

Caracterización de la precipitación mediante indicadores de extremos climáticos en la estación meteorológica de Casablanca, 1980-2018

Characterization of precipitation through on climate extreme indicators at the Casablanca meteorological station, 1980-2018

 Pedro Roura-Pérez^{*},  Dunia Hernández González¹,  Vivian Sistachs-Vega² y  Manuel Alejandro Cabrera-Castillo³

¹Centro del Clima. Instituto de Meteorología. La Habana, Cuba.

²Facultad de Matemática y Computación. Universidad de La Habana. La Habana, Cuba.

³C2S Consulting 2 Success, LLC, Artificial Intelligence Technology Division, Santo Domingo, República Dominicana.

*Autor para correspondencia: Pedro Roura-Pérez, e-mail: prp461986@gmail.com

RESUMEN: El estudio de la precipitación y sus eventos extremos resulta fundamental para comprender la variabilidad climática y mitigar sus impactos sobre la sociedad y la economía, particularmente en regiones vulnerables como el Caribe. El objetivo de este trabajo fue caracterizar la precipitación a partir de los indicadores de extremos climáticos en la estación meteorológica de Casablanca durante el periodo 1980-2018. Se emplearon series diarias de lluvia reportada en 24 horas, obtenidas de la base de datos del Instituto de Meteorología de Cuba. La metodología incluyó un riguroso control de calidad con umbral de tres desviaciones estándar, una prueba de homogeneidad mediante el RHtest y el cálculo de ocho indicadores ETCCDI (Rx1d, Rx5d, R10, R20, R100, R95p, R99p y PRCPTOT) utilizando el software RClindex. Los principales resultados mostraron que el máximo de precipitación en un día (Rx1d) aumentó ligeramente (0,28 mm/década), al igual que la precipitación asociada al percentil 99 (R99p, 10,39 mm/década). En contraste, el máximo en cinco días consecutivos (Rx5d) disminuyó (-6,04 mm/década), así como los días con lluvia ≥ 10 mm (R10, -0,34 días/década) y ≥ 20 mm (R20, -0,52 días/década), la precipitación del percentil 95 (R95p, -4,53 mm/década) y la precipitación total anual (PRCPTOT, -9,08 mm/década). Se concluyó que, aunque se observaron tendencias mixtas (aumento en algunos indicadores extremos y disminución en otros), ninguno de los cambios resultó estadísticamente significativo, lo que evidencia una alta variabilidad natural sin modificaciones claras en los extremos de lluvia durante el periodo analizado.

Palabras clave: lluvia máxima diaria, series homogéneas, software RClindex, series temporales, variabilidad climática.

ABSTRACT: The study of rainfall patterns and extreme events is fundamental to understanding climate variability and mitigating its impacts on society and the economy, particularly in vulnerable regions such as the Caribbean. The objective of this work was to characterize rainfall patterns based on climate extreme indicators at the Casablanca meteorological station during the period 1980-2018. Daily 24-hour rainfall series, obtained from the database of the Cuban Institute of Meteorology, were used. The methodology included rigorous quality control with a threshold of three standard deviations, a homogeneity test using the RHtest, and the calculation of eight ETCCDI indicators (Rx1d, Rx5d, R10, R20, R100, R95p, R99p, and PRCPTOT) using the RClindex software. The main results showed that the maximum precipitation in a single day (Rx1d) increased slightly (0.28 mm/decade), as did the precipitation associated with the 99th percentile (R99p, 10.39 mm/decade). In contrast, the maximum over five consecutive days (Rx5d) decreased (-6.04 mm/decade), as did the number of days with rainfall ≥ 10 mm (R10, -0.34 days/decade) and ≥ 20 mm (R20, -0.52 days/decade), the precipitation at the 95th percentile (R95p, -4.53 mm/decade), and the total annual precipitation (PRCPTOT, -9.08 mm/decade). It was concluded that, although mixed trends were observed (increases in some extreme indicators and decreases in others), none of the changes were statistically significant, demonstrating high natural variability without clear modifications in rainfall extremes during the analyzed period.

Keywords: maximum daily rainfall, homogeneous series, RClindex software, time series, climate variability.

INTRODUCCIÓN

El estudio del clima es un tema de suma importancia para la comunidad científica debido a que las variaciones del mismo, en sus diferentes escalas temporales y espaciales,

afectan de manera directa e indirecta a los seres vivos. En los últimos años ha tomado gran relevancia pues el ser humano necesita adaptarse a la variabilidad del sistema climático y asumir los extremos climáticos que se puedan presentar.

Recibido: 12/02/2026

Aceptado: 26/03/2026

Conflictos de interés: Los autores declaran que no existen conflictos de interés.

Contribución de los autores: Conceptualización, Curación de datos, Investigación, Metodología, Redacción - borrador original, Redacción - revisión y edición, Supervisión: Pedro Roura Pérez. Conceptualización, Curación de datos, Metodología: Dunia Hernández González. Conceptualización, Curación de datos, Supervisión, Investigación: Vivian Sistachs Vega. Curación de datos, Investigación: Manuel Alejandro Cabrera-Castillo.



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



A partir de los últimos informes del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), se puede afirmar que una de las áreas fundamentales de atención de los científicos a nivel mundial radica en el análisis de los extremos del clima y de la fenomenología atmosférica asociada a ellos (IPCC, 2018). Las variables con mayor profundidad en su análisis son la temperatura (Griffiths, Salinger, & Leleu, 2003) y la precipitación (Klein & Können, 2003).

Los eventos climáticos extremos relacionados específicamente con la precipitación adquieren gran relevancia dado el impacto que tienen sobre la sociedad y la economía. Un ejemplo reciente que evidencia grandes pérdidas económicas, está relacionado con la temporada ciclónica del año 2017 en la región del Atlántico. Dicha temporada fue una de las más devastadoras que se haya registrado y las pérdidas asociadas únicamente al paso del huracán Harvey se cifraron en más de 125 000 millones de dólares (OMM, 2020). Por eso es necesario adaptarse a la variabilidad de episodios anómalos, y sobre la base de estos conocimientos, ejecutar acciones que garanticen el bienestar de la población.

