	–	–	–	–
328	Varadero	–	–	2003	2008
329	Indio Hatuey	0	–	1970	2008

Nº	Nombre	Homogeneidad	PPC	Inicio	Fin
330	Jovellanos	0	–	1970	2008
331	Jagüey Grande	0	–	1994	2004
332	Colón	–	–	–	–
333	Playa Girón	0	–	1970	2008
334	Palenque Yateras	–	–	1994	2008
335	Aguada de Pasajeros	0	–	1975	2008
337	Trinidad	+2	–	1987	2008
338	Sagua la Grande	0	–	1970	2008
339	Cayo Coco	-1	–	1997	2008
340	Bainoa	0	–	1979	2008
341	Jíbaro	–	–	1994	2008
342	Topes de Collantes	+2	–	2000	2008
343	El Yabú	+1	–	1994	2008
344	Cienfuegos	-1	1994	1994	2008
345	Júcaro	0	–	1975	2008
346	Venezuela	-2	1987	1990	2008
347	Camilo Cienfuegos	-2	1993	1995	2008
348	Caibarién	+2	1991	1991	2008
349	Sancti Spiritus	+2	1976	1980	2008
350	Florida	+2	1980	1980	2008
351	Santa Cruz	-2	–	1995	2008
352	Esmeralda	+2	1983	1983	2008
353	Nuevitas	0	–	1970	2008
354	Palo Seco	-2	–	2003	2008
355	Camagüey	+2	1989	1992	2008
356	Jamal	–	–	1995	2008
357	Las Tunas	–	–	1992	2008
358	Puerto Padre	-2	–	1994	2008
359	Manzanillo	0	–	1975	2008
360	Cabo Cruz	+2	1994	1998	2008
361	Jucarito	0	–	1988	2008
362	La Jíquima	-2	2003	2003	2008
363	Contramaestre	-2	1997	1998	2008
364	Santiago de Cuba	0	–	1970	2008
365	Punta Lucrecia	-2	1983	1983	2008
366	Gran Piedra	+2	1985	1989	2008
367	Pedagógico de Holguín	-2	1996	1998	2008
368	Guantánamo	–	–	1991	2008
369	Maisí	0	–	1988	2008
370	Guaro	0	–	1975	2008
371	Pinares de Mayarí	2	1992	1995	2008
372	La Sabana	-1	–	1980	1993
373	Santiago de las Vegas	+2	1988	1999	2006
374	Tapaste	0	–	1976	2008
375	Melena del Sur	+2	1990	1990	2008
376	Bauta	-2	1999	1999	2008
377	Vegueta	+1	1986	1986	2008
378	Velazco	0	–	1976	2008

