

Aporte de la información de tiempo pasado a la contabilidad de tormentas en Cuba

Contribution of past weather information to thunderstorms account in Cuba



<http://opn.to/a/6Ize7>

Lourdes Álvarez-Escudero ^{1*}, Israel Borrajero-Montejo ¹,
Yosvany García-Santos ², Pedro Roura-Pérez ³, Yunisleydi Rodríguez-Díaz ³

¹Centro de Física de la Atmósfera, Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba.

²Centro Meteorológico Provincial de La Habana, Artemisa y Mayabeque, Cuba.

³Centro del Clima, Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba.

RESUMEN: Los mapas de niveles ceráunicos de Cuba hasta el cierre del periodo en el año 2010 fueron realizados teniendo en cuenta solo la información que aportan las observaciones de código de estado de tiempo presente, debido a los faltantes de información y los sesgos que en el cálculo de los parámetros esto puede ocasionar. El objetivo del presente trabajo es evaluar el aporte que al número de observaciones con tormenta y número promedio anual de días con tormenta hacen los registros de código de estado de tiempo pasado y comparar con los obtenidos utilizando solo el código de estado de tiempo presente. Como parte del trabajo se busca el periodo más adecuado para realizar la comparación, se homogenizan desde el punto de vista de lo completo de la información los registros de tiempo presente y pasado para 68 estaciones meteorológicas del país y se determinan parámetros estadísticos como el coeficiente de Pearson, la Prueba F de Snedecor - Fisher para comparar las varianzas, la prueba t de Student para comparar las medias y la prueba de intervalos de confianza para una regresión lineal simple. El análisis sugiere que el periodo más óptimo para el trabajo es el 2005 - 2016 y que el uso de los registros de tiempo pasado tanto para el cálculo del por ciento de ocurrencia, como del número promedio anual de días con tormenta marca una diferencia significativa con respecto a usar solo tiempo presente.

Palabras clave: tormentas, tiempo presente, tiempo pasado, nivel ceráunico.

ABSTRACT: Until the period ending in 2010, keraunic levels maps in Cuba were made taking into account only information from present weather code reports, due to the lack of information regarding past weather codes and the bias this could cause in the calculus of parameters. The aim of this work is to evaluate the contribution of past weather code reports to the number of storm observations and the yearly average of days with storms and compare these figures to those obtained with only present weather codes reports. As part of the work the most suitable period of time for the comparison is sought, present and past weather codes series are homogenized, from the point of view of information completeness, for 68 ground stations all over the Country and statistics such as the Pearson coefficient, the F test from Snedecor - Fisher to compare variances and Student T for means comparison are performed, as well as the trust interval for a simple linear regression. The analysis yields that the most optimum interval is 2005 - 2016 and that the use of past and present weather codes introduces a significant difference with regard to using only present weather codes registers in both the occurrence percent and the number of days with storms.

Key words: thunderstorms, present weather, past weather, keraunic level.

*Autor para correspondencia: Lourdes Álvarez-Escudero. E-mail: e-mail: lourdes.alvarez@insmet.cu

Recibido: 20/04/2019

Aceptado: 03/03/2020

INTRODUCCIÓN

Las tormentas eléctricas son un fenómeno natural con una alta incidencia en Cuba, donde pueden existir lugares con más de 150 días con tormenta al año como promedio. Aunque en general en el mundo existen climatologías realizadas a partir de registros dados por las estaciones meteorológicas ([OMM, 1956](#); [Dai, 2001a](#); [2001b](#)), en la actualidad se imponen las realizadas con la información de dispositivos detectores de tormentas y con datos de satélites ([Orville et al., 2002](#); [Virts et al., 2013](#); [Cecil et al., 2014](#); [Albrecht et al., 2016](#)), sin embargo Cuba no cuenta con este tipo de información, por lo que sus mapas de ocurrencia de tormentas se realizan a partir de los códigos de estado de tiempo presente y pasado reportados desde las estaciones meteorológicas de superficie. El primer trabajo completo sobre la distribución espacial del número promedio anual de días con tormenta eléctrica (nivel cerámico) en Cuba fue el editado por [Lecha y colaboradores \(1994\)](#) realizado a partir de 10 años de registros de tormentas y posteriormente se realizó la primera distribución espacial utilizando 25 años como promedio de registros de código de estado de tiempo presente reportado por las 68 estaciones meteorológicas del país ([Álvarez, 2006](#)). Después de estos trabajos primarios se han realizado dos actualizaciones del mapa de niveles cerámicos ([Álvarez et al., 2012b](#); [Álvarez-Escudero y Borrajero Montejo, 2018](#)) cambiando el periodo base y los métodos de interpolación para construir una rejilla regular de puntos de alta resolución a partir de los valores promedios en las estaciones. Todos estos trabajos se realizaron teniendo en cuenta el código de tiempo presente debido a que los registros estaban incompletos, muchas estaciones no hacían observaciones de noche y madrugada (01, 04 y 22 hora local) lo que producía 4 observaciones menos del estado de tiempo pasado al día, además de existir otros faltantes de información que podían introducir sesgo en los resultados ([Álvarez-Escudero et al., 2014a](#)). Al asumir periodos más hacia el actual se pudo llegar a un compromiso entre la información

faltante y el uso del estado del tiempo pasado para caracterizar las tormentas; así [García-Santos y Álvarez Escudero \(2018\)](#), lograron trabajando con las series de las estaciones correspondientes a las provincias de La Habana, Artemisa y Mayabeque llegaron a la conclusión que las tormentas contabilizadas a partir del código de estado de tiempo pasado, aportaban una información significativa tanto al cálculo de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta, con un aumento del 3%, como al número promedio anual de días con tormentas, con un aumento de 25 días en el área de estudio y recomendaban extender el estudio a todo el país.

