Ciencias de la Tierra y el Espacio, 2010, Vol.11, pp. 84--96, ISSN 1729-3790

Las tormentas locales en la provincia de Guantánamo

Yanneyis Rojas Díaz [(1)], Nirian Laborde Castillo [(1)], Carlos Rubio Limonta [(1)], Enrique Perigó Román [(1)], Andrés Aragón Matos [(1)], Giselle Aguilar Oro [(2)], Mario Carnesoltas Calvo [(2)].

[(1)] Centro Meteorológico Provincial de Guantánamo. Calle 13 norte s/n e/ Ahogado y 1 Oeste. Rpto Caribe. Guantánamo, Cuba.
[(2)] Instituto de Meteorología. Loma de Casa Blanca, Cuba.

Recibido enero 18, 2010	Aprobado noviembre 12, 2010

Resumen

La presente investigación tiene como objetivo determinar el comportamiento espacial y temporal de las Tormentas Eléctricas, y de forma preliminar de las Tormentas Locales Severas en la provincia de Guantánamo. Como materiales de trabajo para las Tormentas Eléctricas (TE) se emplearon los datos de las observaciones de las cinco estaciones meteorológicas del INSMET en la provincia de Guantánamo, para un período de 12 años (1996 – 2007) y para el caso de la cantidad de Tormentas Locales Severas (TLS) se utilizaron los reportes de 28 años (1980 - 2007).
Como resultados investigativos se obtuvieron el promedio de ocurrencia de las TE y las TLS para el período analizado, los meses de mayor y menor incidencia, así como el análisis del tiempo promedio de inicio y duración de las mismas, además se realizó un análisis integral de ambos fenómenos relacionados con las características físico – geográficas de la provincia de Guantánamo.

Palabras clave: Tormentas eléctricas, tormenta local severa, trueno, cumulonimbus.

The local storms in the county de Guantanamo

Abstract

The present investigation has as objective to determine the space behavior of the Electric Storms and, in preliminary way, of the Severe Local Storms in the county of Guantánamo. As work materials for the Electric Storms, the data of the observations of five meteorological stations of INSMET in the county of Guantánamo for a 12 year-old period (1996 - 2007), were used. .In the case of the quantity of Severe Local Storms, the 28 year-old reports (1980 - 2007), were used.
As investigative results we obtained: the average of occurrence of both phenomena for the analyzed period, the months of more and smaller incidence, as well as the analysis of the time beginning. Average and duration of the same ones, were also carried out an integral analysis of both phenomena, related with the physical characteristics – (geographical) of the county of Guantánamo.

Key words: Electric storms, severe local storm, thunder, cumulonimbus.

Introducción

Los cambios continuos que se producen en la dinámica de nuestro planeta, resultan de gran interés en sus manifestaciones severas. Cuando se habla de tiempo severo en la zona tropical, generalmente se asocia a eventos de gran magnitud como los ciclones tropicales, sin embargo, en esta zona resulta muy frecuente la aparición de Tormentas Locales, que constituye uno de los fenómenos atmosféricos más espectaculares y a su vez pueden ser peligrosos para la vida humana y los bienes materiales.

Las Tormentas Locales pueden producir lluvias intensas, descargas eléctricas, granizos, tornados y vientos lineales fuertes en unos pocos minutos y estar presentes, inclusive, en otros fenómenos de mayor escala como los huracanes. Todo ello puede tener consecuencias trágicas para la vida humana, y en algunos casos se convierten en verdaderas catástrofes para toda la sociedad.

El impacto humano y socioeconómico de estos sistemas no solamente se debe a su severidad, sino a lo extremadamente difícil que resulta su predicción. La causa de ello es, en gran medida, el insuficiente nivel de conocimiento que se posee por la escasa densidad en las redes de estaciones meteorológicas, (principalmente en el mar) y por el estrecho margen de tiempo en que se desarrollan estos procesos.

Durante mucho tiempo las Tormentas Locales fueron poco estudiadas en Cuba. Una investigación realizada por el reconocido meteorólogo Arnaldo Alfonso (1992), "señaló que, a partir de mediados de la década de los 60 del pasado siglo, las descargas eléctricas constituyen la principal causa de muerte por fenómenos meteorológicos en Cuba. El número de víctimas fatales se eleva a 66 por año, sin que se disponga de información sobre el número de heridos. Como las tormentas locales severas suelen poseer una gran actividad eléctrica es muy probable que muchos de los casos de fulguración se corresponde con episodios de tiempo severo".

El término en inglés "thunderstorm" se identifica en español como "tormenta eléctrica" para referirse a los fenómenos asociados a las nubes cumulonimbus. En este estudio se mantuvo el criterio establecido por la OMM (1988) para el cifrado de los mensajes sinópticos, y en Cuba por el INSMET para asentarlas en la "hoja de fenómenos", o sea, "se considera que en la estación se produce una tormenta a partir del momento en que se oye el primer trueno, se vean o no relámpagos o se produzcan o no precipitaciones en la estación. Se indicará tormenta en *tiempo presente* si se oye tronar durante el *período normal* de observación que precede a la hora del informe. Se considerará que una tormenta ha terminado con el último trueno que se oyó, y no se oyen truenos en el curso de los 10-15 minutos siguientes".

De acuerdo a Aroche et al. (1999) a este tipo de tormenta se le conoce a veces en medios meteorológicos como "tormentas convectivas locales", atendiendo a su origen y en contraste con los sistemas convectivos de mesoescala, que están compuestos por complejos de cumulonimbos.

El Servicio Meteorológico Cubano tiene establecido oficialmente el término de tormenta local severa (TLS), por la clasificación propuesta por Alfonso (1994), como "toda tormenta local (en la escala mesoganma de Orlanski, 1975), en general eléctrica, que presenta uno o varios de los siguientes fenómenos, que se consideran severos: tornado; turbonada con racha de viento lineales de 25 m/s o más, no asociada directamente al tornado; granizo, de cualquier tamaño; tromba en la altura y tromba marina".

En plena concordancia con lo anterior, y teniendo en cuenta que el cumulonimbus (Cb) es la nube que genera todos los fenómenos que se tratarán en el presente trabajo, se empleará como término genérico "tormenta local" (TL), mientras que para la presencia de ellas sin manifestación de severidad, se empleará "tormenta eléctrica" (TE), y cuando se haya reportado la presencia de severidad, se empleará el término de "tormenta local severa" (TLS).

Johns y Doswell (1992), que también tratan la predicción de la convección severa, plantean que en los últimos años a las tormentas severas sin tornados se le ha prestado menos atención que a las relacionadas a tornados, tanto en los Estados Unidos, como en el resto del mundo. Esto se debe en parte a que el número de muertos por las tormentas sin tornados es menor, pero además a que en los Estados Unidos, por ejemplo no se incluyen las lluvias locales intensas como un fenómeno meteorológico extremo, aunque aporta un importante números de fallecidos.

