

Comportamiento de Indicadores de extremos climáticos en la Isla de la Juventud

Climatic Extremes Index in the Isla de la Juventud

Idelmis T. González-García^{1✉}, Sinai Barcia-Sardiñas², Dunia Hernández-González¹

¹ Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba

² Centro Meteorológico Provincial, Cienfuegos, Cuba

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo analizar el comportamiento de algunos indicadores de extremos climáticos en la Isla de la Juventud durante el período 1980-2015. Se emplearon las series diarias de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación, extraídas de la base de datos del Centro del Clima del Instituto de Meteorología; así como las series diarias de precipitación de la red pluviométrica del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. Se empleó el software Rclimindex-extraQc para obtener los indicadores. El análisis estadístico de tendencia y punto de cambio de las series mensuales se realizó evaluando estadísticos no paramétricos. El estudio reveló un incremento en los valores extremos de temperatura mínima y episodios de varios días consecutivos con temperaturas máximas extremas. Los indicadores derivados de la precipitación mostraron gran variabilidad y resultados no significativos estadísticamente. No obstante, la precipitación total aumentó asociado a eventos de varios días consecutivos con precipitación y a eventos extremos que aportaron acumulados superiores al 95 percentil de la norma.

Palabras clave: Indicadores de extremos climáticos, Isla de la Juventud

Abstract

The present article aims to analyze the behavior of some indicators of climatic extremes in Isla de la Juventud, Cuba during the period 1980-2015. The daily series of maximum temperatures, minimum temperature and precipitation were used, extracted from the database of the Climate Center of the Institute of Meteorology; As well as the daily precipitation series of the pluviometric network of the National Institute of Hydraulic Resources. The Rclimindex-extraQc software was used to obtain the indicators. The statistical analysis of trend and change point of the monthly series was performed with no parametric statistic. The study revealed an increase in extreme values of minimum temperature and episodes of several consecutive days with extremes of maximum

✉ Autor para correspondencia: Idelmis T. González-García. E-mail: Idelmis.gonzalez@insmet.cu

Recibido: 19/1/2017

Aceptado: 18/7/2017

temperatures. The indicators derived of the precipitation showed great variability and non-significant statistically results. However, total precipitation increased due to events of several consecutive days with precipitation and to extreme events that contributed accumulated above the 95th percentile of the norm.

Key words: Climate extremes indicators, Isle of Youth, Cuba, trend

Introducción

Los cambios observados en el clima actual y los proyectados a futuro generan una gran preocupación en investigadores, decisores y población en general. El aumento de los impactos potenciales de los eventos extremos en sectores tan sensibles como la salud humana, vegetal y animal, la agricultura, el turismo, la economía y la sociedad potencian justifican las investigaciones en esta materia.

El Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) en su cuarto informe realiza una exhaustiva evaluación de los eventos extremos desde el incremento de días y noches cálidas, de las olas de calor, cambios en la frecuencia e intensidad de sequías y huracanes, entre otro (IPCC, 2007). Para ello el grupo de expertos en formuló un conjunto de 27 indicadores para detectar las modificaciones en el comportamiento de los extremos del clima. Estos indicadores tienen como propósito la estimación de los cambios en los extremos a partir de una metodología común, con el fin de proveer una base comparativa global. Las tendencias históricas se obtienen luego de realizar un cuidadoso control de calidad de datos y homogenización de las series temporales en la región de estudio, utilizando los programas creados para estos fines (The R Foundation, 2015).

Pequeños estados insulares (SIDS por sus siglas en inglés) como los del Caribe han sido identificados como los más vulnerables a los extremos climáticos y al cambio climático (IPCC, 2007; IPCC, 2014). La Isla de la Juventud con condiciones similares a los SIDS no se ha incluido ha sido excluida de en la

mayoría de las investigaciones que se han realizado (Burgos & Gonzalez, 2012; Planos, et al., 2013) en Cuba. El objetivo del presente estudio es evaluar los índices de extremos climáticos derivados de la temperatura y la precipitación de mayor relevancia para la Isla de la Juventud, a partir de las metodologías y los índices propuestos por ETCCDI (ETCCDI, 2016).