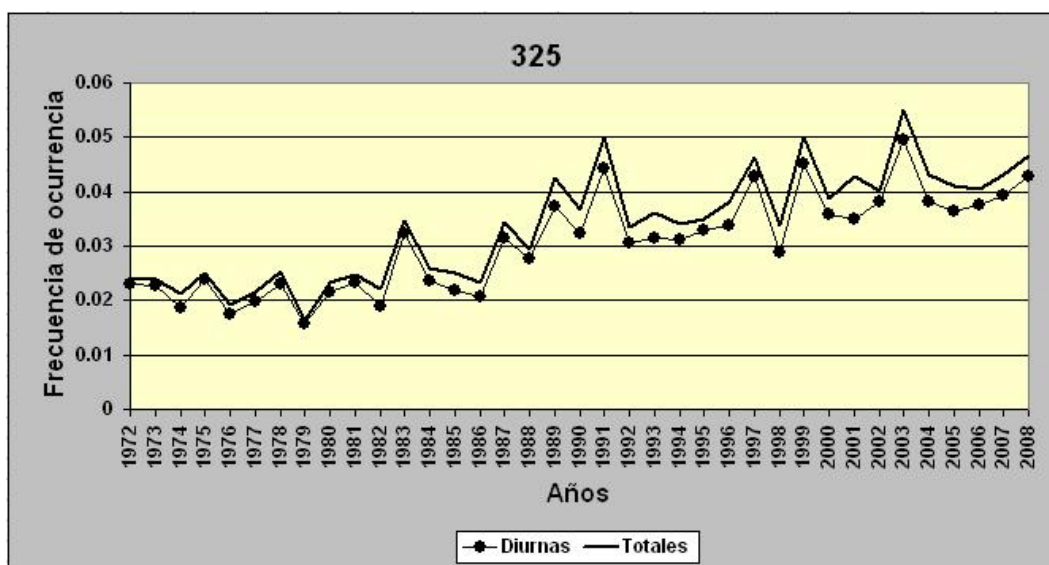


Figura 3: Marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta para todos los horarios de observación (línea continua) y para los horarios diurnos (línea con puntos) en la estación Casablanca (325).

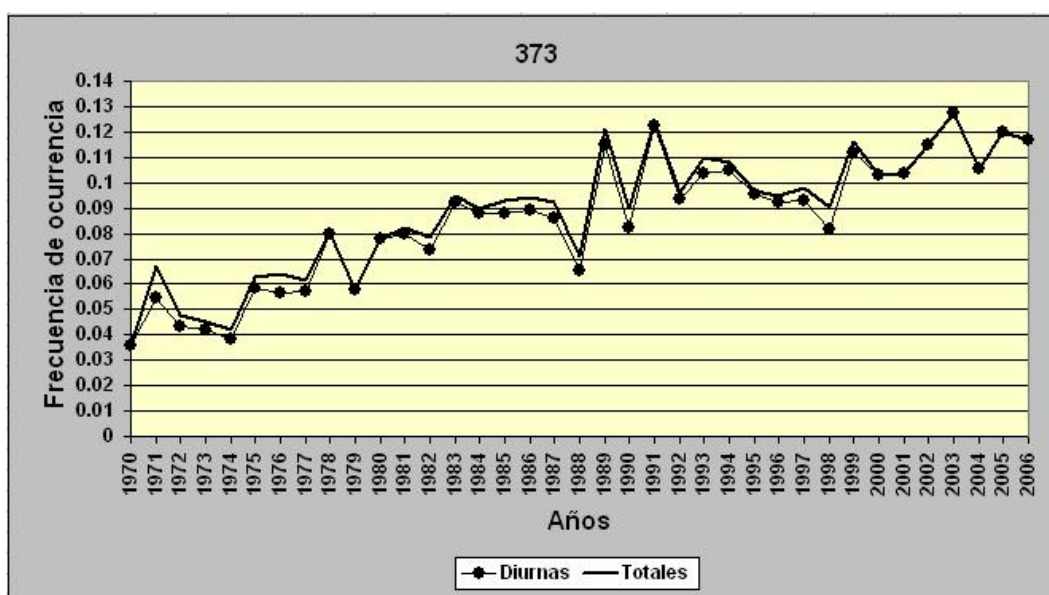


Figura 4: Marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta para todos los horarios de observación (línea continua) y para los horarios diurnos (línea con puntos) en la estación Santiago de las Vegas (373).

Si se realiza un análisis para las estaciones 325 y 373 teniendo en cuenta solo las observaciones de tormenta con lluvia en la estación (códigos de tiempo presente 91, 92, 95, 96, 97 y 99), que deben estar más libres de errores de apreciación, se obtienen series crecientes altamente significativas, aunque en estos casos los descriptores de los gráficos son abruptos y las series anterior y posterior al cambio no presentan un comportamiento conclusivo, debido fundamentalmente a falta de correlación interna.