A los eventos climáticos extremos se les relaciona, además, con la ocurrencia de valores extremos en una variable determinada. Tal es el caso de la precipitación donde, diferentes autores han enfocado sus investigaciones en los valores extremos de esta. Para ello se han utilizado diversas metodologías tales como: el método de Índice de Avenida, los métodos de Markov-Chain-Monte Carlo (MCMC) y el procedimiento conocido como Análisis Regional de Frecuencias, el cual se basa en los L-momentos; y otros autores han recurrido al método Bayesiano (Hernández, Guenni, & Sansó, 2011), el cual proporciona una base de toma de decisiones coherentes en situaciones de incertidumbre. Además, brinda un método totalmente general, debido a que su aplicación no requiere un tipo particular de distribución y no precisa deducir las distribuciones en el muestreo (Díaz & Batanero, 2006).

Por otra parte, desde hace años, se vienen realizando diversos estudios e investigaciones en los que se analiza la tendencia de las principales variables climatológicas (precipitación y temperatura) a partir de datos observados, con el fin de conocer cómo han venido cambiando tanto el comportamiento de estas variables como los eventos extremos relacionados a las mismas. La gran mayoría de estos estudios se han llevado a cabo a través del análisis de los indicadores de extremos climáticos diseñados y propuestos por (ETCCDI, 2016) para la detección de tendencias climáticas y cambios en los eventos extremos (Armenta, 2016).

A nivel mundial, las tendencias de los indicadores de extremos de precipitación mostraron un aumento generalizado, explicado mediante el análisis de precipitaciones máximas de 1 día, precipitaciones máximas de 5 días, días muy húmedos y días extremadamente húmedos, que mostraron aumentos estadísticamente

significativos. El mayor cambio evidenciado fue el obtenido para la precipitación total anual, la cual registró un incremento significativo en gran parte de las estaciones analizadas a nivel global (Marín, 2017).

En la región de América Latina y el Caribe se alega que las condiciones atmosféricas y oceánicas que producen lluvia extrema son complejas y están relacionadas con la variabilidad de baja frecuencia (Martínez, Sánchez, & Ojeda, 2007). También en esta región, mediante los estudios realizados acerca de dicha temática, se ha comprobado que los valores extremos para zonas de lluvias muy altas o muy bajas tienden a ser más parecidas entre sí. De igual manera, en zonas que presentan un clima de sabana hay una marcada estacionalidad en los valores extremos de las lluvias (Hernández, Guenni, & Sansó, 2011).

En Cuba, las grandes precipitaciones y la precipitación en general, está muy vinculada al desarrollo y evolución de depresiones y ciclones tropicales, cuya actividad en los últimos años ha disminuido en las áreas aledañas al país, siendo ello un factor de considerable influencia en la magnitud que pudieran alcanzar las láminas de lluvia máximas y en la frecuencia de las tormentas que producen estos registros. Por otra parte, la influencia y la frecuencia de importantes sistemas extratropicales activos principalmente en la región occidental del país, son también elementos que influyen en la variabilidad, la frecuencia y la magnitud de los valores máximos de lluvia.

Para la región occidental del país, los eventos de grandes precipitaciones, tienden a crecer, sin embargo, no se muestra una tendencia apreciable según los análisis realizados a los indicadores de extremos climáticos derivados de la precipitación (Burgos & González, 2012). Por otra parte, en la Isla de la Juventud las precipitaciones han mostrado una gran variabilidad y tendencias no significativas; donde la precipitación total aumenta debido a la ocurrencia de eventos de varios días consecutivos con precipitación y a eventos extremos que aportan acumulados que superan el 95 percentil de la norma (González, Barcia, & Hernández, 2017).

Existen una serie de elementos mencionados con anterioridad, que alertan sobre la importancia de evaluar los valores extremos de precipitación en Cuba, debido a que cada vez se hacen más evidentes los cambios tan bruscos en períodos de tiempo muy cortos. Por lo tanto, nuestro objetivo general es la caracterización de la precipitación a partir de los indicadores de extremos climáticos en la estación meteorológica de Casablanca (1980-2018). Como aporte teórico, se destaca, el conocimiento climático como base fundamental para la toma de decisiones en la adaptación a la variabilidad del clima, una estrategia fundamental para Cuba frente al cambio climático. Además, como aporte científico, esta investigación tributó al proyecto III Comunicación Nacional de Cuba sobre el Cambio Climático a la Comunicación Marco de las Naciones Unidas.

MARCO TEÓRICO

En meteorología, la precipitación es el proceso de caída de las gotas de agua que descienden de una nube; atendiendo al tamaño y carácter de la gota de agua, bien sea en forma de gota de agua o cristal de hielo, puede tomar la forma de lluvia, llovizna, granizo o nieve. La cantidad de precipitación es el volumen de agua lluvia que pasa a través de una superficie en un tiempo determinado (Centella, Rubiera, & Pérez, 1996).

Durante los años comprendidos entre octubre de 2012 y septiembre de 2015, hubo tres regiones donde las precipitaciones caídas estuvieron por debajo del percentil 10 y las anomalías cálidas en la temperatura superficial del mar desempeñaron un papel importante en el forzamiento de los cambios de circulación que contribuyeron a las precipitaciones extremas (OMM, 2016).

El comienzo del año 2018 se caracterizó por un comportamiento anómalo de la lluvia, asociado a un episodio débil de La Niña, que ocasionó diversas crecidas. En cambio, las precipitaciones durante este año quedaron por debajo del percentil 10 (fue inferior a lo normal), en diversas regiones del mundo como en Australia y África, llegando a presenciarse un déficit de esta variable en Europa (Central y Septentrional) y en Argentina (OMM, 2019).

Los eventos extremos se producen en muy diferentes escalas espaciales y temporales. Se denominan eventos meteorológicos extremos a aquellos que ocurren en pequeñas escalas temporales (entre menos de un día y de 6 a 10 días), por ejemplo, los tornados o las tormentas eléctricas. En cambio, los eventos climáticos extremos se desarrollan más allá de la escala sinóptica, ejemplo de lo cual son los veranos secos y calurosos o los inviernos lluviosos y tormentosos. Espacialmente pueden ser divididos en concentrados (tornados) o difusos (sequía). Otra clasificación es aquella que los califica de simples o complejos: los eventos simples se caracterizan mediante una variable individual, como la temperatura; mientras que los complejos pueden involucrar una combinación crítica de variables asociadas con un estado del tiempo particular o con un fenómeno climático, tales como los ciclones (lluvia y viento) o la sequía (escasas precipitaciones y altas temperaturas).