Materiales y Métodos

Se emplearon las series diarias de temperatura máxima (Tx), temperatura mínima (Tn) y de precipitación (RR) para el periodo 1980 -2015 en las estaciones meteorológicas de La Fé (78321) y Punta del Este (78324). Además se usaron datos diarios de cinco estaciones pluviométricas de largo registro: Tele correo La Victoria (201), Embalse X festival (253), Los Indios (351), La Melvis (354) y Nueva Gerona (365). Se usó como periodo de referencia la norma climatológica 1981-2010. Los datos de las estaciones meteorológicas fueron suministrados por la base de datos del Centro del Clima del Instituto de Meteorología (INSMET), mientras que la información de las estaciones pluviométricas fue de la red de estaciones del Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos (INRH). En la figura 1, se representa la distribución espacial de dichas estaciones. Los datos faltantes que se evidenciaron en las series fueron producto a la afectación de Huracán Iván en 2004.

Se seleccionaron 12 indicadores de extremos climáticos por su relevancia en estudios anteriores, la importancia para el clima local y su interés para potenciales estudios de diversos

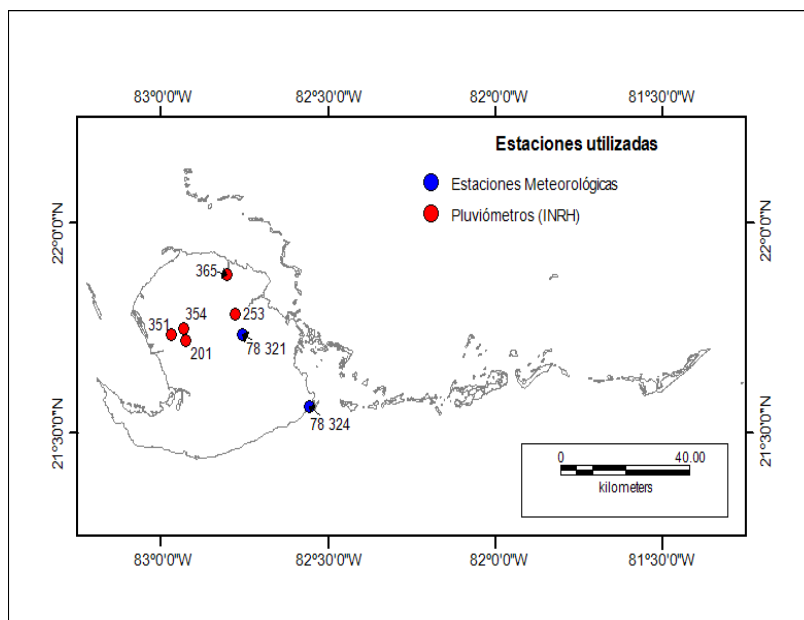


Figura 1. Ubicación geográfica de las estaciones empleadas en el estudio

impactos. La identificación de estos indicadores se resume en la [tabla 1](#).

Antes de proceder al cálculo de los índices fue necesario someter los datos a un control de calidad (QC, por sus siglas en inglés) para lo que se empleó el software Rclindex-extraQC y a una evaluación de su homogeneidad con la herramienta RH test con el fin de determinar y corregir valores erróneos (Software y documentación disponibles en <http://etccdi.pacificclimate.org>). Una vez que se identificaron una serie de valores sospechosos se procedió a validar los mismos usando la metadato de las estaciones, cronología de huracanes, tablas de record climáticos, cronologías de frentes fríos y comparación con estaciones vecinas.

Para el análisis estadístico de tendencia y punto de cambio de las series mensuales, se utilizó el programa Winstat 2.0 ([Borrajero, 2016](#)) seleccionando como estadígrafos la prueba Spearman, la prueba de Kendall - Mann y la prueba de Pettit, para un intervalo de confianza del 95% ([Sneyers, 1990](#)). Las pruebas de Spearman y de Kendall-Mann fueron utilizadas para demostrar la posible

existencia de tendencia; mientras que las pruebas de Pettit y de Kendall-Mann completaron el análisis confirmatorio de la existencia de puntos de cambio. La representación gráfica de los índices se realizó usando el sistema de información geográfico ArcGis 10.1.

