

Indicadores de extremos climáticos en Sagua la Grande, Villa Clara, Cuba

Meylin Otero Martín¹, Amaury Machado Montes de Oca¹, Sinaí Barcia Sardiñas² Julia Socarrás Padrón¹

¹Centro Meteorológico Provincia del Villa Clara, Cuba.

²Centro Meteorológico Provincial de Cienfuegos, Cuba.

Autor para correspondencia: Meylin Otero Martín, meylinotero@gmail.com

(Recibido: 26-04-2021. Publicado: 15-06-2021.)

Resumen

El objetivo del presente trabajo es estudiar el comportamiento de los indicadores de extremos climáticos en Sagua la Grande, Villa Clara. Los datos empleados fueron las series de temperatura máxima (T_x), temperatura mínima (T_n) y precipitación (RR) en el periodo 1977-2017. Los mismos forman parte del archivo de datos del Centro Meteorológico Provincial de Villa Clara (CMP.VC); así como las series diarias de precipitación de la red pluviométrica de la Empresa de Aprovechamiento Hidráulico de Villa Clara (EAH-VC). Se utilizó el software Rclimindex-extraQc y la herramienta RH-Test. Se calcularon los puntos de cambios y las tendencias de las temperaturas máximas, mínimas y de la amplitud de la oscilación térmica, según la metodología que se estable por la Organización Mundial de la Meteorología para estudios de Cambio Climático. Los resultados más sobresalientes muestran un incremento significativo en las temperaturas mínimas extremas, así como el número de días calientes y la tendencia creciente de las noches tropicales. Las lluvias no presentaron tendencias significativas, aunque se evidencia un aumento de la precipitación total anual a consecuencias de los días muy húmedos, los eventos de grandes precipitaciones y varios días con lluvia.

Palabras clave: Índices climáticos, indicadores climáticos, Cuba.

Abstract

The objective of this work is to study the behavior of the indicators of climatic extremes in Sagua la Grande, Villa Clara. The data used were the series of maximum temperature (T_x), minimum temperature (T_n) and precipitation (RR) in the period 1977-2017. They are part of the data file of the Provincial Meteorological Center of Villa Clara (CMP.VC); as well as the daily precipitation series of the rainwater network of the Villa Clara Hydraulic Utilization Company (EAH-VC). The Rclimindex-extraQc software and the RH-Test tool were used. The change points and the trends of the maximum, minimum temperatures and the amplitude of the thermal oscillation were calculated, according to the methodology established by the World Meteorological Organization for Climate Change studies. The most outstanding results show a significant increase in extreme minimum temperatures, as well as the number of hot days and the growing

trend of tropical nights. The rains did not show significant trends, although there is evidence of an increase in total annual rainfall due to the very wet days, the events of heavy rainfall and several days with rain.

Keywords: *Climate indices, climate indicators, Cuba.*

1. Introducción

La Organización Meteorológica Mundial (WMO, 2019) confirma que el año 2019 fue el más cálido solo superado por el 2016. Vale destacar, que el 2017 constituyó el más caliente sin el efecto del evento ENOS. El estudio de los eventos extremos es de suma importancia en tiempos donde la variabilidad climática y el cambio climático muestran evidencias contundentes cada año. El Equipo de Expertos sobre Detección e Índices del Cambio Climático (ETCCDI, por sus siglas en inglés) formuló un total de 27 índices centrales de extremos climáticos calculados a partir de datos diarios de temperatura y precipitación (CRS-SAS, 2017) con el objetivo de analizar el comportamiento de los extremos climáticos de forma homogénea en todos los países. Utilizando estas metodologías se han realizado numerosas investigaciones en el área de Centroamérica, América Latina y el Caribe. Campbell et al. (2011) publican un artículo referido al clima futuro en las regiones del Caribe. Además, Álvarez (2016) realiza una propuesta de métodos de evaluación ante los impactos del cambio climático en México, Centroamérica y el Caribe. En América Latina resaltan los trabajos en Ecuador de Serrano et al., (2012) y Armenta (2016) relacionado con la tendencia de los indicadores extremos y la variabilidad climática. Mientras que en Colombia se caracterizan los extremos vinculados con las lluvias y su relación con la altitud (Pinilla y Pinzón, 2012). Del mismo modo, en Perú, se analizan los extremos en el altiplano peru-boliviano (Andrade, 2018).