De las figuras 3 y 4 también se observa el efecto de utilizar solo en el cálculo de la frecuencias observaciones diurnas. Así, a pesar de que las marchas muestran marcada similitud, se observa una mayor ocurrencia de observaciones con tormenta en la noche y la madrugada para la estación Casablanca que para Santiago de las Vegas, dado por la separación de las curvas, situación que se acentúa más hacia

el final de las series, aproximadamente a partir de 1990. Para la estación de Santiago de las Vegas se visualiza una cercanía en las curvas de frecuencia calculadas para observaciones diurnas y totales, lo que permite suponer que la mayoría de las tormentas son aquí en horario diurno, aunque hay periodos de coincidencia de curvas dado por la ausencia de observaciones en los horarios de noche y madrugada.

Un ejemplo de tomar un sub-intervalo en la serie que cambia el carácter de su marcha interanual se tiene para la estación Sagua la Grande (338) (figura 5). Aquí el descriptor de gráfico es “fluctuante” y los estadígrafos muestran una serie homogénea en el periodo 1970-2008. Sin embargo si se toma el periodo final (desde 1990), la serie presenta un carácter decreciente altamente significativo con un punto de cambio en el año 2002, y en la corta serie 2002-2008 el comportamiento es muy irregular.

Los cambios abruptos pronunciados como el que se muestra en la figura 6 para la estación Santa Lucía (312), podrían ser atribuidos a causas antropogénicas, aunque no existen evidencias documentales de estas posibles transformaciones, como podrían ser cambios en la ubicación de la estación o en su entorno. En resumen, de las 69 series estudiadas, a tres no pudo realizársele el análisis por ser muy cortas, 20 resultaron homogéneas, 17 crecientes altamente significativas, 3 crecientes significativas, 12 decrecientes altamente significativas, 5 decrecientes significativas y en nueve no pudo arribarse a conclusiones por contradicciones en los estadígrafos. Se identificaron 25 series con punto de cambio significativo, pero el año identificado es diferente para las diferentes series.

En cuanto a agrupamiento de estaciones con similar comportamiento de la marcha interanual, es difícil poder identificar áreas, pues hay comportamientos distintos con relativa frecuencia entre estaciones próximas. En la figura 7 se esboza una distribución espacial de la característica del comportamiento de la marcha interanual.

El estudio de la marcha interanual muestra que para las variables relativas al fenómeno tormenta es muy difícil encontrar en las estaciones de estudio una serie con buen completamiento de la información, con más de 10 años de extensión y que sea homogénea. Si se utilizan solo las homogéneas los análisis serán totalmente insuficientes para representar un fenómeno local y si trata de forzarse encontrar un periodo homogéneo, puede no tener la suficiente información o nunca ser encontrado, como en el caso de las estaciones de Casablanca y Santiago de las Vegas. Por estas razones para posteriores estudios climáticos relativos a tormentas eléctricas se recomienda como periodo base el comprendido entre los años 1989 y 2008 (20años), porque como se vio anteriormente tiene para toda la base un completamiento del 83 % de la información posible (puede ser mayor pues en ese periodo se da de baja a la estación La Sabana y otras no habían abierto, por lo que la información posible puede ser menor), las series en su mayoría tienen 20 años de extensión (56 estaciones de 69) y el final de las mismas está asociado a la etapa actual. Para dar una idea más redondeada del comportamiento del fenómeno en estudio para el periodo recomendado se puede consultar la tabla 5, donde se resume el comportamiento de la marcha interanual para el periodo 1989-2008 en todas las estaciones con información en ese periodo, para la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta en los horarios de 07 a 19 hora local. La principal dificultad de estos análisis es que una cantidad importante de las series no poseen correlación interna y sus gráficos representativos presentan un comportamiento fluctuante y en ocasiones amortiguado hacia el final de la serie (ver ejemplo en la figura 8), de modo que aunque no presentan carácter creciente o decreciente, tampoco puede arribarse a una conclusión de homogeneidad.

En general de las 69 series de marcha interanual de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormentas para horarios diurnos, 23 no fueron evaluadas por no presentar correlación interna (estadígrafo de Walt-Wolfowitz no significativo), 8 fueron homogéneas, 6 tenían carácter creciente, 28 decrecientes y 4 eran series muy cortas para emprender el análisis. Es interesante aquí destacar que, en caso de presentar una tendencia definida en los últimos 20 años, las marchas interanuales en su mayoría resultaron decrecientes.