Resultados y Discusión

Control de calidad y análisis de la homogeneidad

El QC efectuado mostró 112 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. Se encontró un salto o diferencia entre la T_n de dos días consecutivos en la estación de Punta del Este que superaba los 20 °C, valor que fue rectificado. 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). El valor al que con más frecuencia aparece redondeada la precipitación es cero y en las

Tabla 1. Indicadores seleccionados para el estudio propuestos por ETCCDI ([WMO, 2009](#))

| Indicador | Definición | Unidad |
|-----------|--|------------|
| Tn90p | Porcentaje de días cuando TN>90th percentil | % días |
| Tn10 | Porcentaje de días cuando TN<10th percentil | % días |
| Tr20 | Número de días en un año cuando TN(mínimo diario)>20°C | días |
| TNx | Valor mensual máximo de temperatura mínima diaria | ° C |
| Tx90p | Porcentaje de días cuando TX>90th percentil | % días |
| Tx10p | Porcentaje de días cuando TX<10th percentil | % días |
| TXx | Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria | ° C |
| WSDI | Contaje anual de días con por lo menos 6 días consecutivos en que TX>90th percentil | días |
| Rx5day | 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 |
| R95p | Precipitación anual total en que RR>95 percentil | mm |
| SDIL | Precipitación anual total dividida entre el número de días húmedos (definidos por PRCP>=1.0mm) | Mm/día año |

temperaturas máximas y mínimas los valores más frecuentes son 0 y 0.5 respectivamente.

El análisis de homogeneidad evidenció que en las series de temperaturas extremas, rango diurno (DTR) y precipitaciones se encontraron puntos de cambio no significativos ($F\text{-Stat} \leq F\text{-}95\%$) a finales de los 80 y en la década de los 90. En la estación meteorológica de La Fe y los pluviómetros 354 y 365 no se encontraron puntos de cambio en la serie de RR ([Tabla 2](#)).

Tendencias y puntos de cambios de indicadores de extremos climáticos derivados de las temperaturas mínimas

El indicador Tr20, conocido como noches tropicales, presentó una tendencia creciente altamente significativa en ambas estaciones meteorológicas ([Tabla 3](#)), correspondiendo al año 2015 el de más alto valor de la serie 1980-2015 con 306 días en la estación de La Fe y el tercer valor más alto de los últimos 36 años en Punta del Este, igualando al valor reportado en el 2013, con 287 días con esta condición ([Figura 2](#)).

Tabla 3. Tendencia de los indicadores derivados de la temperatura en las estaciones meteorológicas de la Isla de la Juventud, en **negrita** los valores significativos estadísticamente

| Indicador | La Fe | Punta del Este |
|-----------|---------------|----------------|
| | Tendencia | Tendencia |
| Tr20 | 0.717 | 0.677 |
| TNx | 0.024 | 0.016 |
| Tn90p | 0.377 | 0.311 |
| Tx90p | 0.542 | 0.523 |
| Tx10p | -0.132 | -0.077 |
| Tn10p | -0.222 | -0.17 |
| TXx | 0.029 | 0.014 |
| WSDI | 0.728 | 0.865 |

Las temperaturas mínimas más altas (TNx) se incrementan significativamente en la escala anual en La Fe y Punta del Este. Además, en La Fe presenta tendencia creciente altamente significativa en los meses de abril y octubre, según muestran los estadígrafos de Pettit con punto de cambio en el año 1989 coincidente con uno de los interceptos de las curvas directas e

Tabla 2. Estadígrafos de las series de las variables analizadas por estación

| Estaciones | Tx | | Tn | | DTR | | RR | |
|------------|--------|-------|--------|-------|-------------|-------|--------|-------|
| | F-Stat | F-95% | F-Stat | F-95% | F-Stat | F-95% | F-Stat | F-95% |
| | Año | | Año | | Año | | Año | |
| 78321 | 5.12 | 11.22 | 10.21 | 11.15 | 6.13 | 11.55 | - | - |
| | 1985 | | 1998 | | 1984 y 1998 | | - | |
| 78324 | 6.2 | 11.4 | 6.56 | 11.4 | 3.24 | 11.4 | 4.62 | 11.22 |
| | 1998 | | 1998 | | 1994 | | 1992 | |
| 201 | | | | | | | 10.05 | 11.4 |
| | | | | | | | 1994 | |
| 253 | | | | | | | 5.95 | 11.22 |
| | | | | | | | 1992 | |
| 351 | | | | | | | 8.81 | 11.4 |
| | | | | | | | 1993 | |