En Cuba se han realizado varios estudios sobre el tema. En el 2005, González (2005), describe el comportamiento de indicadores de cambio climático en el país. Asimismo, Burgos y González (2012) investiga los extremos climáticos para nueve estaciones meteorológicas basados en las series diarias de las temperaturas y las precipitaciones. Recientemente, en el municipio especial Isla de la Juventud, González et al. (2017) analizan para seis estaciones los extremos climáticos, su tendencia y puntos de cambios. En la provincia de Villa Clara, se confeccionan de forma mensual los Boletines de la Vigilancia del Clima (BVC) como parte de la vigilancia climática en el territorio. En los últimos años se ha observado un incremento de la temperatura media (T_m) y máxima (T_x) por encima de la norma y en extremo en la estación de Sagua (78338). En el año 2015, la anomalía de la temperatura media resultó de 1.1°C , valor superior a las demás estaciones, mientras que la máxima se registró en 1.7°C . Se rompieron en ese mismo año dos records de la máxima en abril y septiembre con 36.9°C y 36.0°C respectivamente. En el 2016, las temperaturas medias y máximas también resultaron superiores a las demás estaciones del territorio y se rompieron records en cuatro meses febrero, junio, agosto y diciembre con 34.5°C , 36.8°C , 36°C y 33.2°C . Al culminar 2017 esta situación se extendió, con records en agosto con 37.2°C . (Datos del archivo del Centro Meteorológico Provincial de Villa Clara, CMP.VC) CMP.VC (2017). El presente trabajo se propone evaluar los índices de extremos climáticos derivados de la temperatura y la precipitación de mayor relevancia para Sagua la Grande, a partir de las metodologías y los índices propuestos por ETCCDI (ETCCDI, 2016).

2. Materiales y Métodos

La estación de Sagua (78338) se encuentra hacia el oeste de la ciudad de Sagua la Grande, ubi-

cada al Noroeste de la provincia de Villa Clara, a 17 Km de la costa norte y asume 40 años de registro de datos de las variables meteorológicas. Se emplearon las series diarias de temperatura máxima (Tx) y temperatura mínima (Tn) y precipitación (RR) para el periodo 1977-2017 en la estación de Sagua (78338). Además los datos diarios de cuatro estaciones pluviométricas de la Red Básica de Recursos Hidráulicos de largo registro: Capitolio (197), Viana (279), Presa Alacranes (631), El Dorado (632). En la figura 1 se observan las estaciones analizadas. El periodo de referencia fue la norma climatológica: 1981-2010. Se seleccionaron 12 indicadores de extremos climáticos (tabla 1) por la importancia en los estudios y avalados por estudios anteriores como González et al. (2017). Asimismo, por la relevancia que presentan los estudios del clima local en los diferentes sectores de la economía y la sociedad.

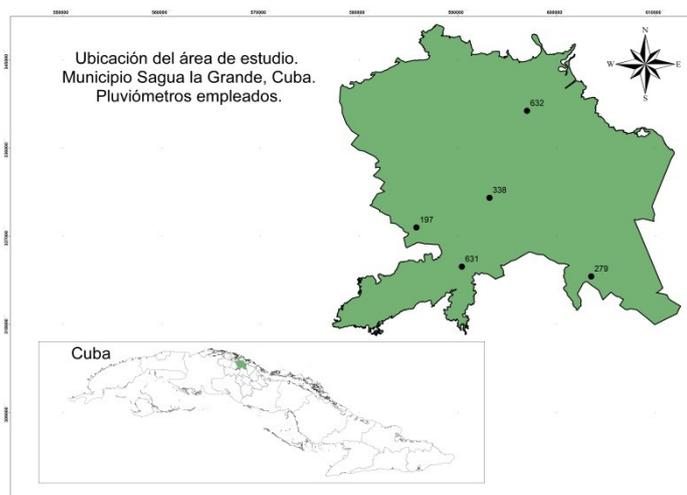


Figura 1: Ubicación de las estaciones empleadas en el estudio.

Tabla 1: Indicadores seleccionados para el estudio propuestos ETCCDI (WMO, 2009).