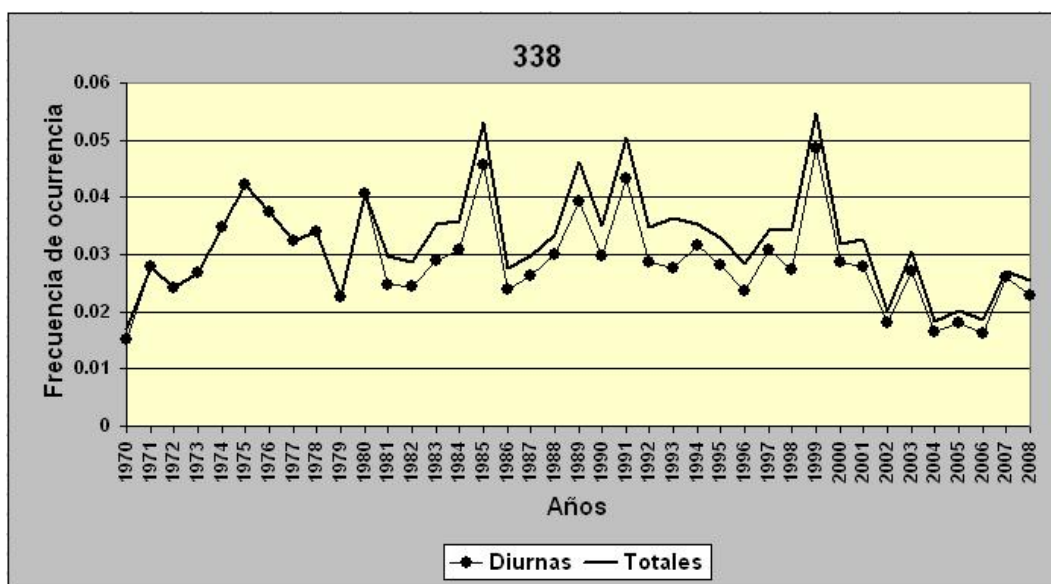


Figura 5: Marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta para todos los horarios de observación (línea continua) y para los horarios diurnos (línea con puntos) en la estación Sagua la Grande (338).