Por todo lo anterior expresado, se debe aclarar en primer lugar, que las lluvias intensas quedarán excluidas de este trabajo, ya que la Tormenta Local no es el único mecanismo que las puede producir; y en segundo lugar, que tampoco se abordará la intensidad de la actividad eléctrica de la TE.

El sólo hecho de que las TE representan un peligro potencial para la vida y los bienes materiales, resulta suficiente para trabajar incansablemente en lograr la reducción de sus efectos, ya sea mediante medidas de protección, como el permanente perfeccionamiento de los sistemas de avisos anticipados, además de que por sí solas resulten fascinantes como para justificar e incentivar el interés científico. Por las anteriores razones, el objetivo del presente trabajo es determinar el comportamiento temporal y espacial, así como las manifestaciones de severidad de las Tormentas Eléctricas sobre el complejo territorio de la provincia de Guantánamo.

Materiales y métodos

Los materiales que se emplearon en la investigación para la cantidad de TE fueron extraídos de la "hoja de fenómenos" del Libro de Asentamiento de las Observaciones de las 5 estaciones meteorológicas del Instituto de Meteorología (INSMET) en la provincia de Guantánamo, para un período de 12 años (1996 – 2007), lo que constituye una muestra de 8708 tormentas eléctricas de 134 meses con datos. En el anexo 1 se relacionan las estaciones y su ubicación geográfica.

En el caso de la cantidad de TLS se utilizaron los reportes de 28 años (1980 – 2007), tanto por las estaciones meteorológicas del INSMET, como por aficionados y otras fuentes en la provincia. Las escalas de trabajo temporal y espacial serán las comprendidas entre la β-meso y la γ-mesoescala, de acuerdo a la clasificación de Orlanski (1975). Para el estudio integrado del comportamiento de las TE y las TLS en Guantánamo se consideraron las características físico – geográficas del territorio, a partir de las cuales se determinaron tres zonas fundamentales (Zona I costa norte, Zona II interior, Zona III costa sur).

En uno de los trabajos iniciales sobre días con TE en los Estados Unidos, Evans y Mc Eachron (1938) criticaron el problema de la forma de definir el día con tormenta a partir de escuchar el tueno en la estación, porque planteaban "que todas las estaciones no tienen la misma capacidad para oír el trueno, lo que puede introducir cierto sesgo en la distribución de frecuencia". En el caso de los datos tomados para este estudio no cabe la posibilidad de este error, pues fueron tomados de las 5 estaciones de la provincia, y todas tienen posibilidad de observar la nubosidad y escuchar el trueno en cualquier dirección a su alrededor.

Debido a que las muestras tomadas abarca un periodo de 12 años y a que se plantea que las pruebas no paramétricas de tendencia necesitan 10 puntos o más, se optó por trabajar con los datos mensuales, a los cuales se le eliminó la estacionalidad y se le aplicó los estadígrafos de tendencia. Partiendo de la serie de datos de "Cantidad de Tormentas Eléctricas", se determinó la "Cantidad de días con Tormentas". Con la finalidad de determinar las características de cada serie, se le eliminó primero a ambas la estacionalidad con ayuda del sistema SPSS, versión 11.1, y luego se le aplicaron las pruebas de Wald-Wolfowitz, de Spearman, de Mann- Kendall y Pettit a un nivel de significación de 0,05. Estas pruebas se encuentran en el software WINSTAT (Borrajero, comunicación personal) sobre la base del trabajo de Sneyers (1990).

Las pruebas fueron aplicadas a las TE, pero no fue posible aplicarlas a la información disponible de las TLS, ya que a pesar de abarcar mayor número de años, existe una cantidad mucho menor de reportes (solamente 95 casos en un período de 27 años). Además, debido a las características propias de este fenómeno, podían provocarse inhomogeneidades en la serie de datos en estudio, ya que la provincia de Guantánamo es la que menor número de casos de TLS ha reportado a lo largo del país. También, dado por su carácter local, no son suficientes la cantidad de estaciones meteorológicas para ser siempre detectadas por éstas, sino que debe auxiliarse de aficionados u otras fuentes (incluyendo las poco confiables), lo que implica que en muchas ocasiones ocurren y no son reportadas, o en muchos casos ocurren en lugares de difícil acceso y despoblados. Es por ello que siempre las bases de datos de las TLS en el mundo se hacen a partir de los "reportes", lo que lleva implícito estas limitantes a las que se enfrentan y conocen todos los investigadores sobre el tema. No obstante, en el presente trabajo se presentan los resultados del análisis estadístico con un carácter descriptivo, en los que se pueden apreciar algunas de las características de las TLS en las cinco estaciones de la provincia, lo que confirma, por ejemplo, entre otros aspectos, su tendencia a la disminución con respecto al resto del territorio nacional.

Resultados y discusión

RESULTADOS DE LAS PRUEBAS NO PARAMETRICAS

Los resultados de la aplicación de las pruebas no paramétricas para la homogeneidad de la serie, arrojaron que no existen evidencias significativas de tendencias crecientes o decrecientes, ni puntos de cambio en las series, para ninguna de las estaciones durante los 12 años tomados para el estudio, por lo que el comportamiento de las series puede considerarse homogénea. En la Fig. 1 se muestran los resultados de la anomalía que presenta la cantidad de TE en el período 1996 – 2007 para el total de la provincia.

La observación minuciosa del gráfico de la anomalía para el período de estudio, permite visualizar el carácter oscilatorio de la misma, lo que tiene como base la falta de tendencia en la serie.

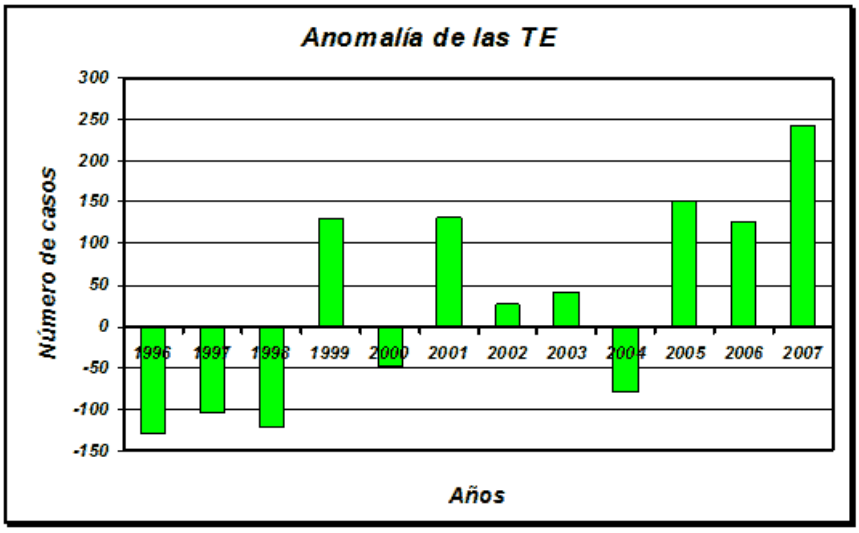


Fig. 1 Anomalía de la cantidad de Tormentas Eléctricas en el periodo 1996 – 2007.