Indicador	Definición	Unidad
Tn90p	Porcentaje de días cuando $TN > 90$ th percentil	% días
Tn10p	Porcentaje de días cuando $TN < 10$ th percentil	% días
Tr20	Número de días en un año cuando $TN(\text{mínimo diario}) > 20^{\circ}\text{C}$	días
TNx	Valor mensual máximo de temperatura mínima diaria	$^{\circ}\text{C}$
Tx90p	Porcentaje de días cuando $TX_i > 90$ th percentil	% días
Tx10p	Porcentaje de días cuando $TX_i < 10$ th percentil	% días
TXx	Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria	$^{\circ}\text{C}$
WSDI	Contaje anual de días con por lo menos 6 días consecutivos en que $TX > 90$ th percentil	días
PRCPOT		mm
Rx5d	Máximo mensual de precipitación en 5 días consecutivos	mm
Rx100mm	Número de días en un año en que la precipitación es igual o mayor que 100mm	días
Rx95	Precipitación anual total en que $RR > 95$ percentil	mm
SDIL	Precipitación anual total dividida entre el número de días húmedos (definidos por $PRCP \geq 1.0\text{mm}$)	mm/día año

El Control de calidad de los datos (QC, por sus siglas en inglés) se realizó con el software RcliMdex-extraQC y la homogeneidad con la herramienta RH test (Software y documentación disponibles en <http://etccdi.pacificclimate.org>). Para la validación de los datos sospechosos se utilizó la metadato tablas de record climáticos, la cronología de huracanes, frentes fríos y comparación con estaciones vecinas. Para el cálculo de tendencias se usó el Software WinStat (programa para el cálculo de índices de tendencia en series temporales, versión 2.0 Beta 1997), (Mellado y Borrajero, 1997). El estudio de las tendencias se realizó por medio de las dójimas de Wald - Wolfowitz (análisis de la correlación de serie), Mann - Kendall (análisis de la tendencia en las formas directa e inversa) y Pettitt (ubicación cronológica de un punto de cambio). El nivel de significación $\alpha_0 = 5\%$ se tomó para la aceptación ($\alpha_i > \alpha_0$) o el rechazo ($\alpha_i < \alpha_0$) de la hipótesis nula (homogeneidad para las pruebas de Mann, Wald - Wolfowitz, diferencia no significativa para la de Pettitt), (Sneyers,1975; Sneyers, 1990; Álvarez, 2006; Álvarez et al., 2006a). La representación geográfica de los índices se realizó con el Sistema de Información Geográfica QGIS.

3. Resultados y Discusión

3.1. Control de la calidad y análisis de la homogeneidad

El QC demostró 8 datos dudosos de RR > 200 mm en los pluviómetros del INRH. El 100 % de los mismos fue validado, una gran mayoría correspondió a eventos lluviosos asociados a sistemas tropicales. No se encontraron valores duplicados en ninguna de las variables utilizadas debido a que las series provienen del Sistema Automatizado de la Reducción de Observaciones Meteorológicas (SAROM) en la estación de Sagua. El test de homogeneidad indicó que la estación y los 4 pluviómetros del INRH que fueron analizados, son homogéneos con un nivel de significación del 0,95 %.

3.2. Tendencia de los indicadores extremos climáticos derivados de las temperaturas

Las noches tropicales, Tr20, muestran una tendencia creciente sin presentar significación estadística. El año 2015 y el 1997 resultaron los más altos de la serie con 246 días con esta condición. El indicador TNx, conocido como temperaturas mínimas más altas, muestra una tendencia al incremento altamente significativa. El año 2017 presenta los valores más altos de la serie 1977-2017, con 27.6°C. Este resultado concuerda con González (2005), Burgos (2012) y González et al. (2017). El comportamiento de los porcentajes anuales de días y noches cálidas, Tx90p y Tn90p, manifiestan tendencia al aumento significativamente al 100 %. El 2015 presentó el valor más elevado de la serie con 44.38 % de días calientes seguido del 2017 con 33.97 %. Las noches cálidas resultaron mayores en 1998 y 2016 con un 22.95 % y 21.64 % respectivamente.