El objetivo del presente trabajo es evaluar el aporte que al número de observaciones con tormenta y número promedio anual de días con tormenta hacen los registros de código de estado de tiempo pasado y comparar con los obtenidos utilizando solo el código de estado de tiempo presente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para el estudio se utilizaron los registros de código de estado de tiempo presente (WW) y código de estado de tiempo pasado (W1) de 68 estaciones meteorológicas de superficie para en el periodo 1989 -2016 (28 años) o intervalos dentro de este periodo. Los datos fueron tomados de la Base de Datos Nueva_THOR ([Álvarez et al., 2012b](#)) a la que se le agregaron los registros correspondientes al periodo 2011 - 2016, obtenidos de la Base de Datos del Centro del Clima del INSMET, datos estos que fueron sometidos a varias validaciones y adaptaciones con el objetivo de lograr uniformidad en los registros de la base. Aunque algunas estaciones tienen registros desde 1970 la información es demasiado incompleta y sólo a partir de 1989 empezaron a regularizarse las observaciones ([Álvarez-Escudero et al., 2014a](#)). En la [figura 1](#) se muestra cuán completa es la información para todas las estaciones en por ciento de las que deberían haberse hecho (Información Útil IU) para las observaciones de tiempo presente y tiempo pasado. La figura mostró que los

porcientos de información siempre están por encima de 90 para ambas variables pero que para el periodo 2005 - 2016 los por cientos están por encima de 98 y son casi iguales para las dos variables por lo que aquí se utilizará el periodo 2005 - 2016 para algunos análisis.

Para evaluar la calidad de la información por estaciones se usó la metodología desarrollada por [Álvarez y colaboradores \(2009\)](#) y adaptada con pequeñas variaciones según lo planteado por [Álvarez y colaboradores \(2012a\)](#), basada en la determinación del largo de la serie (ILargo), el por ciento de información útil (IU), el sesgo mensual (Sm) y el sesgo horario (Sh) y la calidad general de la serie (ICALI) se define por promediación de los 4 índices anteriormente mencionados. Los índices

se califican como Excelente (E), Muy Bueno (MB), Bueno (B), Regular (R) y Malo (M).

El análisis de los índices de calidad de las series por estaciones se resumen en la [Tabla 1](#) y la posición de las estaciones meteorológicas se refleja en la [figura 2](#).

Aunque el índice ICALI muestra calificadores “E” o “MB” para todas las estaciones, los índices individuales fundamentalmente el asociado con el sesgo horario tomaron valores de “R” o “M” debido a la ausencia de observaciones de noche y madrugada y esto también influyó en el calificador de información útil (IU). Debido a esto se hicieron análisis del comportamiento de las tormentas para el periodo 2005 - 2016 donde las series eran más completas y sin sesgos.

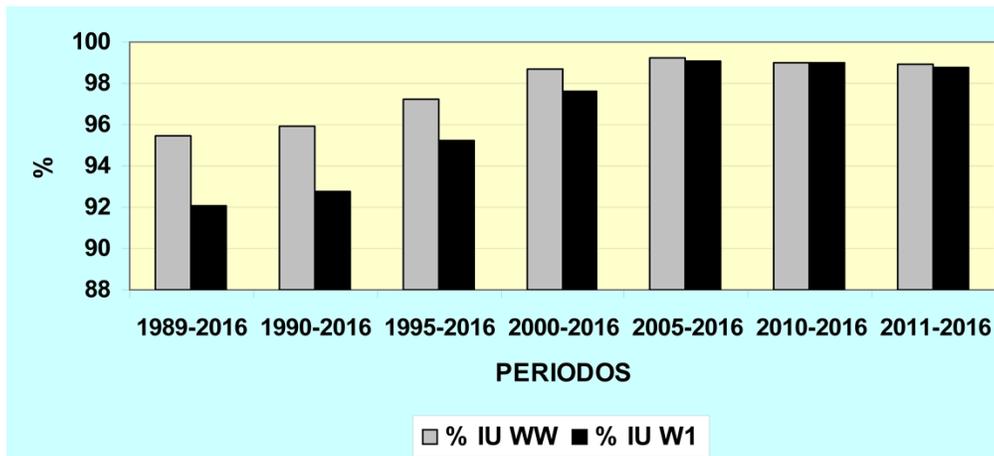


Figura 1. Por cientos de información útil (IU) para diferentes periodos de las observaciones de código de estado de tiempo presente (WW) y código de estado de tiempo pasado (W1) de todas las estaciones meteorológicas de superficie de Cuba.



Figura 2. Localización de las estaciones meteorológicas de superficie utilizadas en el estudio.

Tabla 1. Resumen de los índices de calidad para los registros de código de estado de tiempo presente (WW) y pasado (W1) para cada una de las estaciones meteorológicas en estudio.