También puede definirse como extremo climático a la ocurrencia de valores de variables meteorológicas que sobrepasan un determinado nivel, al que corresponde una pequeña probabilidad. El fenómeno extremo está integrado en el clima con una baja probabilidad de ocurrencia. El punto de partida para la evaluación de los riesgos climáticos de una determinada zona geográfica implica un conocimiento de los extremos climáticos en términos de frecuencia, para que posteriormente se fijen aquellos valores umbrales que han actuado como factor desencadenante del fenómeno extremo. El carácter adverso de un suceso meteorológico extremo viene condicionado no sólo por el valor de la magnitud que permite evaluarlo (racha de viento, intensidad de la precipitación, temperaturas máximas, déficit de lluvia, etc.), sino también por el impacto que produce en el entorno (Almarza, 2004).

Uno de los rasgos climáticos más importantes que caracterizan un lugar es, sin duda, su régimen pluviométrico. Para conocer la periodicidad con que ciertas cantidades de lluvia pueden registrarse en una determinada región, suele recurrirse al análisis estadístico de las series de datos pluviométricos disponibles en las estaciones meteorológicas ubicadas en las distintas zonas y realizar ajustes mediante funciones de distribución apropiadas. Este análisis debe realizarse con prudencia, dada la variabilidad asociada a la propia naturaleza de los fenómenos meteorológicos que originan la lluvia, como también por la recurrencia temporal de los casos extremos registrados en los observatorios. Precisamente, los eventos extremos, con intensidades de precipitaciones muy altas y baja frecuencia, son los estudios más interesantes, (Ávila & Martín, 2013).

El incremento en los episodios de lluvia intensa y extrema es superior en comparación con los cambios observados en la media a nivel mundial, lo que es consistente con análisis realizados por diferentes autores (Schönwiese & Trömel, 2003). Además, las probabilidades de que exista un aumento en los episodios de lluvia intensa y extrema son muy altas, al igual que la frecuencia y la intensidad con la que ocurran estos eventos (IPCC, 2018). Otros estudios se han dirigido hacia el cálculo de la frecuencia e intensidad de las precipitaciones, así como encontrar puntos de cambio en dicha variable a través del cálculo de los indicadores de extremos climáticos.

El trabajo con indicadores ayuda a transmitir la realidad del cambio climático que se está experimentando. Consiste en desarrollar indicadores, es decir, números y escalas destinados a realizar el seguimiento o nivel de algún aspecto del clima. El uso de indicadores presenta una serie de ventajas ya que estos están cuantificados, son objetivos, se basan en datos ofrecidos por prácticamente todos los países y demuestran cambios a lo largo del tiempo. La gran cantidad de indicadores existentes generados por los meteorólogos y climatólogos resultan útiles para muchos fines; sin embargo, a menudo usan diferentes fuentes y referencias que no siempre son comparables, y muchos también son bastante complejos. Por consiguiente, no todos ellos son igual de adecuados para ayudar al público no especializado a comprender como está cambiando el clima (OMM, 2017).

En este sentido, el Grupo de Expertos en Detección e indicadores de Cambio Climático (ETCCDI), ha formulado un conjunto de 27 indicadores para detectar las modificaciones en el comportamiento de los extremos del clima. Este conjunto de indicadores tiene 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. Estos estudios requieren la existencia de series lo suficientemente largas de datos diarios en formato digital. Las tendencias históricas se obtienen tras realizar un cuidadoso análisis de calidad de (Zhang & Yang, 2004) datos y homogenización de las series temporales de las bases de datos en la

región de estudio, utilizando los programas RClimdex y RHtest, respectivamente (<http://www.clivar.org/organizacion/etcddi/etcddi.php>). Existen 11 indicadores de extremos climáticos relacionados con la precipitación.

En las últimas décadas en Europa, específicamente en Polonia, la ocurrencia de precipitación extrema ha traído consigo daños considerables a la economía y la sociedad. A partir de un examen de los valores extremos de precipitación se demostró que la mayoría de los índices mostraron tendencias crecientes. Al comparar el período más frío (1961-1990) y el más cálido (1991-2015), se observó durante los últimos 25 años, la mayoría de los índices estadísticos fueron más altos. Sin embargo, los resultados de este examen solo fueron significativos en algunos casos (Pinskwar, Graczyk, & Kundzewicz, 2017).

Al analizar la evolución de varios índices de extremos climáticos a lo largo del siglo XXI en España, las variaciones de la precipitación son menos claras con respecto a las obtenidas para la temperatura, con una ligera tendencia al aumento en la duración del período seco y una tendencia a la disminución del número de días con lluvia. A diferencia de lo obtenido para los índices extremos ligados a la temperatura, la incertidumbre de los índices extremos ligados a la precipitación atribuible a los escenarios de emisiones es menor que la inducida por los modelos globales y adquiere algo más de importancia la debida a las técnicas de regionalización (Petisco de Lara, Ramos, & Martín, 2012).

En Cuba el aumento que se ha observado en la frecuencia e intensidad del evento El Niño/Oscilación del Sur (ENOS) durante el período poco lluvioso, en los últimos años, contribuye a incrementar las precipitaciones, principalmente en forma de episodios extremos, durante esta época del año (Burgos & González, 2012).

Por otra parte, se confirma que los valores más notables de la lluvia total máxima en 24 horas se asocian a huracanes, entre los que se destaca el huracán de 1926, además de que en las series anual y del período lluvioso la causa predominante son las tormentas locales severas, mientras que en el período poco lluvioso son los sistemas frontales (Roura, 2014). A través del análisis de los indicadores derivados de la precipitación se mostró una gran variabilidad y resultados no significativos estadísticamente en la Isla de la Juventud. No obstante, la precipitación total aumentó asociada a eventos de varios días consecutivos con precipitación y a eventos extremos que aportaron acumulados superiores al 95 percentil de la norma (González, Barcia, & Hernández, 2017).