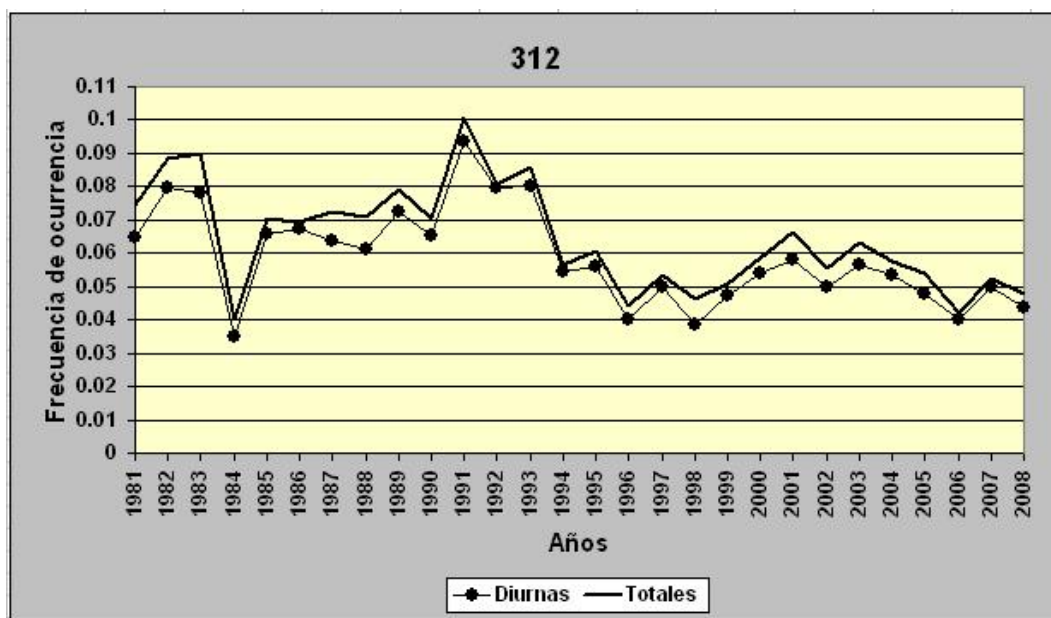


Figura 6: Marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta para todos los horarios de observación (línea continua) y para los horarios diurnos (línea con puntos) en la estación Santa Lucía (312).

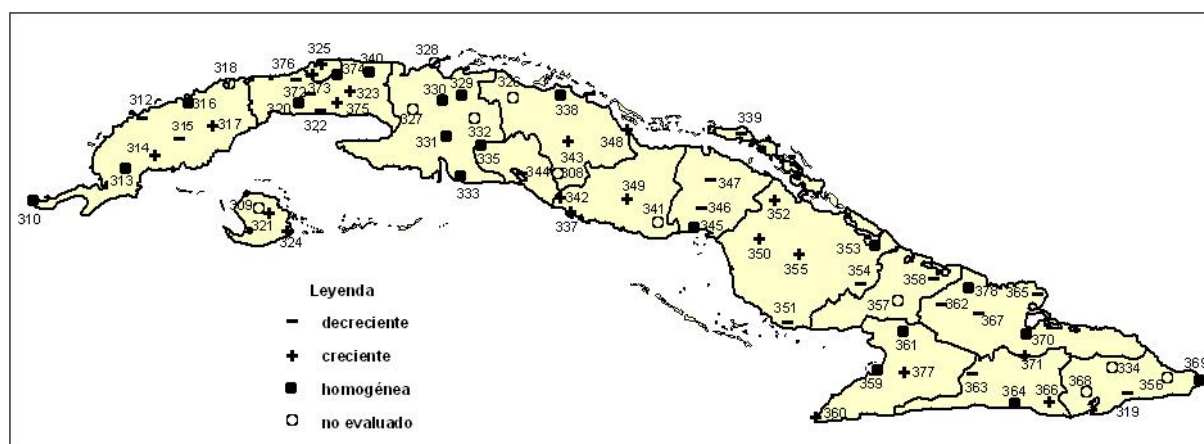


Figura 7: Distribución espacial de la característica del comportamiento de la marcha interanual para las estaciones en estudio