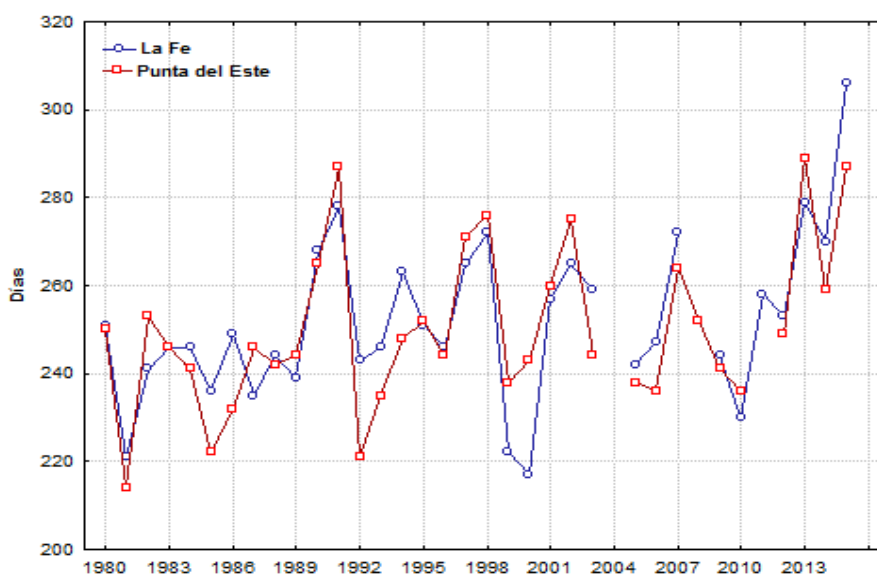


Figura 2. Marcha multianual del número de días con temperaturas mínimas por encima de 20°C en las estaciones meteorológicas La Fe y Punta del Este durante el período 1980-2015

inversas de Kendall–Mann. En Punta del Este el comportamiento coincide en los meses de octubre y agosto (Figura 3).

Los por cientos anuales de días y noches cálidas (Tx90p y Tn90p), aumentan significativamente en ambas estaciones meteorológicas (Tabla 3 y Figura 4). Por el contrario, los por cientos de días y noches frías Tx10p y Tn10p disminuyen significativamente en la estación de La Fe, mientras que en Punta del Este Tx10p no muestra una tendencia

significativa estadísticamente (Tabla 3). Estos resultados son consistentes con estudios anteriores en estaciones de la región occidental realizados por (Gonzalez, 2005; Burgos & González, 2012).

Tendencias y puntos de cambios de indicadores de extremos climáticos derivados de las temperaturas máximas