| No. Estación | WW | | | | | W1 | | | | |
|--------------|--------|----|----|----|-------|--------|----|----|----|-------|
| | Ilargo | IU | Sm | Sh | ICALI | Ilargo | IU | Sm | Sh | ICALI |
| 308 | E | E | MB | E | E | E | E | MB | E | E |
| 309 | E | MB | MB | R | MB | E | B | MB | R | MB |
| 310 | E | E | E | E | E | E | E | E | E | E |
| 312 | E | E | E | E | E | E | E | E | E | E |
| 313 | E | E | E | E | E | E | E | E | E | E |
| 314 | E | E | E | E | E | E | E | E | E | E |
| 315 | E | E | E | E | E | E | E | E | E | E |
| 316 | E | E | E | E | E | E | E | E | E | E |
| 317 | E | E | MB | E | E | E | E | MB | E | E |
| 318 | E | E | E | E | E | E | E | E | E | E |
| 319 | E | B | E | M | MB | E | B | E | M | MB |
| 320 | E | E | E | MB | E | E | E | E | E | E |
| 321 | E | E | E | E | E | E | E | E | E | E |
| 322 | E | B | MB | R | MB | E | R | MB | MB | MB |
| 323 | E | B | E | M | MB | E | B | E | M | MB |
| 324 | E | E | E | MB | E | E | E | E | MB | E |
| 325 | E | E | E | E | E | E | E | E | E | E |
| 326 | E | E | E | E | E | E | E | E | E | E |
| 327 | E | E | E | E | E | E | E | E | E | E |
| 328 | E | E | MB | B | MB | E | E | MB | B | MB |
| 329 | E | E | E | E | E | E | E | E | E | E |
| 330 | E | E | E | E | E | E | E | E | E | E |
| 331 | E | E | E | E | E | E | E | E | E | E |
| 332 | E | E | E | E | E | E | E | MB | E | E |
| 333 | E | E | E | E | E | E | E | MB | E | E |
| 334 | E | E | E | E | E | E | E | E | E | E |
| 335 | E | E | E | B | E | E | MB | MB | B | MB |
| 337 | E | E | E | B | E | E | B | MB | E | MB |
| 338 | E | E | E | E | E | E | E | E | E | E |
| 339 | E | E | MB | E | E | E | MB | MB | MB | MB |
| 340 | E | E | MB | B | MB | E | MB | E | MB | E |
| 341 | E | E | E | MB | E | E | R | MB | M | B |
| 342 | E | E | E | E | E | E | E | E | E | E |
| 343 | E | E | E | E | E | E | E | E | E | E |
| 344 | E | E | E | MB | E | E | E | E | MB | E |
| 345 | E | E | E | E | E | E | E | E | E | E |
| 346 | E | E | MB | E | E | E | B | E | M | MB |
| 347 | E | E | MB | E | E | E | B | MB | M | B |
| 348 | E | E | E | E | E | E | MB | E | E | E |
| 349 | E | E | MB | E | E | E | M | E | E | MB |
| 350 | E | E | E | MB | E | E | E | E | MB | E |
| 351 | E | E | E | B | E | E | MB | MB | B | MB |
| 352 | E | MB | E | R | MB | E | MB | E | R | MB |
| 353 | E | E | E | MB | E | E | E | E | MB | E |
| 354 | E | MB | E | R | MB | E | B | E | R | MB |
| 355 | E | E | E | E | E | E | E | E | E | E |
| 356 | E | E | E | E | E | E | E | E | E | E |
| 357 | E | E | MB | MB | E | E | E | MB | MB | E |
| 358 | E | E | E | E | E | E | E | E | E | E |
| 359 | E | E | E | MB | E | E | E | MB | E | E |
| 360 | E | E | E | E | E | E | E | E | E | E |
| 361 | E | B | E | M | MB | E | B | E | M | MB |
| 362 | E | B | E | M | MB | E | B | MB | M | B |
| 363 | E | E | E | E | E | E | E | E | E | E |

| No. Estación | WW | | | | | W1 | | | | |
|--------------|--------|----|----|----|-------|--------|----|----|----|-------|
| | Ilargo | IU | Sm | Sh | ICALI | Ilargo | IU | Sm | Sh | ICALI |
| 364 | E | E | E | E | E | E | E | E | E | E |
| 365 | E | E | E | E | E | E | E | E | E | E |
| 366 | E | E | E | E | E | E | E | E | E | E |
| 368 | E | E | E | E | E | E | E | E | E | E |
| 369 | E | E | E | E | E | E | E | E | E | E |
| 370 | E | E | E | MB | E | E | E | E | MB | E |
| 371 | E | MB | E | R | MB | E | MB | MB | B | MB |
| 372 | E | E | E | E | E | E | E | E | E | E |
| 373 | E | B | MB | R | MB | E | B | MB | B | MB |
| 374 | E | E | MB | MB | E | E | E | MB | E | E |
| 375 | E | B | E | M | MB | E | B | E | M | MB |
| 376 | E | MB | E | B | MB | E | MB | E | B | MB |
| 377 | E | E | MB | E | E | E | E | E | E | E |
| 378 | E | E | MB | E | E | E | E | E | E | E |

Para la identificación del fenómeno tormenta eléctrica a partir del tiempo presente según la Tabla 4677, sobre “Tiempo presente, comunicado desde una estación meteorológica dotada de personal”, del Manual de Claves ([WMO, 1988](#)) se seleccionaron los siguientes códigos: 17, 29, 91, 92, 95, 96, 97 y 99 y se refieren a la tormenta eléctrica con o sin lluvia, de cualquier intensidad a la hora de la observación o con anterioridad, mientras que para la identificación del fenómeno tormenta eléctrica a partir del código de estado de tiempo pasado se tomó según la Tabla correspondiente del Manual de Claves ([WMO, 1988](#)), donde solo se tendrá en cuenta el código “9”, aunque este no brinda mayores especificidades.

Las variables para trabajar fueron:

- Por ciento de ocurrencia de observaciones con tormentas: obtenido al dividir el número de casos de códigos relativos a tormentas entre el número de observaciones válidas o realizadas y expresarlo en por ciento.
- Número de días con tormenta: Se contabiliza día con tormenta cuando al menos hubo una observación con tormenta en el día. La variable más común en estudios anteriores es el número promedio anual de días con tormenta o nivel cerámico.

Para el cálculo de los valores medios se tuvieron en cuenta dos criterios para homogeneizar la serie, primero que la información útil estuviera por encima del 90% para el año y segundo que los

valores de frecuencia de ocurrencia de observaciones o días con tormenta en el año estuvieran por debajo de la media más dos desviaciones estándar para el periodo de estudio. En caso de no cumplirse estas condiciones los valores anuales eran sustituidos por el promedio de los años aledaños y si había varios años seguidos, por el promedio de todos los años de la serie que cumplieran las condiciones exigidas. Esto permitió paliar la dificultad de años con déficit de observaciones.