Todo lo expuesto anteriormente ratifica el desafío de comprender y gestionar el riesgo de extremos climáticos, ya que para avanzar en la adaptación al cambio climático se requiere de una mejor caracterización y una mejor comprensión predictiva de los valores extremos de las variables meteorológicas como la precipitación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Estación meteorológica seleccionada y criterios de selección

Para la realización de este estudio se seleccionó la estación meteorológica de Casablanca. La misma se ubica sobre una colina de 50 metros de altitud junto a la Bahía de la Habana, a 23° 10' de latitud Norte y 82° 21' de longitud Oeste, en la región occidental del país. Dicha estación forma parte de la Red de Estaciones Meteorológicas del Instituto de Meteorología (INSMET). La selección fue realizada según diferentes criterios con los que se logró garantizar la representatividad de la estación, por lo que engloban un comportamiento general y confiable de la variable a estudiar. Los criterios son: el tamaño de la serie, la ubicación geográfica, la disponibilidad de información y existencia de investigaciones precedentes relacionadas con la temática.

Análisis de la variable de estudio y fuente de información

La variable meteorológica de estudio es la lluvia reportada en 24 horas (R24h), y cuyos máximos mensuales fueron obtenidos de la Base de Datos del Centro del Clima del INSMET. En la estación meteorológica seleccionada se cuenta con una serie diaria de dicha variable que abarca el período 1980-2018, y se obtuvieron del archivo de datos del Centro Meteorológico Provincial La Habana-Artemisa-Mayabeque. Estos datos se emplearon para calcular los indicadores de extremos climáticos seleccionados e identificar los principales cambios observados en los indicadores durante los últimos 39 años.

Indicadores de extremos climáticos seleccionados

Por último, para poder identificar cambios observados en la precipitación a partir de los indicadores de extremos climáticos, lo cual constituye nuestro tercer objetivo, se utilizó RClimdex (1.0), un programa que corre sobre R, un lenguaje para cálculos de gráficos estadísticos (<http://www.R-project.org>) y realiza tres pasos en su momento de corrida: Control de Calidad, Test de Homogeneidad y por último el cálculo de los indicadores seleccionados. Uno de los principales objetivos de construir indicadores de extremos climáticos es usarlos para estudios de monitoreo y detección de cambios climáticos. Actualmente, RClimDex incluye un procedimiento simple de Control de Calidad de datos que fue proporcionado por ClimDex.

Control de calidad

El Control de Calidad (CC) de los datos es un prerrequisito para el cálculo de los indicadores y tiene como objetivo detectar errores en los datos de observación. Estos controles tienen que ser previos a la aplicación del RHtest para asegurar la aleatoriedad simple de las series temporales. Las inhomogeneidades pueden ser por errores que presentan los datos de observación, los cuales son debido a múltiples causas, entre las que se encuentran:

errores instrumentales, errores del observador al efectuar la medida, errores debidos a la manipulación de los datos en los procesos de captura o de concentración, etc.

En general, los métodos de control se basan en análisis estadísticos en los que se fijan límites de confianza para niveles de probabilidad prefijados, de modo que, si el dato no se encuentra dentro de la banda de seguridad establecida, se califica como datos sospechosos y se indaga su verosimilitud para determinar si el dato es sospechoso o no.

El Control de Calidad de RCLimindex desarrolla el siguiente procedimiento:

1. Reemplaza todos los datos faltantes (codificados previamente como -99,9) en un formato interno que reconoce el software R.
2. Reemplaza todos los valores no razonables por NA.

Estos valores incluyen:

- a. Cantidades de precipitación diaria menores de cero.
- b. Temperatura máxima diaria menor que la temperatura mínima.

Los valores extremos son valores diarios que se encuentran fuera de un umbral definido por el usuario. Actualmente, este umbral se define como n veces la desviación estándar del valor del día, es decir, $[media - n * desviación estándar, media + n * desviación estándar]$ representa la desviación estándar para el día y n es una entrada del usuario. Para este estudio se decidió seleccionar la desviación estándar $n=3$.

Luego de completado el CC, cuatro archivos Excel (tempQC, prcpQC, tepstdQC, e indcalQC) son creados y guardados en un subdirectorío llamado log. Los primeros dos archivos contienen información sobre valores no razonables para la temperatura y precipitación. El tercer archivo marca todos los valores extremos posibles en temperatura diaria, junto con las fechas en que ocurrieron. El último archivo contiene los datos una vez hecho el control de calidad, que serán usados para el cálculo de los indicadores. En este archivo, solamente los valores faltantes y no razonables son reemplazados por NA. Para una fácil visualización, 4 archivos PDF que contienen gráficos de las series de tiempo (valores faltantes graficados como puntos rojos) de precipitación diaria y temperaturas diarias máximas y mínimas también son guardados en log.

Los indicadores son calculados a partir de los datos a los que se les ha hecho el CC. El archivo de datos de entrada original no es alterado; de manera que, si un usuario decide modificar el archivo de datos original para corregir algunos de los datos con problemas, el procedimiento Load Data y Run QC tiene que ser realizado de nuevo para que estos cambios no se reflejen en los indicadores.

Test de Homogeneidad

El test de homogeneidad utilizado fue propuesto en RCLimindex; se denomina RHtest ([http://cccma.seos.uv-](http://cccma.seos.uv-ic.ca/ETCCDMI/Test/RHTest)

[ic.ca/ETCCDMI/Test/RHTest](http://cccma.seos.uv-ic.ca/ETCCDMI/Test/RHTest)). Este está basado en el modelo de regresión en dos fases propuesto por Wang. L. 2003; usando para ello un período de 10 años en las estaciones. RHtest encuentra puntos de cambio en los promedios anuales de temperatura máxima (Tmax), temperatura mínima (Tmin), rango diurno de temperatura (DTR) y precipitación. Los puntos de cambio se aceptan como inhomogeneidades, si existen metadatos que respalden tal decisión. Si no existen metadatos, el estadístico a comprobar es F-Stat, que se compara con el valor crítico para un intervalo de confianza del 95%:

- Si $F\text{-Stat} \leq F\text{-}95\%$, el punto de cambio no es una inhomogeneidad.
- Si $F\text{-Stat} > F\text{-}95\%$, el punto de cambio puede ser una inhomogeneidad.

En este caso, debe contrastarse con otras estaciones del área. Si en las mismas no encontramos puntos de cambio similares y las tendencias en los indicadores son diferentes, concluiremos que la estación es no homogénea.