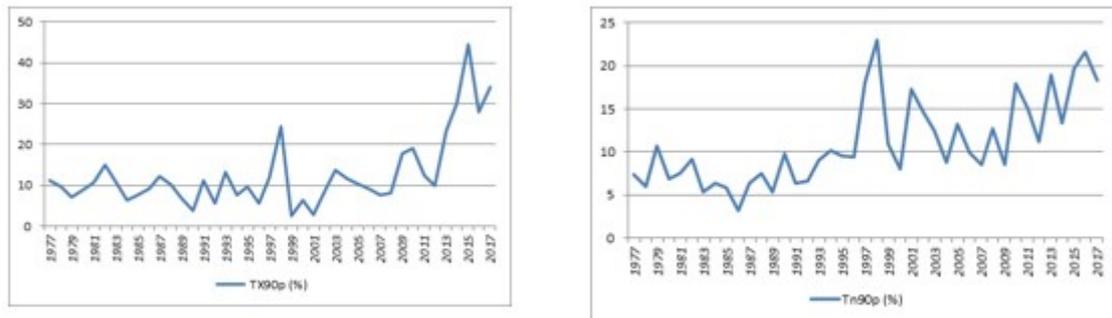


Figura 2: Porcentaje de días cálidos (Tx90p) (izquierda) y noches cálidas (Tn90p) (derecha)

Por el contrario, los porcentajes de días fríos y noches frías, Tx10p y Tn10p disminuyen. Las noches frías con nivel de significación de 90%. Las temperaturas máximas más altas (TXx) aumentan significativamente. El valor más alto aconteció en el año 2008, seguido del 2017 y 2015 con 38.5°C, 37.2°C y 37°C respectivamente. Asimismo el indicador WSDI, persistencia de condiciones extremas cálidas, mostró alta significación estadística al incremento. El máximo valor reportado en la serie 1977 -2017, con 40 años de datos, ocurrió en 2015 con 73 días. Al mismo le continúa el 2017 con 56 días.

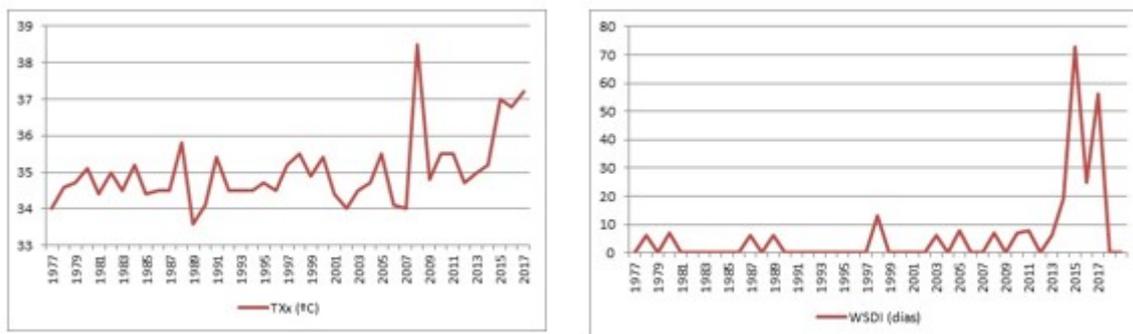


Figura 3: Temperaturas máximas elevadas (TXx) (izquierda) y conteo anual de días con por lo menos 6 días consecutivos en que $TX > 90$ th percentil (WSDI).

Tabla 2: Tendencia de los indicadores derivados de la temperatura registrada en la Estación Sagua (78338).

Indicador	Tendencia 78338	P Value
Tr20	0.197	0.346
TNx	0.039	0
Tn90p	0.286	0
Tx90p	0.396	0
Tn10p	-0.115	0.067
Tx10p	-0.031	0.573
TXx	0.038	0.016
WSDI	0.589	0.001

En “negritas” los valores significativos estadísticamente.

3.3. Tendencia de los indicadores de extremos climáticos derivados de las precipitaciones

La precipitación total (PRCPTOT) muestra una tendencia creciente en la mayoría de las estaciones, se exceptúa de este comportamiento el pluviómetro 632. Sin embargo, ninguno mostró significación estadística al 95 %. No obstante, a ello, el 279 presentó un intervalo de confianza del 90 %. Los acumulados de lluvia que superan el percentil 95 de la norma tienden a crecer en la mayoría de las estaciones, sin significación estadística al 95 %. Sin embargo el 279 y el 631 al 90 %. Además, se analizó el número de días anual con esta condición, de lo que resultó una tendencia positiva con significación estadística en un solo pluviómetro. El acumulado máximo de lluvia en 5 días consecutivos, indicador de eventos lluviosos de varios días de duración (Rx5d), presenta valores positivos en todas las estaciones analizadas. En tres de los pluviómetros analizados (279, 631, 338) con significación estadística al 95 % mientras que el 197 y 632 al 90 % de confiabilidad.