Para evaluar la influencia que los registros de tiempo pasado en el cálculo de las magnitudes asociadas a tormentas como la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta o el número promedio anual de días con tormenta se utilizaron la Prueba F de Snedecor - Fisher para comparar las varianzas de las dos muestras y para comparar las medias la prueba t de Student para dos muestras suponiendo varianzas desiguales o iguales según lo obtenido de la prueba F ([Jurado, 2008](#)). Para hallar la representatividad cuantitativa del código, se aplicó la prueba de intervalos de confianza para una regresión lineal simple ([Ostle, 1980](#)). En cada caso se evaluaron parámetros como el coeficiente de correlación de Pearson y el error cuadrático medio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se ha constatado en estudios anteriores las series de marcha interanual de por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta y

número promedio anual de días con tormenta presenta en más del 50% de las estaciones tendencias crecientes altamente significativas (Álvarez-Escudero et al., 2014b). Esta conclusión hace que escoger un periodo de trabajo, debe ser materia de examen y como se constata del análisis de la calidad de la información visto anteriormente, el periodo 2005 - 2016 tenía series por estaciones más completas y sin sesgos. Para corroborar cuánta diferencia hay en el uso de diferentes periodos se comparó el número promedio anual de días con tormenta, que es la variable climatológica clásica para describir el fenómeno, usando como periodo de promediación 1989 - 2016 y 2005 - 2016 y usando para contabilizar tormentas tanto los registros de tiempo presente como el tiempo pasado y las series por estaciones fueron debidamente homogeneizadas con respecto a los faltantes de información siguiendo la metodología expuesta el epígrafe de materiales y métodos.

La comparación entre periodos se refleja en la [figura 3](#) y los parámetros estadísticos asociados al análisis se muestran en la [Tabla 2](#).

Según los valores de la [Tabla 2](#) la correlación entre las magnitudes en comparación es alta, de 0.90. Dentro del intervalo de confianza para la regresión lineal simple no queda ni la pendiente 1, ni el intercepto 0 por lo que no puede asumirse la recta de regresión como $X=Y$. La Prueba F de Snedecor - Fisher muestra una "F" menor que el

valor crítico por lo que se asume que las varianzas no presentan diferencias significativas y la Prueba t de Student para dos muestras suponiendo varianzas iguales muestra un valor absoluto de "t" menor que el valor crítico para una y dos colas, por lo que se acepta la hipótesis nula de esta prueba de que las medias no son significativamente diferentes. El análisis muestra entonces que las muestras de los dos periodos son bastante similares y de una misma población.

Los periodos que analizados anteriormente no son independientes pues uno es un subintervalo del otro por lo que para hacer un examen más profundo de la diferencia entre periodos, se comprobará aquí las diferencias y semejanzas comparando entonces los periodos 1989 - 2004 y 2005 - 2016 cuyos parámetros estadísticos se resumen en la [Tabla 3](#).

La correlación entre las magnitudes en comparación es alta pero menor que la analizada para los periodos anteriores con 0.77 del coeficiente de Pearson. Dentro del intervalo de confianza para la regresión lineal simple no queda ni la pendiente 1, ni el intercepto 0 por lo que no puede asumirse la recta de regresión como $X=Y$. La Prueba F de Snedecor - Fisher muestra una "F" mayor que el valor crítico por lo que se asume que las varianzas son significativamente diferentes y la Prueba t de Student para dos muestras suponiendo varianzas desiguales muestra un valor absoluto de "t" menor que el valor crítico para una y dos colas,

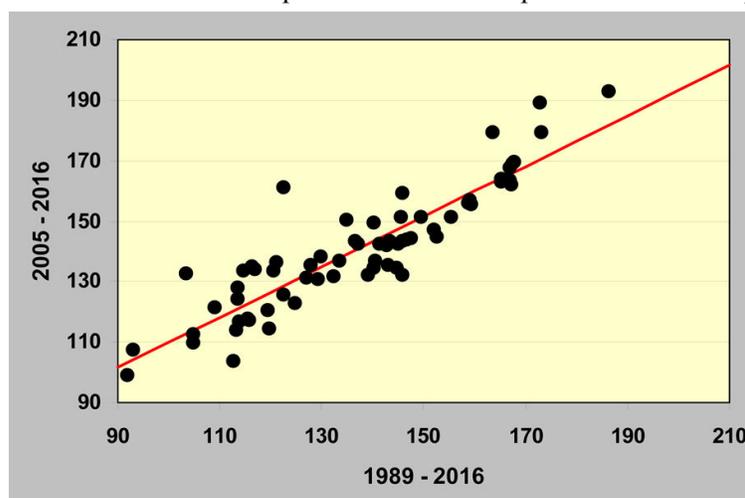


Figura 3. Comparación entre el número promedio anual de días con tormenta calculados para los periodos 1989 - 2016 y 2005 - 2016 para todas las estaciones en estudio.

Tabla 2. Algunos parámetros estadísticos asociados a la relación del número promedio anual de días con tormentas para el periodo 1989 - 2016 y 2005 - 2016. Aquí “F” se refiere a la Prueba F de Snedecor - Fisher y “t” a la prueba t de Student.

| Ajuste lineal | |
|--|-------|
| Pendiente | 0.83 |
| Intercepto | 26.6 |
| Coefficiente de correlación de Pearson | 0.90 |
| Error cuadrático medio | 8.70 |
| Intervalo de confianza para una regresión lineal simple (X = Y) | |
| Pendiente + intervalo de confianza | 0.85 |
| Pendiente - intervalo de confianza | 0.81 |
| Intercepto + intervalo de confianza | 30.55 |
| Intercepto - intervalo de confianza | 22.65 |
| Prueba F para varianzas de dos muestras | |
| F | 1.17 |
| Valor crítico para F (una cola) | 1.49 |
| Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales | |
| Estadístico t | -1.02 |
| Valor crítico de t (una cola) | 1.66 |
| Valor crítico de t (dos colas) | 1.98 |

Tabla 3. Algunos parámetros estadísticos asociados a la relación del número promedio anual de días con tormentas para el periodo 1989 - 2004 y 2005 - 2016. Aquí “F” se refiere a la Prueba F de Snedecor - Fisher y “t” a la prueba t de Student.