Indicadores seleccionados

De acuerdo a su relevancia en investigaciones tales como: (Burgos & González, 2012; González, Barcia, & Hernández, 2017); fueron seleccionados algunos de estos indicadores que se muestran a continuación:

- Rx1day: Máximo mensual de precipitación en un día.
- Rx5day: Máximo mensual de precipitación en 5 días consecutivos (mm).
- R10: Número de días en el año en que la precipitación es igual o mayor que 10 mm (días).
- R20: Número de días en el año en que la precipitación es igual o mayor que 20 mm (días).
- R100: 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).
- R99p: Precipitación anual total en que $RR > 99$ percentil (mm).
- PRCPTOT: Precipitación total anual en los días húmedos (mm).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de los cambios observados a partir de los indicadores de extremos climáticos

En este epígrafe se realizó una descripción de indicadores de extremos climáticos seleccionados, correspondientes a la precipitación, durante el período de 1980-2018. A partir de estos se identificaron los principales cambios observados en el comportamiento de los mismos, el cual tiene gran importancia para poder comprender como varía la precipitación en la estación meteorológica de Casablanca en las últimas décadas.

Descripción de los indicadores seleccionados

Máximo de precipitación en un día (Rx1d) y máximo de precipitación en cinco días consecutivos (Rx5d)

En la variación interanual, los máximos de lluvia en 24h muestran valores que se encuentran entre los 54,5 mm (2001) y los 291,9 mm (1982). Otros años con registros bajos de este indicador son: 1984, 1986, 1995, 2002, 2004 y 2007; con valores inferiores a los 75,5 mm. Mientras que, otros registros significativos ocurrieron en los años: 1993, 1999, 2005, 2013 y 2015; con valores superiores a los 160,0 mm (Figura 1).

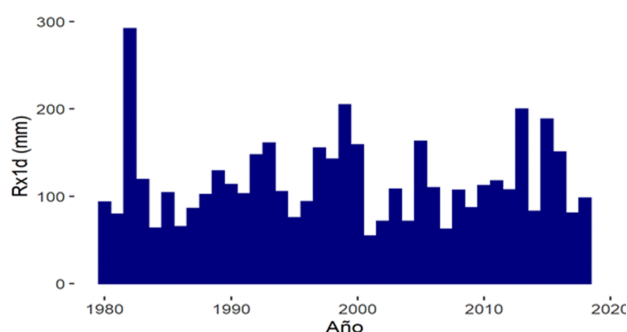


Figura 1. Variación interanual de Rx1d en la estación meteorológica de Casablanca, 1980-2018

Se muestran los valores obtenidos por los estadígrafos descriptivos, donde se observa que como media ocurren 116,6 mm, se presenta una asimetría positiva y una curtosis aguda, lo que indica que los datos están concentrados cerca del valor medio. En cuanto al coeficiente de variación el resultado obtenido se encuentra por debajo del 50 %, con un valor de 40,9, indicando que el valor de la media es representativo del conjunto de datos y, por ende, este conjunto es homogéneo (Tabla 1).

Al comparar los resultados de este indicador durante el período de 1980-2018 (serie corta) con los resultados obtenidos sobre la lluvia máxima en 24h durante el período de 1909-2018 (serie larga); se observa como ambas series presentan asimetría positiva y curtosis aguda. Por otra parte, los valores máximos se alcanzan en meses diferentes, en el caso de la serie larga el valor máximo reportado ocurre en el mes de octubre con 510,0 mm, mientras que en la serie corta se alcanza en el mes de junio con un valor de 291,9 mm; siendo estos dos meses los más heterogéneos de sus respectivas series. Por último, al analizar los coeficientes de variación de ambas series se evidencia como durante

el período de 1909-2018 hay mucha más variación que durante el período comprendido entre 1980-2018, lo cual puede estar asociado a la gran cantidad de datos que recoge dicho período (Tabla 1).

En Casablanca, el mayor valor reportado de lluvia máxima en cinco días consecutivos durante el período de 1980 a 2018, es de 347,1 mm en el año 1982 (dicho valor se asocia la ocurrencia de un organismo ciclónico subtropical), mientras que el valor mínimo más bajo es 86 mm en el año 2017. Otros años en los que se reportan bajos acumulados en 5 días consecutivo son: 1986 y 1996; con 95,1 mm y 93,7 mm respectivamente. Mientras que, otros años con acumulados significativos son: 2005 y 2013 con 288,8 mm y 334,8 mm respectivamente (Figura 2).

Se muestran los valores de los estadígrafos obtenidos para la lluvia máxima en cinco días consecutivos. En esta se observa que el valor de la media es de 173,0 mm, además de que la asimetría es positiva y la curtosis aguda; lo que indica que hay una gran concentración de los valores cercana a la media. En cuanto al coeficiente de variación el valor obtenido se encuentra por debajo del 50 %, lo que evidencia poca variabilidad de este indicador durante el período de estudio y, por ende, corrobora que la serie es homogénea (Tabla 2).

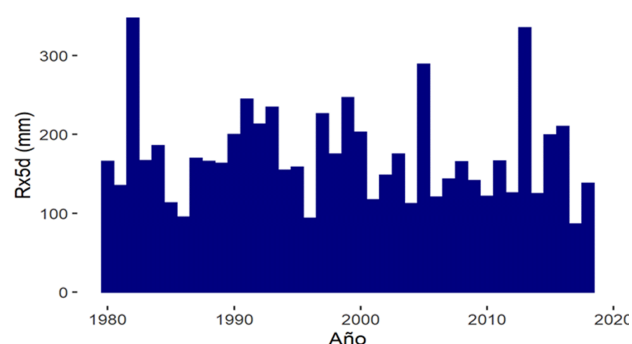


Figura 2. Variación interanual de Rx5d en la estación meteorológica de Casablanca, 1980-2018

Al analizar detalladamente la lluvia máxima en cinco días consecutivos para cada mes del año, desde 1980 a 2018 se evidencia que las menores oscilaciones se reportan en los meses de febrero y marzo, con valores concentrados entre 1,0 mm y 5,8 mm. La mayor heterogeneidad se presenta en el mes de octubre con valores que oscilan entre los 18,8 mm y los 288,8 mm. En el mes de junio se reportó un valor extremo de 347,1 mm (año 1982), (Figura 3).