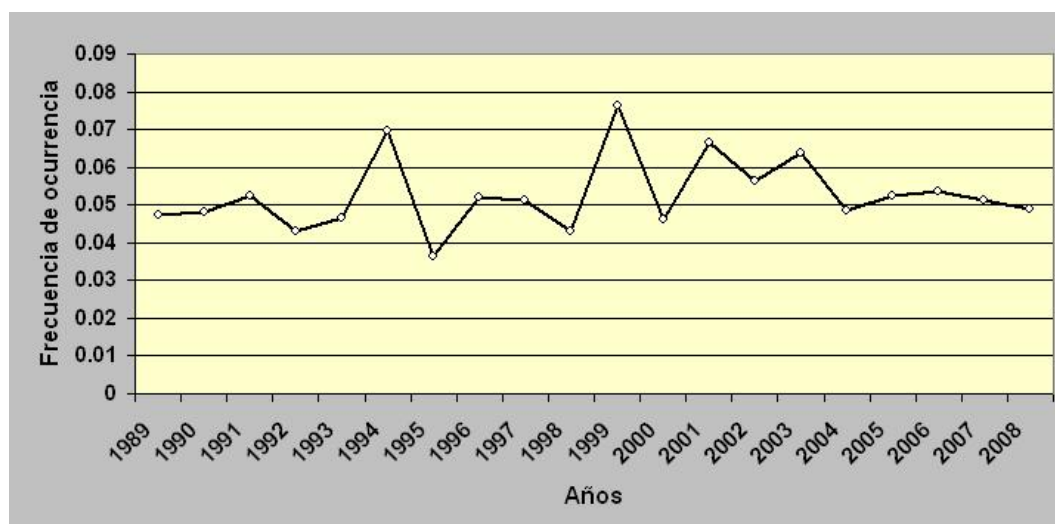


Figura 8: Marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta en el horario diurno (07 a 19 hora local) para la estación Sancti-Spiritus (349) en el periodo 1989-2008.

Tabla 5: Resumen del comportamiento de la marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta en los horarios diurnos en el periodo 1989-2008 para todas las estaciones en estudio.

Nº	Nombre	Periodo	Comportamiento	Homog.	PPC
308	La Piedra	2006-2008	Serie corta		
309	Amistad Cuba Francia	2003-2008	Serie corta		
310	Cabo San Antonio	1989-2008	Medio-alto-bajo	-1	1996
312	Santa Lucía	1989-2008	Abrupta Pronunciada	-2	1995
313	Isabel Rubio	1989-2008	Abrupta Pronunciada	-2	2003
314	San Juan y Martínez	1989-2008	Abrupta Pronunciada	-1	2007
315	Pinar del Río	1989-2008	Fluctuante	0	
316	La Palma	1989-2008	Abrupta Pronunciada	—	
317	Paso Real de San Diego	1989-2008	Abrupta Pronunciada	2	1996
318	Bahía Honda	1989-2008	Fluctuante	—	
319	Valle de Caujerí	1992-2008	Alto-medio-bajo	-2	2005

Nº	Nombre	Periodo	Comportamiento	Homog.	PPC
320	Güira de Melena	1989-2008	Alto-bajo-medio	0	
321	La Fe	1989-2008	Fluctuante	–	
322	Batabanó	1992-2008	Abrupta Pronunciada	-1	1995
323	Güines	1989-2008	Abrupta Pronunciada	-2	2003
324	Punta del Este	1989-2008	Fluctuante	–	
325	Casablanca	1989-2008	Creciente	1	
326	Santo Domingo	1989-2008	Medio-bajo-medio	–	
327	Unión de Reyes	1989-2008	Alto-bajo-medio	–	
328	Varadero	2003-2008	Serie corta		
329	Indio Hatuey	1989-2008	Abrupta Pronunciada	-2	2004
330	Jovellanos	1989-2008	Fluctuante	–	
331	Jagüey Grande	1989-2004	Abrupta Pronunciada	0	
332	Colón	1989-2008	Fluctuante	–	
333	Playa Girón	1989-2008	Alto-bajo-medio	0	
334	Palenque Yateras	1993-2008	Alto-bajo-medio	–	
335	Aguada de Pasajeros	1989-2008	Abrupta Pronunciada	-2	1995
337	Trinidad	1989-2008	Abrupta Pronunciada	–	
338	Sagua la Grande	1989-2008	Decreciente	-2	2001
339	Cayo Coco	1990-2008	Medio-bajo-alto	-1	
340	Bainoa	1989-2008	Abrupta Pronunciada	-2	2005
341	Jíbaro	1989-2008	Alto-bajo-medio	0	
342	Topes de Collantes	1989-2008	Alto-medio-bajo	-2	2004
343	El Yabú	1989-2008	Fluctuante	–	
344	Cienfuegos	1989-2008	Abrupta Pronunciada	–	
345	Júcaro	1989-2008	Abrupta Pronunciada	-2	2005
346	Venezuela	1989-2008	Medio-bajo-alto	1	2005
347	Camilo Cienfuegos	1989-2008	Abrupta Pronunciada	-2	1992
348	Caibarién	1989-2008	Bajo-medio-alto	2	1993
349	Sancti Spiritus	1989-2008	Fluctuante	–	
350	Florida	1989-2008	Abrupta Pronunciada	-2	2000
351	Santa Cruz	1989-2008	Abrupta Pronunciada	-2	2004
352	Esmeralda	1989-2008	Bajo-alto-medio	1	1993
353	Nuevitas	1989-2008	Alto-bajo-medio	–	
354	Palo Seco	1989-2008	Decreciente	-2	2002
355	Camagüey	1989-2008	Abrupta Pronunciada	–	
356	Jamal	1993-2008	Fluctuante	–	
357	Las Tunas	1989-2008	Fluctuante	–	
358	Puerto Padre	1989-2008	Alto-bajo-medio	-2	2002
359	Manzanillo	1989-2008	Alto-medio-bajo	-2	
360	Cabo Cruz	1989-2008	Creciente	2	1997
361	Jucarito	1989-2008	Alto-medio-bajo	-2	2003
362	La Jíquima	1989-2008	Alto-medio-bajo	-2	2003
363	Contramaestre	1989-2008	Decreciente	-2	
364	Santiago de Cuba	1989-2008	Fluctuante	–	
365	Punta Lucrecia	1989-2008	Abrupta Pronunciada	0	
366	Gran Piedra	1989-2008	Fluctuante	–	
367	Pedagógico de Holguín	1993-2008	Abrupta Pronunciada	-2	1996
368	Guantánamo	1989-2008	Fluctuante	–	
369	Maisí	1989-2008	Fluctuante	–	
370	Guaro	1989-2008	Alto-medio-bajo	0	