| Ajuste lineal | |
|--|-------|
| Pendiente | 0.62 |
| Intercepto | 57.25 |
| Coefficiente de correlación de Pearson | 0.77 |
| Error cuadrático medio | 12.89 |
| Intervalo de confianza para una regresión lineal simple (X = Y) | |
| Pendiente + intervalo de confianza | 0.65 |
| Pendiente - intervalo de confianza | 0.59 |
| Intercepto + intervalo de confianza | 63.12 |
| Intercepto - intervalo de confianza | 51.39 |
| Prueba F para varianzas de dos muestras | |
| F | 1.54 |
| Valor crítico para F (una cola) | 1.50 |
| Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales | |
| Estadístico t | -1.57 |
| Valor crítico de t (una cola) | 1.66 |
| Valor crítico de t (dos colas) | 1.98 |

por lo que se acepta la hipótesis nula de esta prueba de que las medias no son significativamente diferentes. Este estudio visualiza que las muestras de ambos periodos no pertenecen a la misma población ya que aunque tienen medias significativamente iguales, sus varianzas son desiguales.

Si se estudia la marcha interanual, como ejemplo, por estación de aquellas con mayores diferencias como son Camilo Cienfuegos (347) en

la provincia de Ciego de Ávila, Punta del Este (324) en el Municipio Especial Isla de la Juventud y Paso Real de San Diego (317) en Pinar del Río se constata lo que refleja la [figura 4](#), que muestra una en media valores superiores en un periodo más cercano a la actualidad que en los primeros años de la serie, lo que apoya el crecimiento interanual de los días con tormenta para muchas estaciones visto por [Álvarez-Escudero y colaboradores \(2014b\)](#).

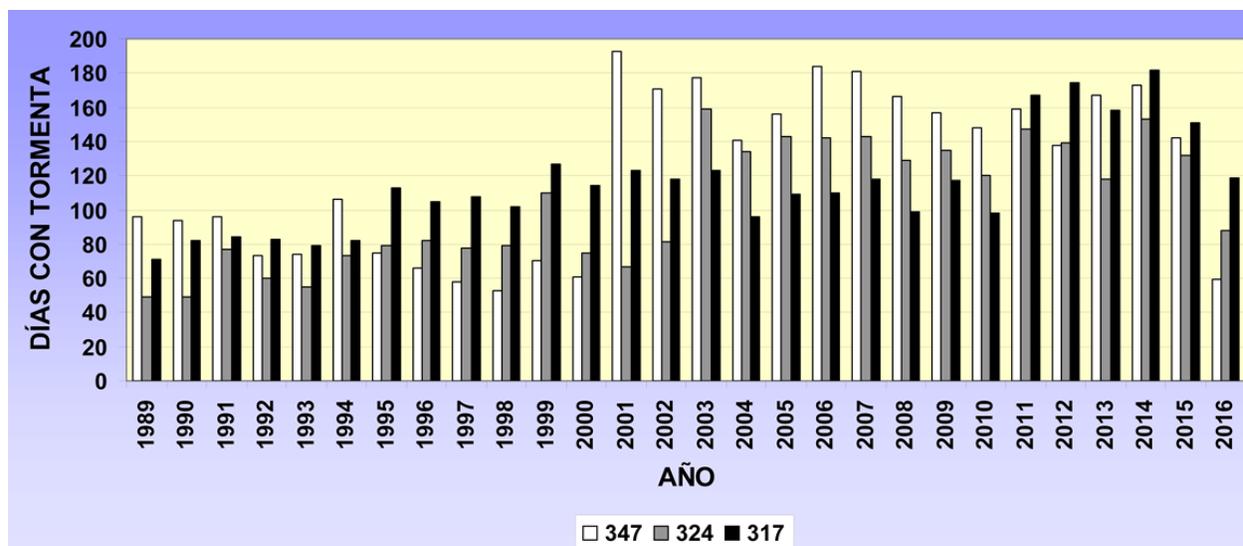


Figura 4. Marcha interanual del número promedio de días con tormenta para las estaciones Camilo Cienfuegos (347), Punta del Este (324) y Paso Real de San Diego (317) en el periodo 1989 - 2016.

Debido entonces a que dentro del periodo 1989 - 2016 hay muestras que no son de la misma población, que se observa en muchas series un crecimiento de las tormentas de año en año, que hacia el final de la serie los datos son más completos y con menos sesgo y que el largo de la serie es superior a 10 años se asume como periodo de estudio para la significación del tiempo pasado y estudios posteriores de distribución espacial el periodo 2005 - 2016.

Si se calcula el por ciento de ocurrencia de tormentas teniendo solo en cuenta los registros de código de estado de tiempo presente y los calculados teniendo en cuenta el tiempo presente y el pasado para las 68 estaciones meteorológicas en estudio en el periodo recomendado como más completo 2005 - 2016 tenemos lo que se muestra en la [figura 5](#). Algunos parámetros estadísticos asociados a esta representación y a la recta de mejor ajuste se resumen en la [Tabla 4](#).

Lo visualizado en la [figura 5](#) y lo reflejado en la [Tabla 4](#) arrojan que la correlación entre las magnitudes en comparación no es alta, aunque mayor que 0.5 y el error relativamente bajo para valores que oscilan entre 2 y 14%. Dentro del intervalo de confianza para la regresión lineal simple no queda ni la pendiente 1, ni el intercepto 0 por lo que no puede asumirse la recta de regresión

como $X=Y$. La Prueba F de Snedecor - Fisher muestra una "F" menor que el valor crítico por lo que se asume que las varianzas no presentan diferencias significativas, pero la Prueba t de Student para dos muestras suponiendo varianzas iguales arroja un valor absoluto de "t" mayor que el valor crítico para una y dos colas, por lo que se rechaza la hipótesis nula de esta prueba de que las medias no son significativamente diferentes. El análisis muestra entonces que los registros de tiempo pasado introducen una información significativa en el conteo de tormentas de la muestra.