DISTRIBUCION DE LAS TORMENTAS ELECTRICAS EN EL PERIODO 1996-2007.

La cantidad media anual de TE en el período 1996 – 2007 para toda la provincia de Guantánamo fue de 725.7 TE/año. Si se compara la distribución anual de TE en la provincia con la del resto del país, no es de sorprender que sea menor, ya que en general se puede apreciar que aumentan a medida que se avanza del oriente hacia el occidente del territorio cubano (resultado que coincide con lo señalado por Lecha et al. 1994).

La distribución por años de estas tormentas mostró que los años por encima de su desviación estándar fueron 1999, 2001, 2005 y 2007, mientras que los años 1996, 1998, 2000, 2002, 2004 y 2006 se comportaron por debajo de su desviación estándar.

DISTRIBUCION DE LA CANTIDAD DE TORMENTAS ELECTRICAS POR MESES Y POR PERÍODOS.

En casi todos los países se ha señalado que las TL ocurren con mayor frecuencia en el verano, pudiéndose citar un resultado de principios del siglo XX, (Alexander, 1924) en el que ya demostraba que la máxima actividad en la Península de la Florida, ocurre en los meses de julio y agosto. Cuba no es una excepción de la mencionada distribución tal y como muestran los trabajos (Millás, 1943 y Rego et al., 1984).

De acuerdo a Alfonso (1994), "aunque pueden ocurrir tormentas eléctricas durante todo el año, existen dos períodos muy bien definidos en Cuba, no exactamente coincidentes con los correspondientes a las precipitaciones: uno con escasa actividad de tormentas, que se inicia a mediados de octubre y concluye a finales de mayo; y el otro de gran actividad de las tormentas que ocurre el resto del año. Pero debe aclararse que existen grandes oscilaciones en la fecha del comienzo del período de gran actividad, el cual puede variar desde principio de mayo hasta fines de junio. Tampoco este período comienza simultáneamente en todas partes; pero se carece de información precisa al respecto".

La distribución de la cantidad de TE en la provincia de Guantánamo durante los años del período 1996 - 2007, mostró que durante el período de gran actividad ocurrió el 87.3%, mientras que el 12.7% lo hizo durante el período de poca actividad. Si en la muestra tomada de 8708 casos de TE, la distribución fuera similar para todos los meses, deberían de ocurrir como promedio 64.9 TE/mes, pero en este territorio durante el período activo ocurren como promedio 21.9 TE/mes, mientras que durante el período poco activo ocurren sólo 2.8 TE/mes, lo que está en correspondencia con el 87.3% de TE del período activo. En la Tabla 2 se muestra el total de TE por meses para la Provincia de Guantánamo.

Tabla II. Total de Tormentas Eléctricas por meses para la Provincia de Guantánamo.

Período Poco Activo						**Período Activo**						**Total**
1108 (12,7 %)						*7600 (87.3%)*						
N	*D*	*E*	*F*	*M*	*A*	*M*	*J*	*J*	*A*	*S*	*O*	
335	*144*	*66*	*92*	*177*	*294*	*831*	*1187*	*1220*	*1482*	*1618*	*1262*	*8708*

La distribución de TE por meses y por períodos no es similar para todas las zonas, pudiéndose distinguir dos aspectos significativos: primero, que en las estaciones 78356 de la costa Norte (zona I), la 78334 del interior (zona II) y la 78368 de la costa Sur (zona III), ocurrieron la mayor cantidad de TE. Segundo, que si se compara el período

activo con respecto al total de TE ocurridas en el período de estudio, en estas estaciones ocurrieron el 86.2, 85.3 y 88.0% respectivamente; mientras que en la estación 78319 del interior (zona II) y la 78369 del extremo oriental (zona III), ocurrieron con mayores frecuencias (89.4 y 89.0 % respectivamente).

En el análisis mensual de la distribución de TE por zonas de la provincia, se puede apreciar que para la estación 78368 en la costa Sur (zona III), los meses de mayor ocurrencia de TE son los correspondientes al período activo con un 24.1 de TE como media mensual (en correspondencia con el 88.0%), destacándose los meses de julio, agosto y septiembre. Mientras que para el poco activo corresponde sólo 3.3 de TE como media mensual (en correspondencia con el 12.0 %), donde los meses de menor ocurrencia son diciembre, enero y febrero.

Si se compara la estación 78368 (zona III) con la estación 78319 (zona II), esta última presenta una frecuencia de ocurrencia mayor, representando el 89.4%, pero con 20.2 tormentas como media, siendo los meses de mayor frecuencia junio, agosto y septiembre. Mientras que para el período poco activo sólo ocurren el 10.6 % para un 20.2 tormentas como media.

En la estación 78356 (zona I), agosto, septiembre y octubre son los meses de mayor ocurrencia de tormentas con 86.2 % del período lluvioso, lo que representa una media mensual de 23.3 de ocurrencia de TE, mientras que el 13.8 % corresponde al período poco activo, representando un 3.7 de ocurrencia de TE. También en la estación 78334 (zona II) se aprecia que los meses de julio, agosto y septiembre son los meses de mayor ocurrencia de tormentas con el 85.3% para todo el período activo y con 27.2 tormentas por mes. El 14.7 % corresponde para el período poco activo representando el 4.6 de ocurrencia de tormentas.

En la estación 78369 (zona III) los meses de máxima actividad se observan en agosto, septiembre y octubre para el período activo representando el 89.0 % para un total de 12.4 de ocurrencia de TE, mientras que el 11.0 % representa el período poco activo con solo el 1.6 de ocurrencia de tormentas.

Tabla III. Media mensual de Tormentas Eléctricas por períodos para cada Estación.

Estaciones	78368	78319	78356	78369	78334
Anual	*13.7*	*9.7*	*13.4*	*7.6*	*14.4*
Período Activo	*24.1*	*20.2*	*23.3*	*12.4*	*27.2*
Período Poco Activo	*3.3*	*2.4*	*3.7*	*1.6*	*4.6*

En la tabla III se podrá apreciar la desigual distribución mensual de las TE que existe en la provincia: Mientras que la estación 78334 tiene el mayor número de ocurrencias de TE como media, la estación 78369 presenta el valor más bajo de toda la provincia.

