

# ANÁLISIS DE PRECIPITACIONES EXTREMAS EN EL CENTRO DE MÉXICO MEDIANTE INDICADORES DE CAMBIO CLIMÁTICO

<sup>1</sup>Ruperto Ortiz Gómez, <sup>1</sup>Luis Javier Muro Hernández y <sup>2</sup>Jesús Enrique León Jiménez

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad Académica de Ingeniería. Zacatecas, México.

<sup>2</sup>Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ingeniería y Arquitectura. Tabasco, México.

E-mail: ortizgr@uaz.edu.mx, javier.muro.hdz@gmail.com, napoleon1@hotmail.com

## Introducción

La temperatura promedio de la superficie del planeta se ha incrementado alrededor de 0.6 °C en el siglo XXI y muchas áreas en todo el mundo han experimentado calentamientos significativos durante los últimos 50 años (Vincent et al., 2005). Como consecuencia de estas variaciones en el sistema climático, los impactos negativos se están intensificando y los desarrollos económicos están incrementando su vulnerabilidad (Zhang et al., 2012). El cambio climático aparte de incrementar las temperaturas extremas, también influye en el aumento en la frecuencia e intensidad de los eventos climáticos extremos tales como inundaciones, tormentas, sequías, entre otros (Jiang et al., 2016), y estos cambios pueden tener serios impactos en la agricultura, economía, ecosistemas, población, salud, entre otros sectores (Guan et al., 2015).

Los cambios y/o tendencias en los eventos extremos son un fuerte indicador del cambio climático (Jiang et al., 2016). Las tendencias en los cambios de las precipitaciones y temperaturas extremas han sido objeto de investigaciones en décadas recientes. Este estudio tiene como objetivo analizar posibles cambios en la intensidad, frecuencia y duración de los eventos extremos de precipitación en el centro de México, mediante el uso de los índices de extremos de precipitación del ETCCDI.

## Ubicación de la zona de estudio y base de datos

El estado de Zacatecas está localizado en el centro de México, y cuenta con cuatro diferentes climas, particularmente secos, que están distribuidos de la siguiente manera: seco y semiseco (73%), templado subhúmedo (17%), muy seco (6%) y cálido subhúmedo (4%).

En este trabajo se seleccionaron 10 series de datos diarios de precipitación (figura 1) provenientes de la base de datos CLICOM de la Comisión Nacional del Agua, las cuales tienen una longitud de registro común de 52 años (1961-2012).

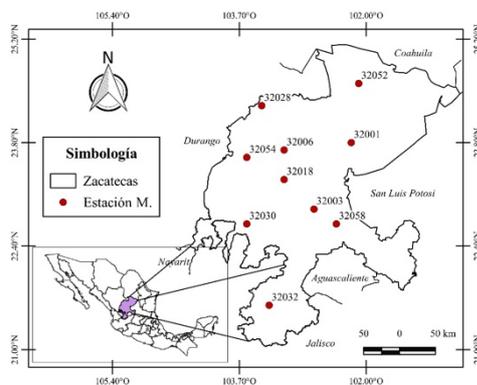


Figura 1.- Distribución espacial de las estaciones meteorológicas.

## Análisis previos de la información

Una vez seleccionados los datos, se sometieron a un control de calidad y homogeneidad previo al análisis de los índices del ETCCDI. El control de calidad para las series de precipitación

consistió en localizar errores en los datos (valores menores que cero) y detectar valores extremos a partir de un umbral fijo establecido según la zona de estudio, como lo proponen Zhang y Yang (2004). Ninguna de las series de datos presentó errores en sus valores, es decir, no se detectó ningún valor de precipitación menor a cero. Respecto a los valores extremos, se detectaron valores altos en la mayoría de las estaciones, sin embargo, ninguno de ellos se fue extremadamente alto para considerarlo como un error, por lo cual se conservaron todos los valores originales de las series. La homogeneidad de las series fue revisada mediante cinco pruebas estadísticas: Standard Normal Homogeneity Test (SNHT), Buishand Range Test, Pettitt Test, Von Neumann Ratio Test, Penalized Maximal t Test (PMT).

## Índices del ETCCDI

En esta investigación se calcularon 10 índices de precipitaciones extremas del ETCCDI, adoptando la división de los índices que considera Alexander et al. (2006): 1) índices basados en percentiles (R95p y R99p), 2) índices absolutos (RX1day y RX5day), 3) índices con umbrales fijos (R10 y R20), 4) índices de duración (CDD, CWD) y 5) otros índices (PRCPTOT y SDII).

## Cálculo de tendencias

Para el cálculo de la tendencia se utilizó la técnica no paramétrica de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975). La prueba de Mann-Kendall se aplicó de manera conjunta con la prueba de Theil-Sen's (Theil, 1950; Sen, 1968) tal como se utilizó para detectar tendencias en los índices del ETCCDI por Alexander et al. (2006), Santos y Frago (2013), Villafuerte II et al. (2014), entre otros. Para tomar en cuenta los efectos de la auto-correlación en el cálculo de la tendencia, se utilizó la metodología de pre-blanqueo libre de tendencia (trend-free pre-whitening, TFPW) propuesta por Yue et al. (2002). Se considera que una tendencia es estadísticamente significativa a un nivel de significancia de 0.05 (p-valor < 0.05).

## Resultados

### Tendencias en índices basados en percentiles

Los resultados del análisis de tendencia del promedio regional del índice *días muy húmedos* (R95p) a escala anual muestran una tendencia a disminuir a una tasa de -0.1002 mm/año, sin embargo, la tendencia no es estadísticamente significativa (p-valor < 0.05) en los 52 años de registros de precipitación. Por otro lado, la tendencia promedio regional del índice *días extremadamente húmedos* (R99p) muestra una tendencia positiva a una tasa de 0.1456 mm/año, que no es estadísticamente significativa.