Si se calcula el cociente entre el por ciento de ocurrencia calculado a partir de los registros de tiempo presente y pasado y el solo calculado con tiempo presente para cada estación se obtiene relación 1 solo para 10 estaciones, 50 estaciones doblan el número de observaciones y 8 estaciones tienen relación de 3 ó 4. La relación 2 puede ser consecuencia de que el tiempo pasado reporta lo ocurrido en dos horas, mientras el tiempo presente lo ocurrido en 1 hora, por lo que el primero tiene mayor período donde detectar tormentas. Esta disparidad puede resolverse cuando se contabilice el número promedio de días con tormenta aunque el por ciento de ocurrencia expresa una frecuencia de ocurrencia que puede considerarse probabilidad

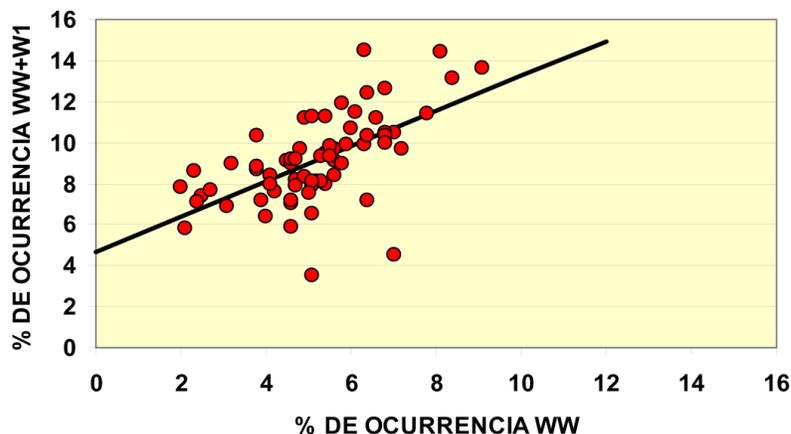


Figura 5. Comparación entre el por ciento de ocurrencia de tormentas calculados a partir de los registros de código de estado de tiempo presente (WW) y a partir del código de estado de tiempo presente y pasado (WW+W1) para las estaciones en estudio en el periodo 2005 - 2016.

Tabla 4. Algunos parámetros estadísticos asociados a la relación del por ciento de ocurrencia de tormentas calculadas a partir de los registros de estado del tiempo presente y a partir de tiempo presente y pasado para las estaciones en estudio en el periodo 2005 - 2016. Aquí “F” se refiere a la Prueba F de Snedecor - Fisher y “t” a la prueba t de Student.

| Ajuste lineal | |
|--|-------|
| Pendiente | 0.86 |
| Intercepto | 4.69 |
| Coefficiente de correlación de Pearson | 0.60 |
| Error cuadrático medio | 1.72 |
| Intervalo de confianza para una regresión lineal simple (X = Y) | |
| Pendiente + intervalo de confianza | 0.96 |
| Pendiente - intervalo de confianza | 0.75 |
| Intercepto + intervalo de confianza | 5.47 |
| Intercepto - intervalo de confianza | 3.91 |
| Prueba F para varianzas de dos muestras | |
| F | 0.49 |
| Valor crítico para F (una cola) | 0.68 |
| Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales | |
| Estadístico t | -12.5 |
| Valor crítico de t (una cola) | 1.66 |
| Valor crítico de t (dos colas) | 1.98 |

y considerarse en los estudios de peligro. La distribución espacial del cociente anteriormente expuesto se representa en la [figura 6](#), donde se observa de manera general que las relaciones 3 ó 4 son más características de la costa norte y de accidentes costeros como cabos o puntas, así en este grupo está Varadero (328), Nuevitás (353), Cabo Lucrecia (365), Punta de Maisí (369) y Punta del Este (324) en la Isla de la Juventud y el cociente 1 es en general más representativo de la costa sur y de zonas montañosas, aunque la

estación de Santiago de las Vegas (373) en el territorio de La Habana cumple esta condición que pudiera estar relacionado con faltantes de información hacia el final de la serie debido al cierre de la estación por problemas constructivos.

De forma similar a lo realizado para el por ciento de ocurrencia aquí se comparan los días con tormenta promedio calculados a partir de los registros de tiempo presente y tiempo pasado contra los calculados solamente con la información de tiempo presente (ver [figura 7](#)). Los parámetros estadísticos en análisis se resumen en la [Tabla 5](#).

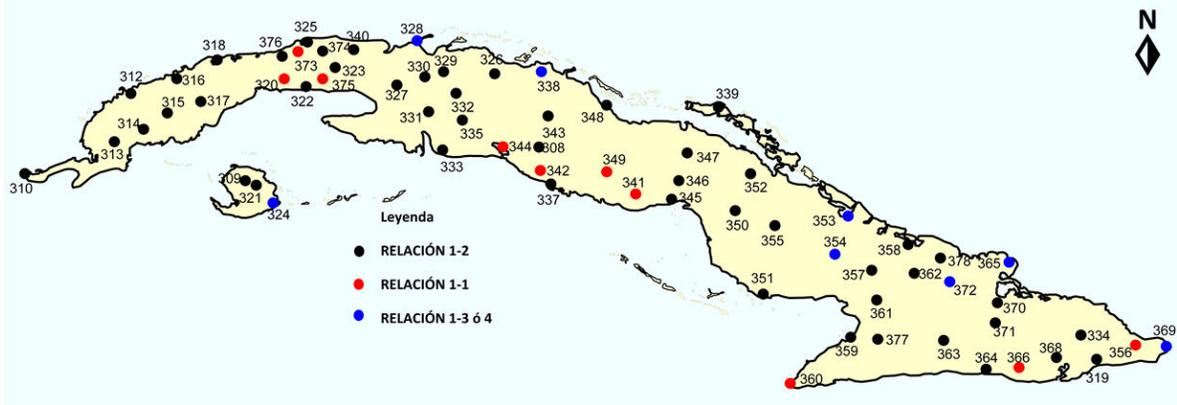


Figura 6. Distribución espacial del cociente entre el por ciento de ocurrencia de observaciones con tormenta calculado a partir de los registros de tiempo presente y pasado y el solo calculado con tiempo presente para cada estación en estudio en el periodo 2005 - 2016.