Las temperaturas máximas más altas TXx se incrementa en las dos estaciones con

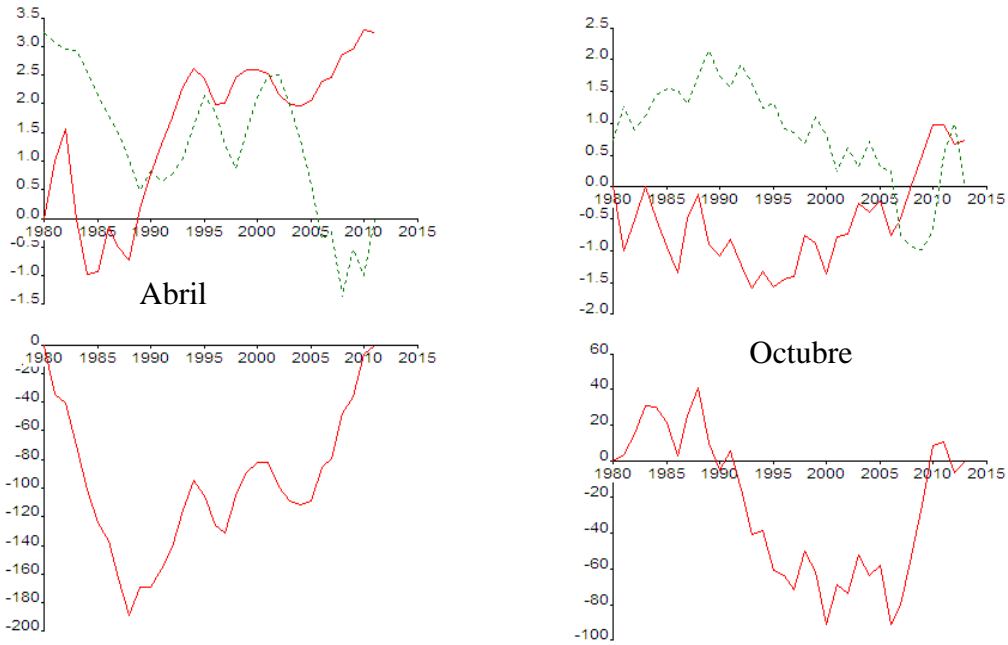


Figura 3. Estadígrafo de Kendall- Mann (arriba) y Pettit (abajo) correspondientes TNx en las estaciones 78 324 (derecha) y 78 321 (izquierda) al período 1980-2015

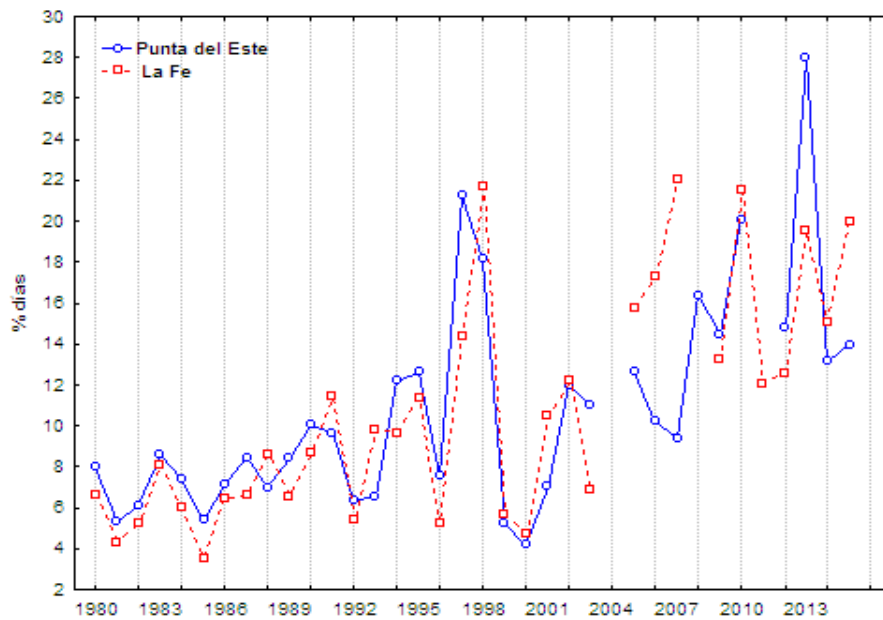


Figura 4. Por ciento de noches cálidas (Tn90p) en el periodo 1980 - 2015

significado estadístico en La Fe. Por su parte el indicador de persistencia de condiciones extremas cálidas (WSDI) se incrementa significativamente (Tabla 3). Este indicador presentó un máximo de 110 días en Punta del Este y de 68 días en La Fe en el año 2015, los

más altos valores reportados en los últimos 36 años y consistente con los reportes que evidencian que el año 2015 ha sido el más cálido del que se tienen registros (WMO, 2017).

Estos resultados son consistentes con los cambios que se han observado en la región del

Caribe en las series diarias y extremas de temperatura ([Stephenson, 2014](#)). Este estudio evidenció la tendencia a la desaparición de noches frías, extremos más cálidos en la Isla de la Juventud, así como el aumento de la cantidad de días consecutivos con temperaturas máximas superiores al 90 percentil.

Tendencias y puntos de cambios de indicadores de extremos climáticos derivados de las precipitaciones

A la salida de los indicadores más relevantes se graficó la tendencia resultado de la corrida del software Rclimindex-extraQc para cada indicador por estación, resultado que se presenta en las figuras siguientes. Los triángulos rojos y azules indican crecimiento y decrecimiento respectivamente de dicha tendencia, y el tamaño muestra la significación.