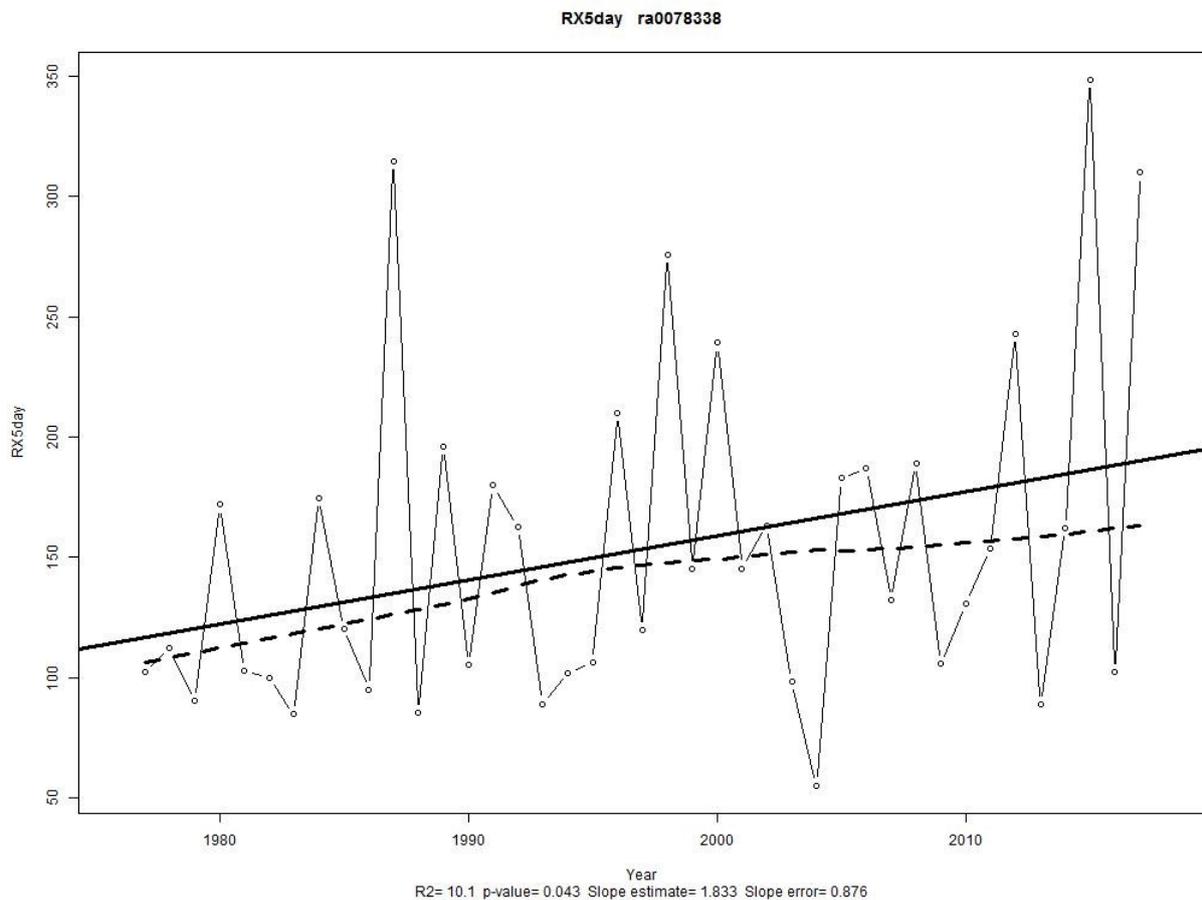


Figura 4: Tendencia de la precipitación en cinco días consecutivos (Rx5d) registrada en la estación Sagua (78338).

El número de días en el año con acumulado de precipitación mayor o igual a 100 mm, clasificado como evento de grandes precipitaciones en Cuba, presenta tendencias positivas. Tres pluviómetros presentan significación, el 631 al 95 % y el 197 y 338 al 90 %. La intensidad de la precipitación SDII, decrece en los pluviómetros 197 y 632 mientras que crece en 631 y 338 sin significación. En el pluviómetro 279 es positivo con significación estadística al 95 %.