Si calculamos la relación entre el total de TE con respecto a la cantidad de días con TE (tabla IV) se apreciará que, a pesar de que la estación 334 tiene la mayor cantidad de TE y número de días con tormentas, su relación es de 1.32, mientras que en la estación 356 la relación es de 1.60. Esto puede deberse a dos causas:

1) que ocurren mayor cantidad de TE al día;
2) que estas TE tienen mayor duración.

Las relaciones del período activo, como se puede observar también en la tabla 4, se mantienen similares al valor anual, sin embargo durante el período poco activo disminuyen significativamente, lo que pudiera implicar que para dicho período las TE tuvieran un tiempo de duración menor sobre la estación.

Tabla IV. Relación entre el total de TE y la cantidad de días con TE.

Relación de la cantidad de TE con respecto a los días con TE									
Estación	Lluvioso			Poco Lluvioso			Total Anual		
	No. de días con TE	*Cantidad de TE*	*TE/día*	*No. de días con TE*	*Cantidad de TE*	*TE/día*	*No. de días con TE*	*Cantidad de TE*	*TE/día*
356	*1030*	*1675*	*1.63*	*183*	*268*	*1.46*	*1213*	*1943*	*1.60*
334	*1431*	*1933*	*1.35*	*290*	*333*	*1.15*	*1721*	*2266*	*1.32*
319	*914*	*1457*	*1.59*	*110*	*172*	*1.56*	*1024*	*1629*	*1.59*
369	*589*	*896*	*1.52*	*91*	*111*	*1.22*	*680*	*1007*	*1.48*
368	*1218*	*1639*	*1.35*	*183*	*224*	*1.22*	*1401*	*1863*	*1.33*

Si se analiza el peso (en %) que cada estación posee con respecto al total de TE en la provincia de Guantánamo (8708 casos) en el período de 12 años (1996-2007), se puede observar que el 26.0 % ocurrieron en estación 78334 (Zona II), el 22.3 % en la 78356 (Zona I), el 21.4 % en la 78368, el 18.7 % en la 78319 (Zona II), mientras que en la 78369 (Zona III) sólo el 11.6 % (ver tabla 5). En la distribución por períodos del año ocurre algo similar con

los valores extremos en las mismas estaciones, ya que durante el período activo, la mayor cantidad de TE ocurren en la estación 78334 con el 22.2 % y en la 78369 sólo el 10.3%, mientras que durante el período poco activo en la estación 78334 ocurren 3.8 % y en la 78369 es de 1.3 %.

Tabla V. Distribución (%) de Tormentas Eléctricas por Estaciones en cada Período

Estación	Período Activo	Período Poco Activo	Total
356	*19.2*	*3.1*	*22.3*
334	*22.2*	*3.8*	*26.0*
319	*16.7*	*2.0*	*18.7*
369	*10.3*	*1.3*	*11.6*
368	*18.8*	*2.6*	*21.4*

DISTRIBUCION ESPACIAL DE DIAS CON TORMENTAS ELECTRICAS.

En la distribución media anual de la cantidad de días con tormentas para Cuba, según Rego (citado por Lecha et al., 1994) se había señalado que "los máximos se localizan sobre las zonas montañosas y en las regiones interiores llanas, alejadas de las costas. El máximo absoluto nacional corresponde a la región de Pinares de Mayarí con un total superior a las 140 tormentas al año, mientras que los mínimos se ubican en casi todas las zonas costeras, con un valor inferior a las 40 tormentas anuales en el extremo oriental del país".

El autor aclara que los datos tomados para el análisis del mapa comprendían sólo el período desde las 07:00 y las 19:00 horas. Sin embargo, los datos del período que se han tomado en la investigación abarcan las 24 horas. Esto pudiera ser la primera causa de que el extremo más oriental de la provincia en la estación 78369 (Zona III) presenta un valor promedio de 54.4 de TE al año, pero también pudiera deberse a una posible variabilidad climática ocurrida entre los dos períodos que se analizan. Por esta razón los resultados que se ofrecen pueden considerase una puntualización más detallada para la provincia de Guantánamo de los resultados mostrados en los mapas anteriores.

Otro aspecto señalado por Alfonso (1994), es el hecho que la actividad general de número de TE al año aumenta de Este a Oeste, perturbado sólo por el efecto que induce el relieve.

De los 6334 días con TE ocurridos en toda la provincia en 12 años, el 85.2% se presentaron en el período activo y 14.8 % en el poco activo (Tabla VI y Fig. 2); De esta forma la media mensual es de 9.4 y la anual de 105.5. En la distribución de los días con TE por meses, septiembre presenta el mayor número de días con 219, y diciembre el mínimo de días con tormentas con 96.

Tabla VI. Total de días con Tormentas Eléctricas por meses y por períodos para la Provincia de Guantánamo.

Período Poco Activo						Período Activo						Total
936 (14.8 %)						*5398 (85.2%)*						
N	*D*	*E*	*F*	*M*	*A*	*M*	*J*	*J*	*A*	*S*	*O*	
257	*96*	*144*	*83*	*137*	*219*	*647*	*872*	*904*	*1036*	*1095*	*844*	*6334*
51.4	*19.2*	*28.8*	*16.6*	*27.4*	*43.8*	*129.4*	*174.4*	*181*	*207*	*219*	*168.8*	*8.9*

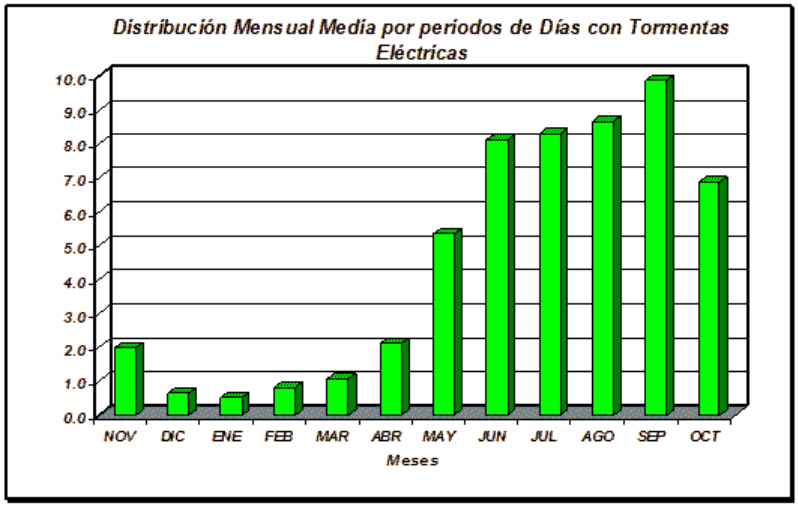


Fig. 2 Distribución mensual media por periodos de Días con Tormentas Eléctricas.