Nº	Nombre	Periodo	Comportamiento	Homog.	PPC
371	Pinares de Mayarí	1989-2008	Fluctuante	–	
372	La Sabana	1989-1993	Serie corta		
373	Santiago de las Vegas	1989-2006	Abrupta Pronunciada	–	
374	Tapaste	1989-2008	Abrupta Pronunciada	-2	2006
375	Melena del Sur	1989-2008	Medio-alto-bajo	0	
376	Bauta	1989-2008	Abrupta Pronunciada	-2	1999
377	Veguita	1989-2008	Abrupta Pronunciada	-2	2000
378	Velazco	1989-2008	Alto-medio-bajo	-2	2004

4. Conclusiones y recomendaciones

El 98 % de las series de código de estado de tiempo presente para 69 estaciones de Cuba pueden ser calificadas como buenas, muy buenas o excelentes respecto a la calidad de la información contenida.

De todos los índices de calidad el de menor desempeño correspondió al sesgo horario, debido a la falta de registros en horarios de noche y madrugada en gran cantidad de estaciones, sobre todo en los años de comienzo de las series.

De las 69 series de marchas interanuales de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta, a tres no pudo realizársele el análisis por ser muy cortas, 20 resultaron homogéneas, 17 crecientes altamente significativas, 3 crecientes significativas, 12 decrecientes altamente significativas, 5 decrecientes significativas y en nueve casos no pudo arribarse a conclusiones por contradicciones entre los estadígrafos.

No se encontró agrupamiento espacial de estaciones con similar patrón de la marcha interanual y con relativa frecuencia hay comportamientos distintos entre estaciones próximas.

Se recomienda utilizar series de código de estado de tiempo presente del periodo 1989-2008, para estudios climáticos posteriores debido a que esta etapa cuenta con 83 % de información válida con respecto a la posible, 20 años de extensión, y su extremo se corresponde con la época actual.

Bibliografía

Álvarez L, Borrajero I, Álvarez R, Aenlle L, Pérez B, Fernández N, Pérez M, Muñiz L, Rodríguez L, Rodríguez M, Iraola C, Costales O, Cayón H, López L (2005): *Estudio de la localización espacial de las tormentas eléctricas en Cuba y su tendencia*. Informe final de Resultado Científico, UDICT, Instituto de Meteorología, 92 pp.