Tabla 1. Estadígrafos descriptivos para la lluvia en 24h durante los períodos de 1909-2018 y 1980-2018

Período	Máximo	Mínimo	Asimetría	Curtosis	Coefficiente de Variación	Media
1909-2018	510,0	38,1	3,0	17,3	59,0	106,7
1980-2018	291,9	54,5	1,4	5,8	40,9	116,5

Tabla 2. Estadígrafos descriptivos de Rx5d para el período de 1980-2018

Indicador	Media	Asimetría	Curtosis	Coefficiente de Variación
Rx5d	173,0 mm	1,1	4,1	34,9

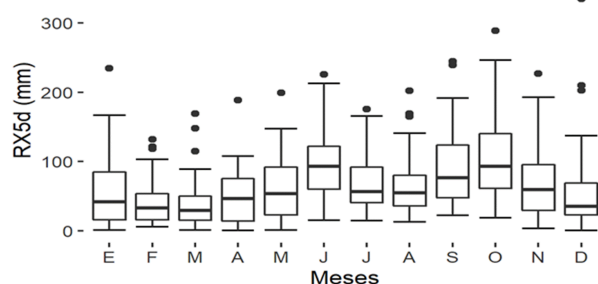


Figura 3. Comportamiento de Rx5d por meses en la estación meteorológica de Casablanca, 1980-2018. Días con precipitación ≥ 10 mm, 20 mm y 100 mm

Se observa el comportamiento interanual de la cantidad de días con lluvia mayor o igual a los 10 mm, donde se evidencia que la mayor cantidad de días se reporta en el año 1988 (50 días), mientras que el menor número de días se obtiene en el año 2009 (22 días). También se observa que durante el período 1990-2000, la cantidad de días varía muy poco, con valores que oscilan entre 30 y 40 aproximadamente. A partir del año 2001, las fluctuaciones comienzan a ser más marcadas oscilando entre los 20 y los 45 días aproximadamente y se aprecia un aumento de este indicador en los últimos años (Figura 4).

Al analizar la cantidad de días con lluvia mayor o igual que 20 mm se observa que dicho indicador varía a lo largo de los años. El máximo de días con lluvia igual o por encima de este umbral es 32 en el año 1983, mientras que el valor mínimo obtenido para este indicador es de 11 días en el año 2009. También se observa que la mayor cantidad de resultados obtenidos oscilan entre los 10 y los 20 días, además de que desde mediados de los 80 hasta finales de los 90 existen variaciones, las cuales no son marcadas, mientras que desde 1998 hasta 2009 las variaciones son mucho mayores (Figura 4). Característica similar se manifiesta con R10.

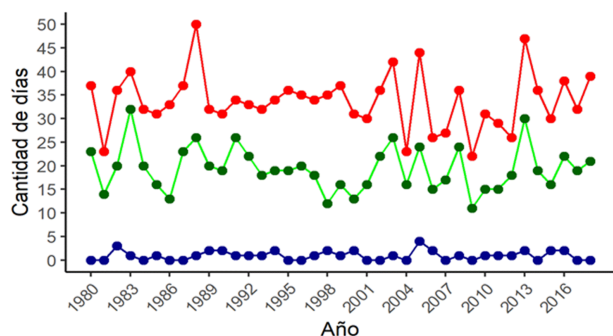


Figura 4. Variación interanual de R10 (rojo), R20(verde) y R100 (azul) en la estación meteorológica de Casablanca en el período de 1980-2018

Por último, se muestra la variación interanual de la lluvia mayor o igual que 100,0 mm. En esta figura se observan grandes fluctuaciones, donde el número mínimo de días es "0" y se obtiene para 15 de los años comprendidos

en el período de estudio; y el máximo obtenido para este indicador es de 4 días en el año 2005. También, se evidencia como en la mayoría de los años la cantidad de días obtenidos oscila entre 1 y 2 (Figura 4).

Precipitación anual total en que $RR > 95$ percentil y $RR > 99$ percentil

La precipitación anual total en que $RR > 95$ percentil muestra valores que oscilan entre los 54,5 mm en el año 2001 y los 850,6 mm en el año 2013. Este indicador presenta variaciones marcadas a partir del año 2000 y en los últimos años ha disminuido (Figura 5).

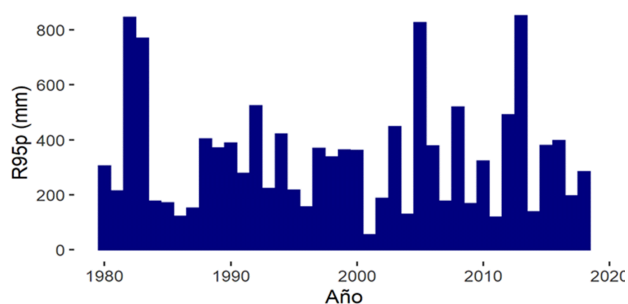


Figura 5. Variación interanual de R95p en la estación meteorológica de Casablanca, 1980-2018

Mientras que la precipitación anual total en que $RR > 99$ percentil muestra valores que se encuentran en el rango de "0 mm" para 19 de los años comprendidos en el período de estudio; y los 522,9 mm en el año 2005. Dicho indicador presenta grandes variaciones, donde en los últimos años alcanza el valor mínimo (Figura 6).

En cuanto a los resultados de los estadígrafos descriptivos obtenidos para ambos indicadores, se observa que el valor de la media es mucho mayor para R95p con 337,9 mm. Por otra parte, se muestra que la asimetría es positiva y la curtosis es aguda en ambos casos, lo que indica que los datos de las series se encuentran concentrados cerca del valor de la media. Por último, al analizar los resultados del coeficiente de variación se evidencia que la precipitación anual total en que $RR > 99$ percentil, es mucho más variable en comparación con R95p; alcanzando un valor de 124,7 %, el cual está por encima del 100 % (Tabla 3).