En la distribución promedio de días con TE al año (Tabla VII) se puede apreciar que la estación 78334 (zona II) es la que mayor número presenta (146); Siguiéndole en orden decreciente la estación 78368 (zona III), la estación 78319 (zona II), la 78356 (zona I), y por último la 78369 (zona III).
El número medio de días con TE divididos por períodos de gran y de poca actividad, para cada estación, se puede apreciar en la Tabla 8. Resaltan las estaciones 78334 (zona II) como la de mayor número de días con TE en el período activo y la 78369 (zona III) como la de menor número de días con TE en el período poco activo.

Tabla VII. Distribución promedio de días con Tormentas Eléctricas al año por estaciones.

Estación (zona)	Número medio de días con TE/año
78356 (I)	*102*
78334 (II)	*146*
78319 (II)	*108*
78369 (III)	*57*
78368 (III)	*120*

Tabla VIII. Número medio de días con Tormentas Eléctricas en el período de gran actividad por estaciones.

Estación (zona)	Número medio de días con TE	
	Período Activo	Período poco Activo
78356 (I)	*14.4*	*2.5*
78334 (II)	*19.9*	*4.0*
78319 (II)	*15.6*	*2.2*
78369 (III)	*8.2*	*1.3*
78368 (III)	*16.9*	*3.0*

Distribución Mensual de Días con Tormentas Eléctricas por Estaciones.

En el comportamiento de días con TE para la estación 78368 (zona III) se pudo apreciar que durante el período activo ocurren el 85.0 %, mientras que solamente el 15.0% corresponde al período poco activo. El mes con mayor número de días con TE es agosto con 243, siguiéndole septiembre (238) y julio (215), siendo el mes de febrero el de menor cantidad con 14 días (período poco activo). Como se podrá observar la cantidad de días con TE para cada mes de esta estación, sobrepasa la media para la provincia, excepto febrero y diciembre.

El comportamiento de días con TE para la estación 78319 (zona II) mostró que durante el período activo ocurren el 87.8%, mientras que solamente el 12.2% corresponde al período poco activo. El mes con mayor número de días con TE es septiembre con 236, siguiéndole agosto con 220 y julio con 185, siendo el mes de febrero el de menor cantidad con 17 días (período poco activo). Como se podrá observar la cantidad de días con tormentas de esta estación, tiene 6 meses que sobrepasa la media para la provincia y 6 meses inferiores.

El comportamiento de días con TE para la estación 78356 (zona I) mostró que durante el período activo ocurrieron el 85.0.7%, mientras que sólo el 15.0 % corresponde al período poco activo. El mes con mayor de días con TE es septiembre con 208, siguiéndole agosto con 181 y octubre con 180 días, siendo el mes de enero el de menor cantidad con 8 días (período poco activo). En este caso la cantidad de días con tormentas para la estación, fue inferior en 8 meses a la media para la provincia.

El comportamiento de días con TE para la estación 78369 (zona III) mostró que durante el período activo ocurren el 86.6%, mientras que el 13.4% corresponde al período poco activo. El mes con mayor días con TE es septiembre con 144 días, siguiéndole octubre con 127 y agosto con 119 días, siendo el mes de enero el de menor cantidad con 4 días (período poco activo). La cantidad de días con tormentas para cada mes de esta estación, siempre está por debajo de la media para la provincia.

Finalmente, en el comportamiento de días con TE para la estación 78334 (zona II) se pudo apreciar que para esta estación durante el período activo ocurren el 83.1%, mientras que el 16.9 % corresponde al período poco activo. El mes con mayor media mensual de días con TE es agosto con 273, siguiéndole septiembre con 269 y junio con 254 días, siendo el mes de febrero el de menor cantidad con 24 días (período poco activo). La cantidad de días con tormentas para cada mes de esta estación, siempre sobrepasa la media para la provincia.

En resumen, en el comportamiento descrito anteriormente de días con TE para las distintas estaciones de la provincia durante el período activo, puede apreciarse, que en las estaciones 78368 (zona III) y 78334 (zona II), tienen el máximo en el mes de agosto; Las estaciones 78356 (zona I), 78319 (zona II), y la 78369 (zona III) presentan los máximos en septiembre; Mientras que para el período poco activo existe total coincidencia en que el mes de enero es el de mínima ocurrencia para todas las estaciones. En cuanto a los meses que están por encima o por debajo de la media para la provincia, de nuevo coinciden las estaciones 78368 (zona III) y 78334 (zona II) con sus valores superiores, siguiéndole las estaciones 78356 (zona I), 78319 (zona II), con cierto parecido en la cantidad

de meses por encima y por debajo; mientras que la estación 78369 (zona III) tiene todos sus valores mensuales por debajo de los provinciales.

Otro aspecto de gran interés hallado en la investigación es que existe en la provincia una franja con gran actividad de TE y TLS orientada de Este a Oeste (Fig.3) en la ladera Sur de la Meseta del Guaso (que abarca parte del municipio El Salvador, la parte central del municipio Guantánamo y el extremo Noroeste del municipio Manuel Tames). Si se toman en cuenta las condiciones favorables que intervienen en la formación y desarrollo de la tormentas locales, lo planteado por Donn (1956) en el primer trabajo de que se tengan noticias hasta el presente sobre brisa en Cuba en Guantánamo, las características de las tres zonas físico – geográficas en que se divide la provincia, y la representatividad de los datos tomados en las 5 estaciones meteorológicas descritas anteriormente, puede apreciarse que la franja se ubica precisamente en una parte del límite entre las zonas físico geográficas II y III. Luego, las causas del mecanismo de formación de TE (en ocasiones TLS) en esta franja, donde se cumplen simultáneamente varias de dichas condiciones, quedaría explicado por la interacción entre la circulación local del frente de brisa de mar que penetra a través del valle de Guantánamo y la masa de aire caliente que queda atrapada y levantada bruscamente en la pendiente Sur que posee la Meseta del Guaso (Carnesoltas, 2002, comunicación personal).