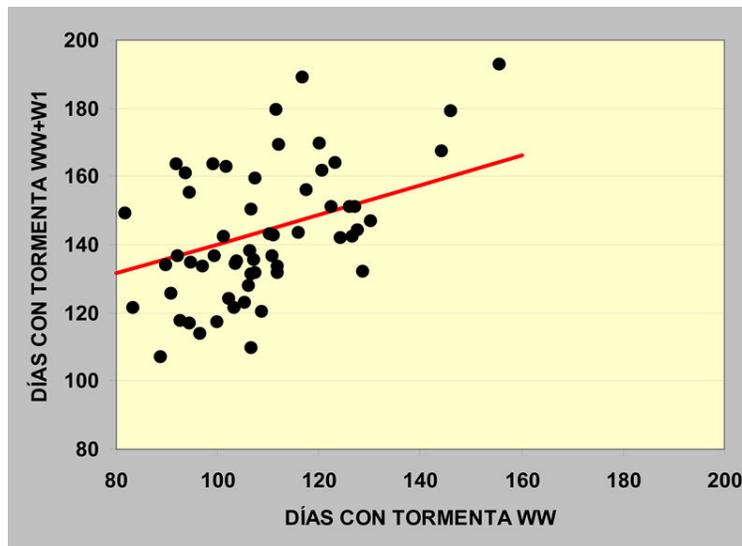


Figura 7. Comparación entre el número promedio anual de días con tormenta calculados a partir de los registros de código de estado de tiempo presente (WW) y a partir del código de estado de tiempo presente y pasado (WW+W1) para las estaciones en estudio en el periodo 2005 - 2016.

La correlación entre las magnitudes en comparación es baja, ya que alcanza solamente el valor de 0.5 para el coeficiente de Pearson y el error puede considerarse bajo para magnitudes que oscilan entre 45 y 190 días. Dentro del intervalo de confianza para la regresión lineal simple no queda ni la pendiente 1, ni el intercepto 0 por lo que no puede asumirse la recta de regresión como $X=Y$. La Prueba F de Snedecor - Fisher muestra una "F" menor que el valor crítico por lo que se asume que las varianzas no son significativamente diferentes, pero la Prueba t de Student para dos muestras suponiendo varianzas iguales arroja un valor

absoluto de "t" mayor que el valor crítico para una y dos colas, por lo que se rechaza la hipótesis nula de esta prueba y se considera que las medias son significativamente diferentes. Dado esto puede deducirse que los registros de código de estado de tiempo pasado aportan una información significativa al cálculo de los niveles cerámicos.

El cociente entre el número promedio anual de días con tormenta calculado con la información de tiempo pasado y presente y solamente con la de tiempo presente es para 49 de las 68 estaciones 1, para 17 estaciones 2 y solo para dos estaciones Varadero (328) y Cabo Lucrecia (365) es 3. La

distribución espacial de este cociente se refleja en la [figura 8](#) y se observa un cierto agrupamiento del cociente 2 en al sur y oeste de la provincia Pinar del Río, y al centro y norte de Ciego de Ávila, Camaguey y Holguín. En promedio el cálculo utilizando los registros de los dos códigos aumenta el nivel cerámico en 39 días con máximo de 90 días para la estación de Cabo Lucrecia (365) y mínimo de 3 días para Cienfuegos (344).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El periodo 2005 - 2016 presenta información más completa y sin sesgos con respecto a los registros de tiempo presente y tiempo pasado para las estaciones de Cuba y es suficiente para representar el fenómeno tormenta.

Tabla 5. Algunos parámetros estadísticos asociados a la relación del número promedio anual de días con tormenta calculadas a partir de los registros de estado del tiempo presente y a partir de tiempo presente y pasado para las estaciones en estudio en el periodo 2005 - 2016. Aquí “F” se refiere a la Prueba F de Snedecor - Fisher y “t” a la prueba t de Student.

| Ajuste lineal | |
|---|--------|
| Pendiente | 0.43 |
| Intercepto | 36.95 |
| Coefficiente de correlación de Pearson | 0.50 |
| Error cuadrático medio | 17.53 |
| Intervalo de confianza para una regresión lineal simple (X = Y) | |
| Pendiente + intervalo de confianza | 0.49 |
| Pendiente - intervalo de confianza | 0.38 |
| Intercepto + intervalo de confianza | 104.94 |
| Intercepto - intervalo de confianza | 89.00 |
| Prueba F para varianzas de dos muestras | |
| F | 1.33 |
| Valor crítico para F (una cola) | 1.50 |
| Prueba t para dos muestras suponiendo varianzas iguales | |
| Estadístico t | -10.59 |
| Valor crítico de t (una cola) | 1.66 |
| Valor crítico de t (dos colas) | 1.98 |

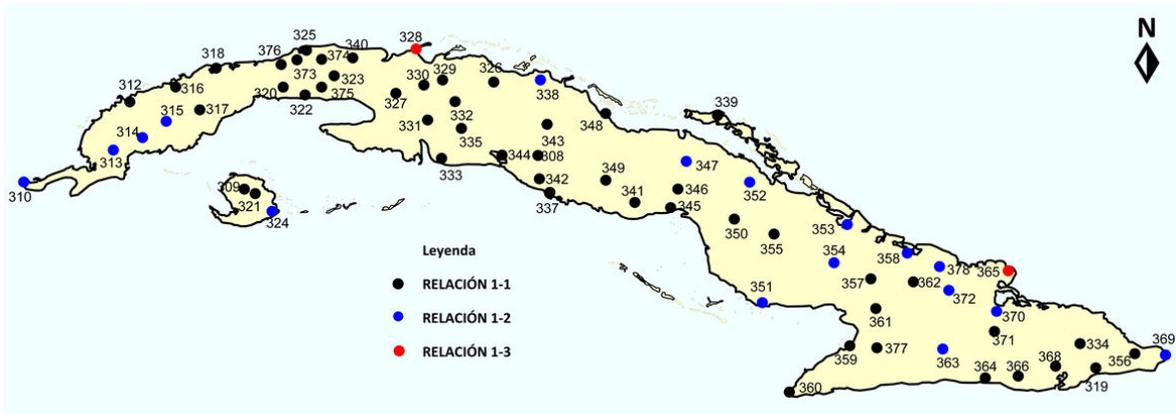


Figura 8. Distribución espacial del cociente entre el número promedio anual de días con tormenta calculado a partir de los registros de tiempo presente y pasado y el solo calculado con tiempo presente para cada estación en estudio en el periodo 2005 - 2016.