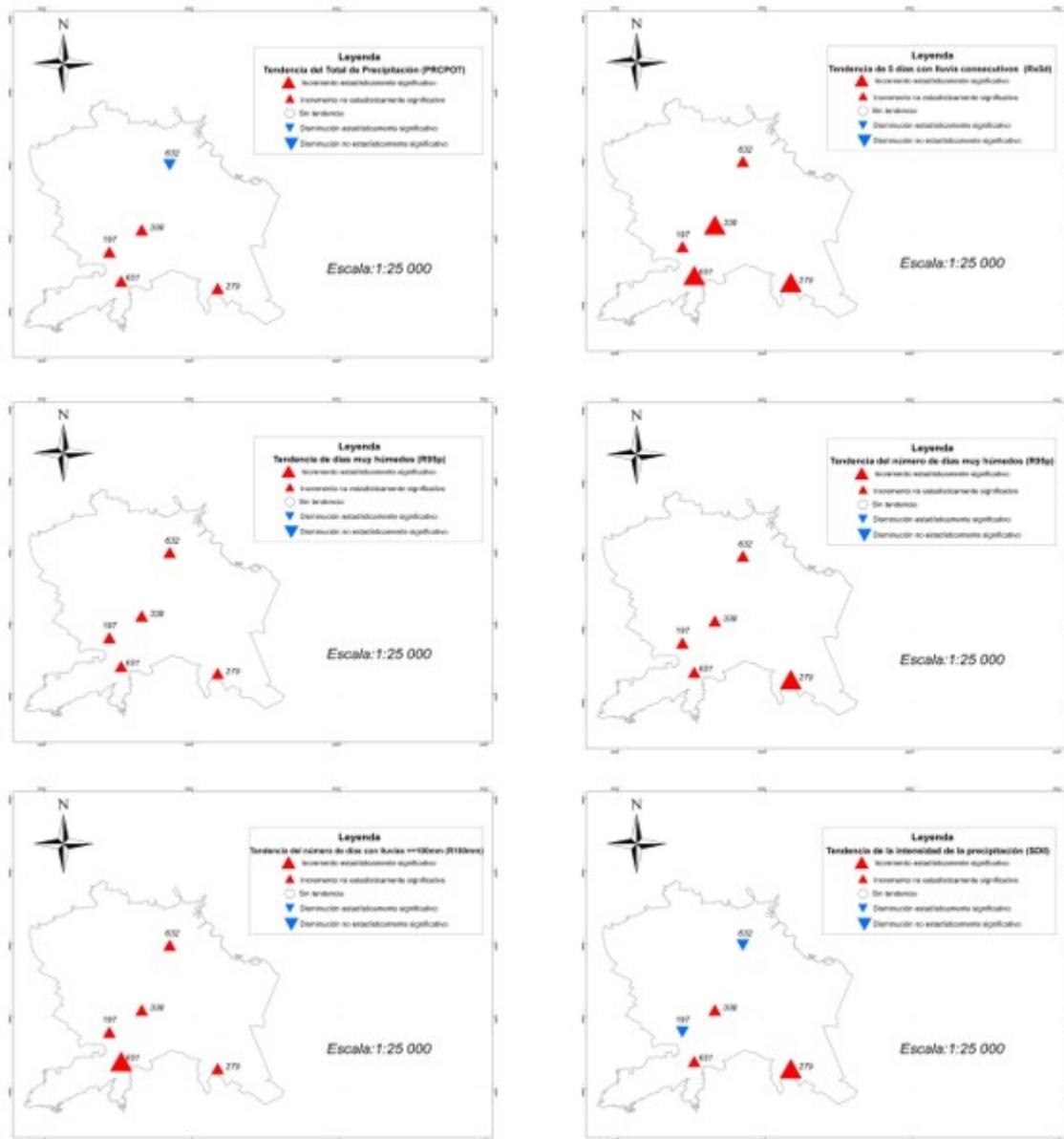


Figura 5: Tendencia de los Indicadores de extremos climáticos referentes a las lluvias para un intervalo de confianza al 95 %.