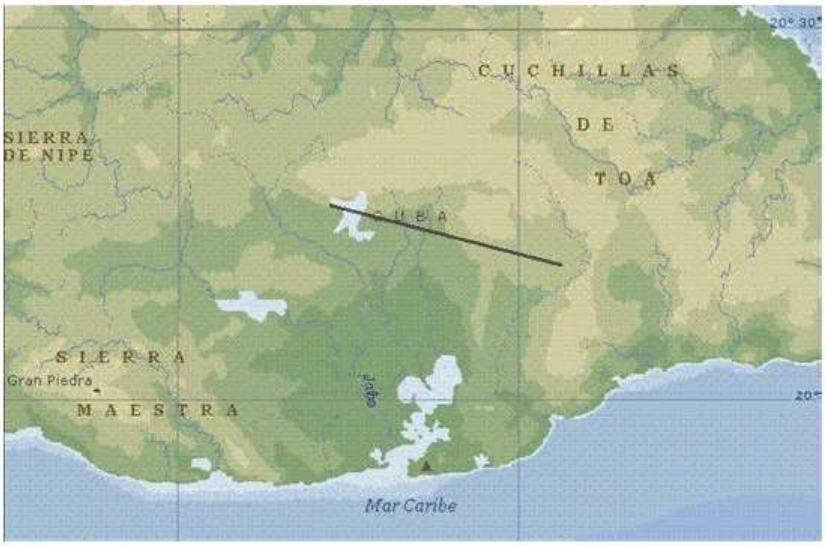


Fig. 3 Ubicación de la franja con gran actividad de TE y TLS en la provincia de Guantánamo.

HORA DE INICIO DE LAS TORMENTAS ELECTRICAS.

Existen numerosos trabajos, tanto extranjeros como nacionales, que tratan sobre la hora más frecuente de inicio de las TE, pero de todos los trabajos nacionales revisados, es indiscutible que el realizado por Puente y Regal (2000), es el que más aportó al tratar de manera directa y detallada el comportamiento de las TE. Estos autores hicieron un análisis espacio-temporal de las tormentas en la región oriental de Cuba por las observaciones del radar ubicado en la Gran Piedra.

Los autores, tomando los años 1989 - 1991 con observaciones cada tres horas entre las 07:00 y las 22:00 hora del meridiano 75^0 W, señalan que el máximo diario de la nubosidad se produce sobre tierra a las 21:00 hora del meridiano 75^0 W, disminuyendo hacia las costas, mientras que sobre el mar ocurren por la noche.

Más tarde Gamboa y Finalé (2001) y Gamboa (2004) continúan la línea de trabajo de estudio de las tormentas por radar, incluyendo granizadas.

En el análisis de la hora de inicio de las TE por estaciones en la provincia de Guantánamo, se puede apreciar que, mientras en la estación 78319 (zona II) ocurre el mayor números de casos en el período comprendido entre las 12:00 y las 20:00 hora del meridiano 75 grados Oeste de Greenwich, con un aumento en horas del mediodía y una disminución gradual durante la tarde, en la estación 78368 (zona III) se inician con mayor frecuencia entre las 12:00 y las 16:00 hora del meridiano 75 grados Oeste. Pero en la estación 78369 (zona III) el inicio puede ocurrir a cualquier hora del día. Las distribuciones de las restantes estaciones ocurren entre estos extremos (Fig. 5). Este resultado está en concordancia con la Tabla 9, donde se aprecia la distribución (en %) del inicio de las TE para cada una de las estaciones de la provincia, entre las 12:00 y las 20:00 hora del meridiano 75 grados Oeste. También en la tabla se pude apreciar que en general, el inicio de las TE entre las 12:00 y las 20:00 hora del meridiano 75 grados Oeste, ocurren en su mayoría durante el período activo del año.

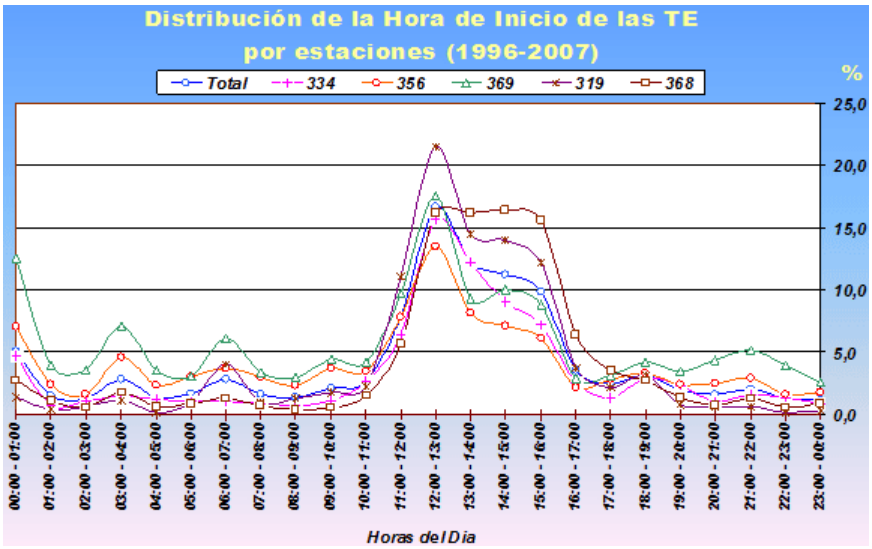


Fig. 4 Distribución de la Hora de Inicio de las Tormentas Eléctricas por estaciones en el período 1996 – 2007.

Tabla IX. Distribución (en %) del inicio de las tormentas eléctricas por estaciones para el período activo y entre las 12:00 y las 20:00 hora del meridiano 75^0 W.

Estación	Período Activo (%)	Entre las 12.00 – 20.00 h (%)
78334	*86,3*	*65,6*
78319	*90,6*	*74,4*
78369	*90,0*	*33,1*
78368	*88,3*	*79,1*
78356	*88.7*	*47.4*

Se puede señalar que durante el período activo la hora de inicio más frecuente ocurre entre las 12:00 y las 13:00 hora del meridiano 75grados Oeste de Greenwich, pero durante el período poco activo presenta una tendencia a retrasarse hasta el intervalo entre las 15:00 y las 16:00 hora del meridiano 75grados Oeste..

Como una opinión final es que los resultados de la investigación sobre este aspecto coinciden con los de Alfonso (1994): Este autor considera además que pueden ocurrir TE en el horario nocturno, y entre los resultados encontrados en este trabajo para la provincia de Guantánamo, se reporta un número considerables de casos de TE en horas nocturnas, en el extremo oriental de Cuba, según los reportes de la Estación 78369.

DURACION DE LAS TORMENTAS ELECTRICAS.

La mayoría de los investigadores coinciden en afirmar que cuando las tormentas se presentan aisladas, su ciclo de vida suele ser corto, nacen, maduran y se disipan en menos de dos horas. Pero si se presentan en grupos de celdas, cada una en un estadio diferente de su ciclo de vida, puede durar muchas horas, formándose y disipándose sucesivamente. Gancedo (1981) halló que para la región central de Cuba la duración de las TE "está en un mayor porcentaje limitado a menos de una hora".