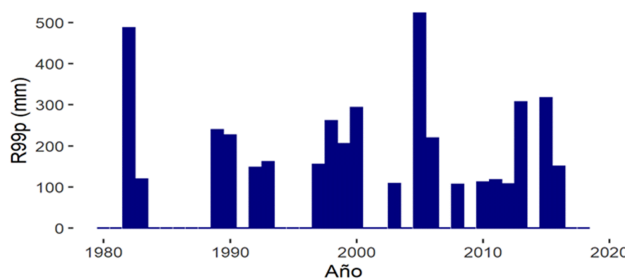


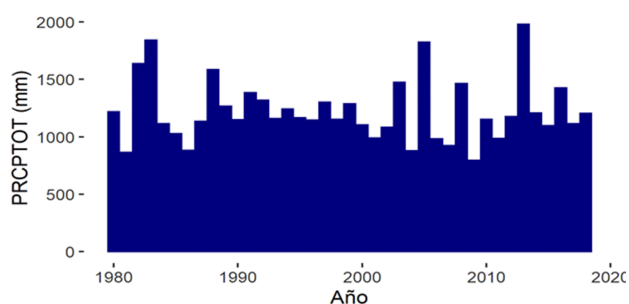
Figura 6. Variación interanual de R99p en la estación meteorológica de Casablanca, 1980-2018

Tabla 3. Estadígrafos descriptivos de R95p y R99p para el período de 1980-2018

Indicador	Asimetría	Curtosis	Coefficiente de Variación	Media
R95p	1,1	3,7	60,7	337,9 mm
R99p	1,2	4,0	124,7	111,6 mm

Precipitación total anual en los días húmedos (PRCPTOT)

La Figura 7 muestra el comportamiento de la precipitación total anual en los días húmedos. Se observan grandes fluctuaciones en este indicador durante el período comprendido entre los años 2000 y 2011. La mayoría de los años del período de estudio muestran valores de precipitación total anual en los días húmedos que oscilaron entre los 1000 mm y los 1500 mm. Este indicador muestra su máximo en el año 2013 con un valor de 1979,7 mm, mientras que el mínimo se reportó en el año 2009 con 922,4 mm.

**Figura 7.** Variación de PRCPTOT en la estación meteorológica de Casablanca, 1980-2018

La media obtenida para este indicador es de 1222,7 mm. La asimetría es positiva y la curtosis es aguda, evidenciando una gran concentración de los datos de la serie cerca del valor obtenido por la media. El coeficiente de variación es de 22,1 % y se encuentra muy por debajo del 50 %; lo cual indica que los resultados de este indicador prácticamente no varían. De esta forma se puede afirmar que la serie es homogénea (Tabla 4).

Cambios observados en las tendencias de los indicadores

A continuación, se muestran los principales cambios observados en los indicadores de extremos climáticos en la estación meteorológica de Casablanca durante el período 1980-2018.

Los máximos de precipitaciones registradas en 24h (Rx1d) muestran una tendencia al aumento de este indicador, con una magnitud de 0,28 mm/décadas. Mientras que los máximos de precipitaciones registradas en cinco días consecutivos (Rx5d) presenta una disminución de 6,04 mm/décadas. En ambos indicadores no se detectó ninguna significación estadística (Tabla 5).

Al analizar las precipitaciones por encima de los 10, 20 y 100 mm se observa una disminución de la cantidad de días donde la lluvia supera los 10 y 20 mm con magnitudes de 0,34 días/décadas y 0,52 días/décadas respectivamente. Mientras que se evidencia un aumento en la cantidad de días con lluvia por encima de los 100 mm; con una razón de cambio de 0,04. Por último, se observa que ninguno de los indicadores mencionados con anterioridad presentan significación estadística (Tabla 5).

La precipitación anual total en que RR>95p (días muy húmedos) muestra una disminución en la cantidad de milímetros de lluvia acumulados por encima de dicho percentil, con una razón de cambio de 4,53 mm/décadas. También se observa un gran aumento en la precipitación anual en que RR>99p, con un valor de 10,39 mm/décadas al igual que los indicadores anteriores, ninguno de estos dos mostró significación estadística. Por último, los valores obtenidos para el índice de precipitación anual total (PRCPTOT), muestra una disminución en los acumulados de lluvia con una razón de cambio de 9,08 mm/décadas y no muestra significación estadística (Tabla 5).

Tabla 4. Estadígrafos descriptivos de PRCPTOT para el período de 1980-2018

Indicador	Asimetría	Curtosis	Coefficiente de Variación	Media
PRCPTOT	1,0	3,8	22,1	mm

Tabla 5. Parámetros estadísticos obtenidos para los indicadores de extremos climáticos en la estación meteorológica de Casablanca, 1980-2018

Indicador	Slope	Std	P value	Razón de cambio por décadas	Significación estadística
Rx1d	0,028	0,69	0,968	0,28	N.S
Rx5d	-0,604	0,866	0,49	-6,04	N.S
R10	-0,034	0,087	0,701	-0,34	N.S
R20	-0,052	0,068	0,453	-0,52	N.S
R100	0,004	0,014	0,799	0,04	N.S
R95p	-0,453	2,958	0,879	-4,53	N.S
R99p	1,039	2,004	0,607	10,39	N.S
PRCPTOT	-0,908	3,902	0,817	-9,08	N.S

Realizando un análisis integrado del comportamiento de las tendencias de los índices calculados para la estación meteorológica de Casablanca durante el período de 1980-2018, al comparar estos resultados con los obtenidos a nivel mundial, regional y en Cuba, se observan una disminución generalizada para la mayoría de los indicadores. La tendencia de los máximos de precipitación registrados en cinco días consecutivos aumenta en el mundo, mientras, en Casablanca, las tendencias se comportan de manera contraria. Sin embargo, los resultados que se han obtenido en la región de América y el Caribe, se asemejan mucho más a los obtenidos en este epígrafe (Peterson et al., 2002).

La precipitación total anual no tiene una tendencia significativa en la región y durante el período de 1961 hasta el 2003, este indicador no presentó ninguna disminución; sin embargo, en esta investigación que abarca el período de 1980-2018 se evidencia como los acumulados totales anuales de lluvia disminuyen. También existen diferencias en los resultados de los índices de precipitación extrema (R95p, Rx5d), ya que a nivel regional y en algunos estudios realizados en nuestro país se evidencia un comportamiento creciente de los mismos indicando que cada vez los años son más húmedos (Stephenson, y otros, 2014).

No obstante, existen semejanzas que se deben destacar como es el hecho de que R99p (días extremadamente húmedos), muestran tendencias crecientes tanto en la región, como en el territorio nacional. También los máximos de precipitación en un día evidencian un aumento, lo que concuerda con investigaciones recientes en nuestro país. En general, estos resultados obtenidos, muestran una disminución generalizada de la mayoría de los indicadores de extremos climáticos, lo cual puede estar relacionado a la existencia de factores que estén modificando el comportamiento de los mismos (Peterson et al., 2002).