La precipitación total (PRCPTOT) crece en la mayoría de las estaciones, se exceptúa de este comportamiento el pluviómetro 201, pero en todos sin significado estadístico para un intervalo de confianza del 95%. La intensidad de la precipitación SDII, decrece en los pluviómetros situados al noroeste de La Isla (351, 354 y 201). Este resultado es coherente con el obtenido por Durán, 2013 donde los máximos de días con lluvia en el período lluvioso se observan en esa misma región. Por el contrario, en las estaciones situadas al noreste La Fe, Punta del Este y en los pluviómetros 253 y 365 la tendencia es creciente solo con significado estadístico en el pluviómetro 365. El acumulado máximo de lluvia en 5 días consecutivos indicador de eventos lluviosos de varios días de duración (Rx5d), crece en todas las estaciones analizadas. 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 gran variabilidad en las estaciones analizadas. Los acumulados de lluvia que superan el 95 percentil de la norma tienden a crecer en la mayoría de las estaciones, exceptuándose de ese comportamiento el pluviómetro 354. En todos los casos las tendencias no tienen significado estadístico ([Figura 5](#)).

De forma general los resultados de los indicadores derivados de la lluvia muestran gran variabilidad y son consistentes con los obtenidos a nivel global. Vale resaltar que el incremento en los totales anuales pudiera estar asociado al aumento de la lluvia en eventos de varios días de duración y de acumulados que clasifican como extremos.

Conclusiones

Los resultados alcanzados en este trabajo indican que en las últimas décadas se evidencia un incremento de las temperaturas mínimas extremas en todas las estaciones analizadas, lo que puede avalarse por el incremento de noches cálidas y la tendencia creciente de noches tropicales.

Los días fríos decrecen y las temperaturas máximas son cada vez más altas, presentándose episodios de varios días consecutivos con temperaturas máximas extremas expresadas a través del indicador WSDI.

En general los indicadores derivados de las precipitaciones mostraron gran variabilidad y tendencias no significativas estadísticamente. No obstante, la precipitación total aumenta a cuenta de eventos de varios días consecutivos con precipitación y a eventos extremos que aportan acumulados que superan el 95 percentil de la norma.