En la Fig. 6 se aprecia la distribución de frecuencia de la duración de las TE para cada estación de la provincia de Guantánamo. En el intervalo de hasta 1 hora la estación 78319 (zona II) es la de mayor frecuencia de duración con el 33.6 % de los casos, disminuyendo rápidamente para el resto de los intervalos. En el intervalo entre 1 y 2 horas de duración, a la estación 78334 (zona II) le corresponde la frecuencia más baja de la provincia con sólo el 11.3 % de los casos. Sin embargo, en el intervalo entre 3 y 6 horas de duración esta estación es la que posee la mayor frecuencia. Como se han tomado los valores extremos, los valores de las demás estaciones están comprendidos entre los intervalos antes mencionados. Es significativo que los valores extremos están dentro de la zona II. Y otro aspecto a destacar es que en el intervalo hasta 3:30 horas de duración, ocurren el 86.9% de todos los casos de la provincia. Estos resultados muestran que para la región más oriental del país, si bien la mayoría de las TE tienen una duración de 1 hora, como se plantea por otros autores, son frecuentes los casos de mayor duración.

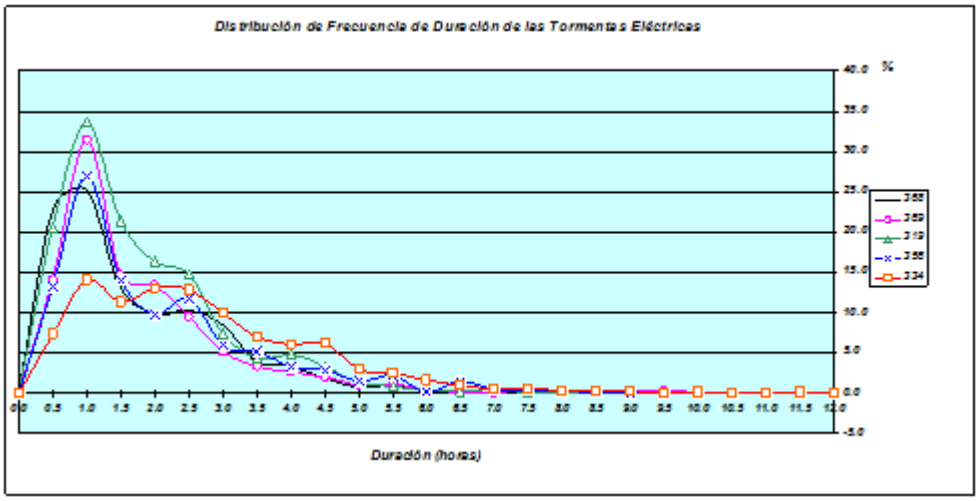


Fig. 5 Distribución de frecuencia de la Duración de las Tormentas Eléctricas.

El análisis de esta distribución de frecuencia de duración de la Fig. 6 confirma que, de las dos posibilidades antes planteadas en la tabla 3 para la relación entre cantidad de TE y días con TE para la estación 78356 (zona I), se cumple la primera, o sea, que ocurren más tormentas por día y no que tienen mayor duración cada una.

TORMENTAS LOCALES SEVERAS.

En el análisis de la distribución en la provincia de Guantánamo de las TLS, se tomó en cuenta lo explicado en materiales y métodos, ya que se dispone solamente de 95 reportes en un período de 27 años. Luego, los resultados del análisis estadístico tienen un carácter descriptivo, en los que se pueden apreciar algunas de las características de las TLS en las 5 estaciones de la provincia, de acuerdo a la división en tres zonas físico - geográficas. Se conoce que el desigual comportamiento de la severidad en las TE (que las convierte en TLS), se debe a las diferentes condiciones del entorno en que se desarrollan, y la provincia de Guantánamo es un ejemplo de ello. Aunque en cada zona existe al menos una estación meteorológica de superficie, la mayoría de los reportes no provienen de estas estaciones.

También por primera vez en la provincia de Guantánamo se realiza un estudio por separado de las manifestaciones de severidad en las TL (según la clasificación de Alfonso, 1994), de ahí su novedad científica y su futura aplicación en su pronóstico y en la emisión de alertas tempranas.

Distribución de las Tormentas Locales Severas.

Del total de TLS reportadas, el 78.7% ocurrieron en el período activo que corre de mayo a octubre, siendo junio el mes con mayor cantidad, siguiéndole en orden los meses de mayo y octubre. En el período poco activo, los meses de diciembre, enero y abril solamente aparecen con un reporte. Este comportamiento difiere de lo encontrado por Alfonso (1994), ya que para los datos tomados por ese autor, el período activo corría de marzo a septiembre, con el mes de mayo el de mayor probabilidad de ocurrencia. Pero esto puede deberse a la escasa cantidad de reportes disponibles y no a una característica de la provincia.

Tabla X. Distribución por zonas de las TLS y cada evento de severidad.

ESTACIONES	Total de TLS	Tornados	Vientos 25 m/s o más	Vientos 18 m/s o más	Granizos
TOTAL	*95*	*7*	**36***	*60*	*28*
78356 (I)	*13*	*0*	**7***	*10*	*3*
78334 (II)	*11*	*0*	**3***	*7*	*4*
78319 (II)	*11*	*0*	**1***	*8*	*3*
78368 (III)	*39*	*5*	**14***	*20*	*14*
78369 (III)	*21*	*2*	**11***	*15*	*4*

En cuanto a su distribución por zonas en la Tabla 10 se puede apreciar que el 39.4 % y el 21.3 % de las TLS, se ubicaron en la zona III, o sea, el Sur y el Este de la provincia. En el total de TLS no se sumaron los vientos lineales de 25 m/s o más (señalados por *), ya que están incluidos en los de 18 m/s o más.

En lo que se refiere a la cantidad de TLS a lo largo de la isla de Cuba, Alfonso (1994), plantea que "de enero a marzo, el número de TLS disminuye de Oeste a Este, y las que se organizan en forma de líneas, raramente afectan a las cinco provincia orientales". Esto fue corroborado con la información de González (1999) sobre los frentes fríos que afectan al país por provincias.

Según Rivero et al. (1981), Alfonso (1994) y Aguilar et al. (2005), el período del día en que ocurren la mayor cantidad (más del 90%) de TLS en Cuba, es entre las 13:00 y las 20:00 horas. Alfonso (1994) planteaba además que "entre las 15:00 y las 18:00 horas se forman la mayoría de las TLS. Esto es válido todo el año y en cualquier zona del país (con excepción de Isla de la Juventud)". Casi todas estas tormentas se forman en horas de la tarde, una o dos horas después de registrarse la máxima temperatura del día.El análisis de la frecuencia de la hora de inicio de las TLS en la provincia de Guantánamo, (Fig. 8), muestra que el 92.6% ocurren entre las 13:00 y las 18:00 hora del meridiano 750 Oeste de Greenwich concordante con lo planteado por los autores de los resultados anteriores.