CONCLUSIONES

- En la estación Casablanca, los indicadores de extremos de precipitación muestran tendencias mixtas durante el período 1980-2018. El máximo de lluvia en un día (Rx1d) y la precipitación asociada al percentil 99 (R99p) aumentan ligeramente, mientras que el resto de los indicadores, como la lluvia máxima en cinco días (Rx5d) y la precipitación total anual (PRCPTOT), disminuyen.
- Los cambios observados en los ocho indicadores ETCCDI analizados no resultan estadísticamente significativos. Esta falta de significación evidencia que la variabilidad de la precipitación en Casablanca responde fundamentalmente a procesos naturales internos del clima, sin que se detecten modificaciones claras y sistemáticas en los extremos de lluvia durante las casi cuatro décadas evaluadas.
- La precipitación total anual en días húmedos (PRCPTOT) presenta una tendencia negativa (-9,08 mm/década), acompañada de una disminución

en el número de días con lluvia ≥ 10 mm (R10) y ≥ 20 mm (R20). Estos resultados contrastan con los aumentos globales reportados para estos indicadores, lo que sugiere un comportamiento regional diferenciado en el occidente de Cuba.

- A pesar de la disminución generalizada de la mayoría de los indicadores de extremos húmedos (R95p, Rx5d, R10, R20 y PRCPTOT), el indicador de eventos extremadamente húmedos (R99p) muestra un aumento de 10,39 mm/década. Esta divergencia indica que, aunque los días muy lluviosos son menos frecuentes, los eventos más extremos tienden a ser más intensos.
- La alta variabilidad interanual de todos los indicadores, junto con coeficientes de variación que superan el 100 % en el caso del R99p, revela que la precipitación en Casablanca se caracteriza por una fuerte irregularidad natural. Esta variabilidad impone limitaciones para la detección de tendencias climáticas inducidas por el cambio climático en la escala temporal analizada.

BIBLIOGRAFÍA

- Almarza, C. (2004). Olas de calor en España. *Ambienta: La revista del Ministerio de Medio Ambiente*(35), 58-59.
- Armenta, G. (2016). Análisis de tendencia climáticas y eventos climáticos extremos para Ecuador. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Ávila, K., & Martín, J. (2013). Análisis estadístico de los eventos extremos de precipitación en la zona centro y sur de Chile continental. *Cuadernos Geográficos* (52), 69-83.
- Burgos, Y., & González, I. (2012). Análisis de indicadores de extremos climáticos en la Isla de Cuba. *Revista de Climatología*, 12, 81-91.
- Centella, A., Rubiera, J., & Pérez, R. (1996). Elementos de Meteorología y Climatología. Suplemento especial.
- Díaz, C., & Batanero, C. (2006). ¿Cómo puede el Método Bayesiano contribuir a la investigación en Psicología y Educación? . *Paradigma*, 35-54.
- ETCCDI . (2016). Climate and Ocean- Variability. Predictability. and Change. (Expert Team on Climate Change Detection and Indices). Recuperado el 5 de Junio de 2020, de <http://www.clivar.org/clivarpapers/etccdi/indices-data/indices-data>
- González, I., Barcia, S., & Hernández, D. (2017). Comportamiento de indicadores de extremos climáticos en la Isla de Juventud. *Revista Cubana de Meteorología*, 23 (2), 217-225.
- Griffiths, G., Salinger, M., & Leleu, I. (2003). Trends in extreme daily rainfall across the South Pacific and relationship to the South Pacific Convergence Zone. *International Journal of Climatology*, 23 (8), 145-149.
- Hernández, A., Guenni, L., & Sansó, B. (2011). Características de la precipitación extrema en algunas localidades de Venezuela. *Interciencia*, 36 (3), 185-191.

- IPCC. (2018). Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Informe en Síntesis. Ginebra. Suiza.
- Klein, A., & Können, G. (2003). Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe. 1946-1999. *International Journal of Climate*, 16 (22), 3665-3680.
- Marín, J. (2017). Dinámica de los eventos hidroclimáticos extremos en la cuenca del río Chinchiná por efecto de la variabilidad climática. Tesis de Maestría. 141. Manizales. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Martínez, M., Sánchez, J., & Ojeda, W. (2007). Determinación de períodos de sequía y lluvia intensa en diferentes regiones de México ante escenarios de Cambio Climático. México.
- OMM. (2016). Estado del Clima mundial en 2011-2015. Organización Meteorológica Mundial. Ginebra. Suiza.
- OMM. (2017). Declaración sobre el del clima mundial en 2016. Organización Meteorológica Mundial. Ginebra. Suiza.
- OMM. (2019). Declaración sobre l estado del Clima munial en 2018. Organización Meteorológica Mundial. Ginebra. Suiza.
- OMM. (2020). Declaración sobre el estado del clima mundial en 2019. Organización Meteorológica Mundial. Ginebra. Suiza.
- Peterson, T., Taylor, M. A., Demeritte, R., Duncombe, D., Burton, S., Thompson, E., y Gleason, B. (2002). Recent Changes in Climate Extremes in the Caribbean Region. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 107.
- Petisco de Lara, S., Ramos, P., & Martín, J. (2012). Extremos de temperatura y precipitación para el siglo XXI en España. Área de Evaluación y Modelización del Clima, 198-205.
- Pinskwar, I., Graczyk, D., & Kundzewicz, Z. (2017). The heat goes on-changes in ndeces of hot extremes in Poland. *Theoretical and Applied Climatology*, 129, 459-471.
- Roura, P. (2014). Análisis de modelos probabilísticos para caracterizar la lluvia total máxima en 24 horas . Tesis de Maestría. INSMET. La Habana. Cuba.
- Schönwiese, C., & Trömel, S. (2003). Secular change of extreme monthly precipitation in Europe. *Theoretical and Applied Climatology*, 75, 245-250.
- Stephenson, T. S., Vincent, L. A., Allen, T., Van Meerbeeck, C., McLean, N., Peterson, T. C., & Trotman, A. R. (2014). Changes in extreme temperature and precipitation in the Caribbean region. 1961-2010. *International Journal of Climatology*, 34(9).
- Villacis, E., & Marrero, N. (2017). Precipitaciones extremas en la ciudad de Quito. provincia Pinchincha-Ecuador. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 38 (2), 102-113.
- Zhang, X., & Yang, F. (2004). RCLimDex (1.0). Manual de usuario. Ontario, Canadá.