3.4. Análisis de la tendencia y determinación de puntos de cambios significativos

En la tabla 3, se muestra el estadístico de Wald Wolfowitz, Mann-Kendall y Pettitt para las temperaturas máximas, mínimas y la amplitud de la oscilación térmica en la estación de Sagua la Grande entre el período 1977 al 2017, bajo el 5% de nivel de significación estadística. Se observa que hay una tendencia creciente, sin significación estadística, con correlación serial, bajo el 5% de nivel de significación estadística y sin un punto de cambio debido que la serie directa e inversa de Mann-Kendall tiene varios interceptos, con una explicación plausible debido a la relocalización de la Estación meteorológica de Sagua la Grande en el año 2004, con una diferencia marcada en su actual ubicación.

Tabla 3: Estadígrafos para las temperaturas máximas, mínimas y la amplitud de la oscilación térmica. Estación de Sagua la Grande. Período: 1977 al 2017.

Estadígrafo	Temperatura mínima	Temperatura máxima	Amplitud de la Oscilación Térmica
Wald Wolfowitz	2.080346 Alfa1 = 0.0187 < Alfa0 = 0.0500	1.061451 Alfa1 = 0.1442 > Alfa0 = 0.0500	3.037912 Alfa1 = 0.0012 < Alfa0 = 0.0500
Mann-Kendall	2.807985 Alfa1 = 0.0050 < Alfa0 = 0.0500 (5 intersecciones)	1.988053 Alfa1 = 0.0468 < Alfa0 = 0.0500 (3 intersecciones)	0.123551 Alfa1 = 0.9017 > Alfa0 = 0.0500 (9 intersecciones)
Pettitt	-247.0 (13) Alfa1 = 0.0056 < Alfa0 = 0.0500	-190.0 (34) Alfa1 = 0.0465 < Alfa0 = 0.0500	-180.0 (32) Alfa1 = 0.0637 > Alfa0 = 0.0500

Al analizar la serie después del 2005 (Tabla 4), cuando ya fue relocalizada la estación, con los mismos estadígrafos se obtiene un punto de cambio en el año 2013; mostrándose esto en la figura 6, donde se observa que los interceptos son en los puntos 8 que corresponde al año 2013, véase la correspondencia con este punto tanto en las series directas y retrógradas de Mann-Kendall y en las figuras de abajo en las series de Pettitt. De lo anterior se evidencia que hay una tendencia creciente, con significación estadística bajo el 5% de nivel de significación de las temperaturas máximas, mínimas y la oscilación de la amplitud térmica, con un punto de cambio en el año 2013. Lo mismo se repitió bajo el 10% de nivel de significación estadística obteniendo similares resultados.

Tabla 4: Estadígrafos para las temperaturas máximas, mínimas y la amplitud de la oscilación térmica. Estación de Sagua la Grande. Período: 2005 al 2017.

Estadígrafo	Temperatura mínima	Temperatura máxima	Amplitud de la Oscilación Térmica
Wald Wolfowitz	1.152324 Alfa1 = 0.1246 > Alfa0 = 0.0500	1.944752 Alfa1 = 0.0259 < Alfa0 = 0.0500	1.402987 0.0803 > Alfa0 = 0.0500
Mann-Kendall	2.074302 Alfa1 = 0.0381 < Alfa0 = 0.0500 (1 intersección en el año 2013)	2.928427 Alfa1 = 0.0034 < Alfa0 = 0.0500 (1 intersección en el año 2013)	2.257329 Alfa1 = 0.0240 < Alfa0 = 0.0500 (1 intersección en el año 2013)
Pettitt	-38.0 (2012) Alfa1 = 0.0257 < Alfa0 = 0.0500	-40.0 (2012) Alfa1 = 0.0173 < Alfa0 = 0.0500	-37.0 (2012) Alfa1 = 0.0311 < Alfa0 = 0.0500

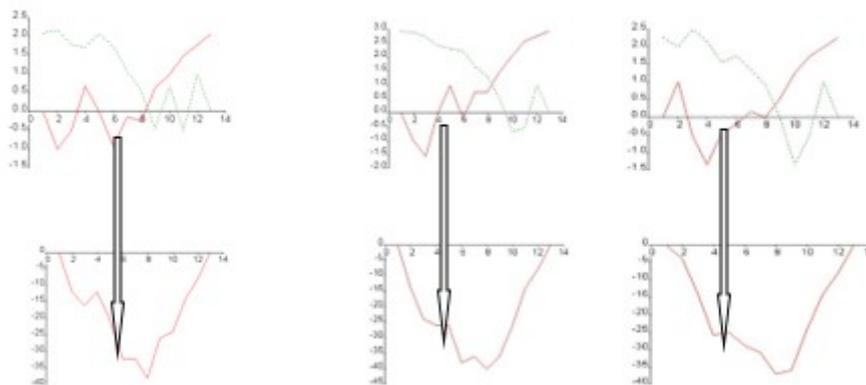


Figura 6: Serie directa y retrógrada de Mann–Kendall y serie de Pettitt de las temperaturas máximas, mínimas y la oscilación de la amplitud térmica entre los años 2005 al 2017.