La determinación del por ciento de ocurrencia de observaciones con tormentas varía significativamente cuando se tienen en cuenta los registros de tiempo pasado junto al tiempo presente, aumentando en promedio un 4% de las observaciones.

La determinación del número promedio anual de días con tormentas varía significativamente cuando se tienen en cuenta los registros de tiempo pasado junto al tiempo presente, aumentando en promedio 39 días.

Se recomienda utilizar el periodo 2005 -2016 para estudios de marcha diaria y distribución espacial.

Se recomienda el uso de los registros de código de estado de tiempo presente y pasado para la determinación de variables asociadas a tormentas.

REFERENCIAS

- Albrecht, R.; Goodman, S.; Buechler, D. Blakeslee, R. & Christian, H. 2016 “Where are the lightning hotspots on Earth?”. *BAMS*, 97(11):2051-2068, DOI: 10.1175/BAMS-D-14-00193.1
- 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, Instituto de Meteorología, 149 p. Available: UDICT Instituto de Meteorología <<http://www.insmet.cu>>.
- Álvarez, L.; Borrajero, I.; Álvarez, R. & Rojas, Y. 2009. “Estudio preliminar del fenómeno niebla a partir del registro de fenómenos y su relación con la variable código de estado del tiempo presente”. In: *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. 1456 - 1466.
- Álvarez, L, Borrajero, I, Álvarez, R, Aenlle, L, Rivero, I, Iraola, C, Rojas, Y & Hernández, M 2012a, ‘Estudio de la marcha interanual de la frecuencia de ocurrencia de observaciones con tormenta para el territorio cubano’, *Revista de Climatología*, vol. 12, p 1-21, <<http://webs.ono.com/reclim/reclim12a.pdf>>.
- Álvarez, L.; Borrajero, I.; Álvarez, R.; Aenlle, L. & Bárcenas, M. 2012b. “Actualización de la distribución espacial de las tormentas eléctricas en Cuba”. *Revista Cubana de Meteorología*, 18(1): 83-99, ISSN: 0864-151X,
- Álvarez-Escudero, L.; Borrajero, I. & Barcenás, M. 2014a. “Análisis de la calidad de series largas de registros de código de estado del tiempo presente para las estaciones de Cuba”. *Revista Cubana de Meteorología*, 20(1): 3 - 9, ISSN: 0864-151X, <http://www.insmet.cu/contenidos/biblioteca/revistas/2014/n1/1.pdf>.
- Álvarez-Escudero, L.; Borrajero, I. & Barcenás, M. 2014b. “Análisis de la marcha interanual de fenómenos determinados por el código de tiempo presente para las estaciones de Cuba”. *Revista Cubana de Meteorología*, 20(2): 56 - 69, ISSN: 0864-151X, <http://www.insmet.cu/contenidos/biblioteca/revistas/2014/n2/6.pdf>.
- Álvarez-Escudero, L. & Borrajero-Montejo, I., 2018, “Distribución espacial de fenómenos meteorológicos en Cuba clasificados a partir del tiempo presente II”, *Revista Cubana de Meteorología*, 24(1):111-127, ISSN: 0864-151X, <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/263/303>.
- Cecil, D.J.; Buechler, D.E. & Blakeslee, R.J. 2014. “Gridded lightning climatology from TRMM-LIS and OTD: Dataset description”. *Atmospheric Research*, 135-136: 404-414, DOI: 10.1016/j.atmosres.2012.06.028.
- 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.
- García-Santos, Y. & Álvarez-Escudero, L., 2018. “Significación del tiempo pasado en la determinación de la ocurrencia de las tormentas eléctricas”. *Revista Cubana de Meteorología*,

- 24(2):216-225, ISSN: 0864-151X, <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/427>.
- Jurado, J. M. 2008. Aplicación de Microsoft Excel a la Química Analítica: validación de métodos analíticos. España: Universidad de Sevilla-Departamento de Química Analítica, 47 p., Available: <Available: <http://personal.us.es/jmjurado/docs/AQAEXCEL.pdf> >, [Consulted: June 4, 2018].
- Lecha, L. B.; Paz, L. R. & Lapinel, B. E. (eds.). 1994. El Clima de Cuba. La Habana: Editorial Academia, 186 p, ISBN 959-02-0006-0.
- OMM (Organización Meteorológica Mundial). 1956. World distribution thunderstorm days. WMO No. 21, TP 21, 71 pp.
- Orville, R. E.; Huffines, G. R.; Burrows, W. R.; Holle, R. L. & Cummins K. L. 2002. "The North American Lightning Detection Network (NALDN)-First Results: 1998-2000". Monthly Weather Review, 130: 2098- 2109.
- Ostle, B. 1981. Estadística Aplicada. La Habana: Editorial Científico - Técnica, 629 p, ISBN 84-486-0150-6.
- Virts, K. S.; Wallace, J. M.; Hutchins, M. L. & Holzworth, R. H. 2013. "Highlights of a New Ground-Based , Hourly Global Lightning Climatology". BAMS, 15: 1381 -1391, DOI: 10.1175/BAMS-D-12-00082.1.
- WMO. 1988. Manual on codes. WMO - No. 306, Volume 1, Seccion D.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

Los autores de este trabajo declaran presentar una participación igualitaria en la concepción, ejecución y escritura de la investigación.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)