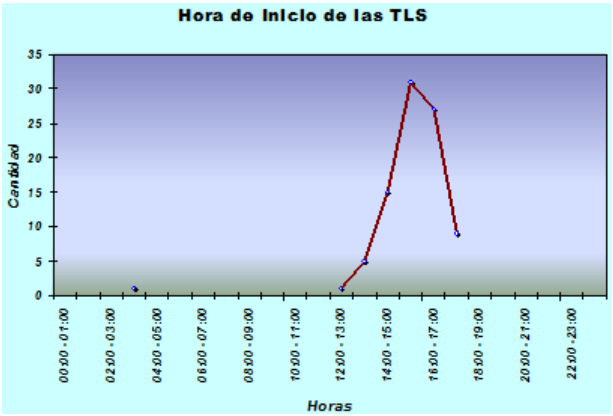


Fig. 6 Distribución de la Hora de Inicio de las TLS en Guantánamo.

Referencias

Aguilar, G., M. Carnesoltas, C. Fernández, y L. Naranjo, 2005: Climatología de las tormentas locales severas en Cuba en el período 1987 - 2002. Resultados de la modelación de un caso de estudio. Rev. Cubana de Meteorología, 12, 1, 3 – 10 pp.

Alexander, W. H. 1924: Distribution of thunderstorms in the United States. Monthly Weather Review, 52(7) : 337 – 348 pp.

Alfonso, A., 1992: Descargas eléctricas en Cuba. Aspectos meteorológicos. En Revista Cubana de Meteorología, volumen 5 No. 2, 99 – 105 pp.

Álvarez, L., I. Borrajero, R. Álvarez, L. Aenlle, B. Pérez, N. Fernández, M. Pérez, L. Muñiz, L. Rodríguez, M. Rodríguez, C. Iraola, O. Costales, H. Cayón, y L. López, 2005: Estudio de la localización espacial de las tormentas eléctricas en Cuba y su tendencia. Informe de Resultado de proyecto, Centro de Física de la Atmósfera. Instituto de Meteorología. 93 pp.

Byers H. R. y H. R. Rodebush, 1948: Causes of Thunderstorms of the Florida peninsula. J. Meteorol. 5 (6) , 275 – 280 pp.

Carnesoltas, M. 2002: La circulación local de brisa de mar y tierra. Conceptos Fundamentales. Rev. cubana de Meteorología , 9, 1, 39 – 60 pp.

Doswell III, C. A., and L. R. Lemon, 1979: An operational evaluation of certain kinematic and thermodynamic parameters associated with severe thunderstorm environments. Conference on severe local storms, American Meteorological Society, Boston, Mass.

Donn, W., P. Milic, and R. Brilliant, 1956: Gravity waves and the tropical sea breeze. Journal of Meteorology, 13, 356 – 361 pp.

Evans E. A., K. B. McEachron, 1938: The Thunderstorm. Suplemento del reporte de la Institución Smithsoniana de 1937. Smithsonian Institution, Washington D. C., Publicación 3455,177-203 pp.

Fernández, A.1979: Los sistemas convectivos en la ciudad de Cienfuegos (inédito), IV Jornada Científica INSMET, La Habana,14 pp.

Finalé, A., 2004: La fulguración en Cuba y sus particularidades en la provincia de Las Tunas. Memorias de la Convención Trópico 2004. Primer Taller de Meteorología tropical, Ciudad de La Habana, publicación electrónica.

Fujita, T., 1963: Several Local Storms. Meteorological Monograhs, 5, 22 pp.

Gamboa, F., 2004: Selección de indicadores radáricos como productores de severidad. Tesis en Opción al Titulo Académico de Master en Ciencias Meteorológicas. Instituto Superior de Ciencias Aplicadas. Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente.

Gancedo, O., 1981: Horarios de formación de las tormentas en Santa Clara y su distribución. En Boletín trimestral sección de climatología, INSMET, Santa Clara, 22 – 31 pp.

García, E., 1999: Pronóstico de la ocurrencia de tormentas eléctricas para el día siguiente en el verano de Cuba. Facultad de Física de la Universidad de La Habana. 59 pp.

Gentry, R. C. y P. L. Moore (1954): Relation of local and general wind interaction near the sea coast to time and location of air mass showers. J. Meteorol. 11, 507 – 511 pp.

Georges, J. J., 1960: Weather forecasting for aeronautics. Academics Press. New York. 673 pp.

González, C., 1999: Climatología de los frentes fríos que han afectado a Cuba desde 1916 – 1917 hasta 1996 – 1997. Rev. Cubana Met., 6, 1, 15 – 19 pp.

Gordon, A. H., 1951: Waterspouts, part I", Mar. Observ., Nro. 21.

Johns, R., and C. A. Doswell III, 1992: Severe Local Thunderstorm forecast. Wea. Forecasting., 7, 4, 588 – 612 pp.

Lecha, L., L. Paz y B. Lapinel, 1994: El clima de Cuba. Editorial Academia, La Habana, 168 pp.

Millás, C. J., 1943: La lluvia en la Habana. Folleto publicado por el Observatorio Nacional. Leído en la Academia de Ciencias en Abril de 1942. 34 pp.

OMM, 1988: Manual de Claves. Vol. I, No. 306. Secretaria de la OMM, Ginebra, Suiza 352 pp.

Orlanski, I., 1975: A rational subdivision of scales for atmospheric processes, Bull. Amer. Meteorol. Soc. 56 (5): 527 – 530 pp.

Portela, M., 1972: Curso de Meteorología tropical I. Academias de Ciencias de Cuba, Instituto de Meteorología .La Habana 79 pp.

Puente, G. y A. Regal, 2000: Caracterización espacio-temporal por radar de la Tormentas en la región oriental de Cuba. Centro Meteorológico Provincial de Santiago de Cuba, INSMET, inédito. 26 pp.

Rego, J., M. Osorio, A. M. Carrión, 1984: Las tormentas en Cuba. Instituto de Meteorología. UDICT, ISMET. 5 pp.

Rivero, R., 1981: Baja fría superior: La corriente del norte y su relación con las tormentas severas locales. Oficina Territorial en Camaguey del Instituto de Meteorología. Boletín Científico Técnico, 7, 8, 1 – 3 pp.

Sneyers, R., 1990: On the Statistical Análisis of Series of Observations. Technical Note No. 143. WMO – No 415, 192 pp.