Álvarez L (2006): *Estudio de la localización espacial de las tormentas eléctricas en Cuba y su tendencia*. Tesis presentada en opción del grado de Doctor en Ciencias Meteorológicas, UDICT, Instituto de Meteorología, 149 pp.

Álvarez L, Borrajero I, Álvarez R (2006): Análisis de la tendencia de las series de frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta, de tormentas con lluvia y de días con tormenta para el territorio cubano. *Revista Cubana de Meteorología*, 13(1), 83-94.

Álvarez L, Borrajero I, Álvarez R (2009a): Análisis de la calidad de los registros de código de estado de tiempo presente y representatividad de los fenómenos neblinas y nieblas a partir del estudio de esta variable. *Memorias del V Congreso Cubano de Meteorología*. Ciudad Habana, del 30 de noviembre al 4 de diciembre del 2009. Publicación electrónica, ISBN 978-959-7167-20-4, pp. 1501-1512.

Álvarez L, Borrajero I, Álvarez R, Aenlle L, Fernández N, Iraola C (2009b): Análisis de la representatividad de los datos de código de tiempo pasado para el fenómeno niebla. *Memorias del V Congreso*

Cubano de Meteorología. Ciudad Habana, del 30 de noviembre al 4 de diciembre del 2009. Publicación electrónica, ISBN 978-959-7167-20-4, pp. 1486-1500.

Álvarez L, Borrajero I, Álvarez R, León A (2011): Estudio de la marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de los fenómenos nieblas y neblinas a partir del código de estado de tiempo presente. *Revista Ciencias de la Tierra y el Espacio*, 12:31-46, ISSN 1729-3790, RNPS 1933, http://www.iga.cu/Publicaciones/revista/cte_12/Art_3_12/Articulo3_12.html

Araya JL (2011): Resultados de un control de calidad de datos de temperatura superficial. *Tecnología en Marcha*, 24(1):33-49.

Dai A (2001a): Global Precipitation and Thunderstorm Frequencies. Part I: Seasonal and Interannual Variations. *Journal of Climate*, 14(6):1092-1111.

Dai A (2001b): Global Precipitation and Thunderstorm Frequencies. Part II: Diurnal Variations. *Journal of Climate*, 14(6):1112-1128.

Feng S, Hu Q, Qian W (2004): Quality Control of Daily Meteorological Data in China, 1951-2000: A new dataset. *International Journal of Climatology*, 24:853-870.

Gandin LS (1988): Complex quality control of meteorological data. *Mon. Wea. Rev.*, 116:1137-1156.

Graybeal DY, DeGaetano AT, Eggleston KL (2004a): Complex Quality Assurance of Historical Hourly Surface Airways Meteorological Data. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 21:1156-1169.

Graybeal DY, DeGaetano AT, Eggleston KI (2004b): Improved Quality Assurance for Historical Hourly Temperature and Humidity: Development and Application to Environmental Analysis. *Journal of Applied Meteorology*, 43:1722-1735.

Hubbard KG, Goddard S, Sorensen WD, Wells N, Osugi TT (2005): Performance of Quality Assurance Procedures for an Applied Climate Information System. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, 22:105-112.

Jansá JM (1974): *Curso de Climatología*. Instituto Cubano del Libro, La Habana, 445 pp.

OMM (1992): *Manual del Sistema Mundial de Proceso de Datos y de Predicción*. OMM - No. 485, Volumen II - Aspectos regionales.

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

Vavrek RJ, Kithil R, Holle RL, Allsopp J, Cooper MA (2011): *The Science of Thunder*. National Lightning Safety Institute (NLSI), Section 6.1.8, http://www.lightningsafety.com/nlsi_info/thunder2.html.

WMO (1988): *Manual on codes*. WMO - No. 306, Volume 1, Seccion D, Table 4677.

You J, Hubbard KG, Goddard S (2008): Comparison of methods for spatially estimating station temperatures in a quality control system. *International Journal of Climatology*, 28(6):777-787.