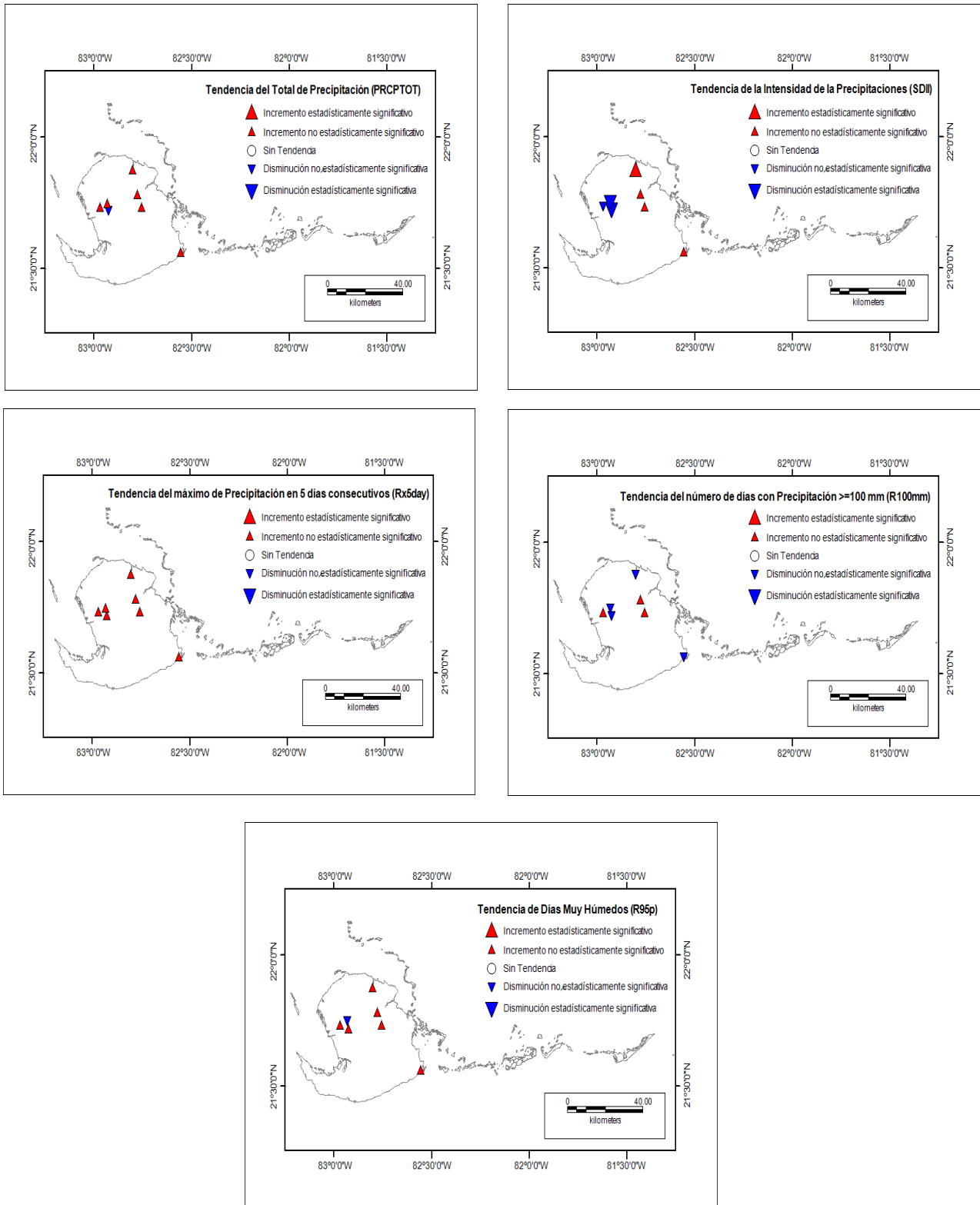


Figura 5. Tendencia anual de los indicadores (de izquierda a derecha) PRCPTOT, SDII, RX5day, R100mm y R95p para el periodo 1980 – 2015 en la Isla de la Juventud

Referencias

- Borrajero, I. 2016. Software Winstat. versión 2.0. Comunicación personal. 15 Marzo 2016.
- Burgos, Y. & Gonzalez, I. 2012. “Análisis de indicadores de extremo climático en la Isla de Cuba”, *Revista de Climatología*. 12: 81-91.
- 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>>, [Consulted: Febrero 24, 2016].
- Gonzalez, I. 2005. Evaluación de algunos indicadores de Cambio Climático. Tesis de Maestría, La Habana, Cuba.
- IPCC. 2007. Cambio climático 2007. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Informe de síntesis. Ginebra, Suiza. IPCC: ISBN 92-9169-322-7. 104 p.
- IPCC. 2014. Climate Change 2014. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Synthesis Report. Geneva, Switzerland. 151p.
- Planos, E.; Vega, R. & Guevara, A. (eds.). 2013. Impacto del Cambio Climático y medidas de adaptación en Cuba. Primera ed. La Habana: AMA. 430p.
- Sneyers, R. 1990. *On the statistics analysis of series of observations*. Geneva: WMO-No. 415, TN-No. 143.
- Stephenson, T.S., Vincent, L.A., Allen, T., Van Meerbeeck, C.J., McLean, N., Peterson, T.C., Taylor, M.A., Aaron-Morrison, A.P., Auguste, T., Bernard, D., Boekhoudt, J.R., Blenman, R.I., Braithwaite, G.C., Brown, G., Butler, M., Cumberbatch, C.M., Etienne-Leblanc, S., Lake, D.E., Martin, D.E., McDonald, J.L., Ozoria-Zaruela, M., Porter, A.O., Santana-Ramirez, M., Tamar, G.A., Roberts, B.A., Sallons-Mitro, S., Shaw, A., Spence, J.M., Winter, A. & Trotman, A.R. 2014. Changes in extreme temperature and precipitation in the Caribbean region, 1961–2010. *International Journal of Climatology*. 34: 2957 – 2971, DOI: 10.1002/joc.3889.
- The R Foundation. 2015. The R Project for Statistical Computing. Available at:<<https://www.r-project.org/foundation/>>, [Consulted: Marzo 13, 2016].
- WMO (World Meteorological Organization). 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 (World Meteorological Organization). 2017. *Declaración del estado mundial del clima en 2016*. Geneva: WMO-No. 1189.