4. Conclusiones

Las temperaturas mínimas extremas indicaron un incremento en la estación de Sagua (TNx), lo que está condicionado por el aumento de noches cálidas (Tn90p) y la tendencia creciente de noches tropicales (Tr20). Disminuyeron los días y noches frías, y las temperaturas máximas fueron más elevadas mostrándose en los últimos años episodios de varios días consecutivos con temperaturas extremas (WSDI). En general, las lluvias no presentaron una tendencia significativa según los indicadores analizados. El indicador Rx5d presenta tres estaciones con tendencias significativas.

Referencias bibliográficas

Álvarez L (2006): Estudio de la localización espacial de las tormentas eléctricas en Cuba y su tendencia. [Tesis de Doctorado]. Instituto de Meteorología.

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*, 13:83-94.

Andrade MF (2018): Atlas - Clima y eventos extremos del Altiplano Central Perú-boliviano / Climate and extreme events from the Central Altiplano of Peru and Bolivia 1981-2010. *Geographica Bernensia*, 188 pp., DOI: 10.4480/GB2018.N01

Armenta GE (2016): Análisis de tendencias climáticas y eventos climáticos extremos para Ecuador. Disponible en: <https://info.undp.org/>

Burgos Y, González I (2012): Análisis de indicadores de extremos climáticos en la isla de Cuba. *Revista de Climatología*, 12:81-91.

Campbell J D, Taylor MA, Stepheson TS, Watson RA, Whyte FS (2011): Future climate of de Caribbean from a regional climate model. *International Journal Climatology*, (31)12:1866-1878.

Disponible en: <http://doi.org/10.1002/joc.2200>

Centro Meteorológico Provincial de Villa Clara (2017): Datos del Archivo Histórico Provincial.

CRS-SAS (Centro Regional del Clima para el Sur de América del Sur) (2017): Disponible en: http://www.crc-sas.org/es/climatologia_extremos_climaticos.php

ETCCDI (Expert Team on Climate Change Detection and Indices) (2016): Climate and Ocean - Variability, Predictability, and Change. Available at: <http://www.clivar.org/clivar-panels/etccdi/indices-data/indices-data>

González IT (2005): Evaluación de algunos indicadores de Cambio Climático. Tesis presentada en opción al título de Máster en Ciencias Meteorológicas, pp. 62, La Habana, Cuba.

González I, Barcia S, Hernández D (2017): Comportamiento de Indicadores de extremos climáticos en la Isla de la Juventud. *Revista Cubana de Meteorología*, 23:217-225.

Mellado E, Borrajero I (1997): Programa para el cálculo de índices de tendencia en Series temporales, versión 2.0 Beta. INSMET. Ciudad de la Habana.

Pinilla MC, Pinzón C (2012): Caracterización de eventos extremos asociados a la precipitación usando Rclimindex, en la parte central del departamento de Santander, Colombia. Grupo técnico. Convenio Fundación Natura Colombia - ISAGEN E.S.P. Disponible en: fundacion.usal.es/conaec/pendrive/ficheros/ponencias/ponencias2/34-Extremos.pdf

Serrano SD, Zuleta V, Moscoso P, Jácome E, Palacios, M Villacís (2012): Análisis estadístico de datos meteorológicos mensuales y diarios para la determinación de variabilidad climática y cambio climático en el Distrito Metropolitano de Quito. *La Granja*, 16(2):23-47.

Sneyers R (1975): Sur l'analyse statistique des séries d'observations. O.M.M., N.T. No. 143, 192 pp.

Sneyers R (1990): On the statistical analysis of series of observations, Technical Note no. 143, WMO, no. 415, Ginebra, Suiza.

WMO (2009): Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. Geneva: WCDMP- No. 72, WMO-TD no. 1500.

WMO (2019). Declaración del estado mundial del clima en 2019. Geneva: WMO-No. 1189.