### Tendencias en índices absolutos

La tendencia promedio regional del índice *cantidad máxima de precipitación en 1 día* (RX1day) muestra una magnitud negativa de -0.0333 mm/año, sin embargo, la tendencia no es

estadísticamente significativa. Para el caso del índice *días extremadamente húmedos* (RX5day), la tendencia promedio regional para las 10 estaciones seleccionadas presenta una magnitud negativa de  $-0.0964$  mm/año, y tampoco es estadísticamente significativa.

#### Tendencias en índices con umbrales fijos

El índice *número de días con precipitación intensa* (R10) presenta una tendencia negativa con una magnitud de  $-0.0732$  días/año, y a pesar de que se encuentra en el límite a ser significativa, no lo es.

La tendencia promedio regional del índice *número de días con precipitación muy intensa* (R20) no mostró tendencia al promediar las 10 series seleccionadas.

#### Índices de duración

La tendencia promedio regional del índice *días secos consecutivos* (CDD) a escala anual presenta una tendencia positiva con una tasa de  $0.1830$  días/año, pero no es estadísticamente significativa.

Con respecto al índice *días húmedos consecutivos* (CWD), la tendencia promedio regional de este índice mostró una tendencia negativa con una magnitud de  $-0.0282$  días/año, misma que es estadísticamente significativa. Desde el punto de vista espacial, el centro y oeste del estado muestran una tendencia negativa del índice CWD, mientras que el resto del territorio estatal no muestra tendencia.

#### Tendencias en otros índices

Para el periodo de análisis, el índice *precipitación total anual en los días húmedos* (PRCPTOT) tiene una tendencia negativa con una magnitud de  $-1.1540$  mm/año (figura 2), sin embargo, ésta no es estadísticamente significativa. Se puede observar que la mayoría de las series del índice PRCPTOT presenta una tendencia negativa, y éstas están distribuidas a lo largo de todo el estado (figura 3), y las series que son estadísticamente significativas se localizan en el norte, sur y oeste de Zacatecas. Por otra parte, las estaciones que presentaron tendencias positivas estadísticamente no significativa se localizan en el noreste y noroeste del estado.

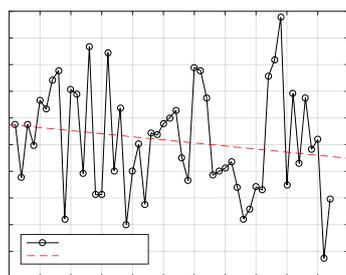


Figura 2.- Tendencia promedio regional del índice PRCPTOT a escala anual.

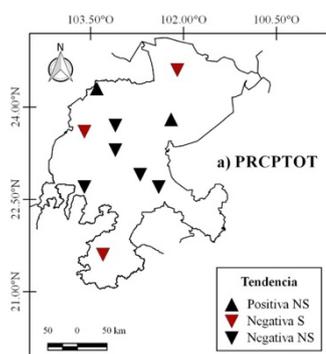


Figura 3.- Distribución espacial de las tendencias del índice PRCPTOT.

## Conclusiones

Los resultados no muestran una consistencia total a lo largo de todo el estado de Zacatecas respecto a cada uno de los índices analizados, pero permitieron delimitar zonas bien definidas de acuerdo al signo de la tendencia de dichos índices. Según los índices del ETCCDI de cambio climático, los eventos extremos de precipitación, en la mayor parte del estado, muestran una disminución en intensidad y frecuencia. Para algunos casos, en algunas zonas estos eventos están aumentando ligeramente su duración, sin embargo, la precipitación total presenta una disminución constante en todo el estado. Salvo en el noroeste de Zacatecas, los periodos secos están aumentando, lo cual significa una disminución de la precipitación total, como lo muestran los índices de cambio climático que evalúan la cantidad de precipitación.

## Referencias

- Alexander, L. V., Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A. M. G., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., Tagipour, A., Rupa Kumar, K., Revadekar, J., Griffiths, G., Vincent, L., Stephenson, D. B., Burn, J., Aguilar, E., Brunet, M., Taylor, M., New, M., Zhai, P., Rusticucci, M. y Vazquez-Aguirre, J. L. (2006). "Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation". *Journal of Geophysical Research* 111: 1-22. D05109, doi:10.1029/2005JD006290.
- Guan, Y., Zhang, X., Zheng, F., and Wang, B. (2015). "Trends and variability daily temperature extremes during 1960-2012 in the Yangtze River Basin, China". *Global and Planetary Change* 124: 79-94. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2014.11.008>
- Jiang, C., Mu, X., Wang, F., and Zhao, G. (2016). "Analysis of extreme temperature events in the Qinling Mountains and surrounding area during 1960-2012". *Quaternary International* 392: 155-167.
- Kendall, M. G. (1975). *Rank Correlation Methods*. Griffin: London.
- Mann, H. B. (1945). "Nonparametric tests against trend". *Econometrica* 13: 245-259.
- Santos, M., and Fragoso, M. (2013). "Precipitation variability in Northern Portugal: Data homogeneity assessment and trend in extreme precipitation indices". *Atmospheric Research* 131: 34-45. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.04.008>
- Sen, P. K. (1968). "Estimates of the regression coefficients based on Kendall's tau". *J. Am. Stat. Assoc.* 63: 1379-1389.
- Theil, H. (1950). A rank invariant method of linear and polynomial regression analysis, Part 3. *Netherlands Akademie van Wetenschappen, Proceedings* 53: 1397-1412.
- Vincent, L. A., Peterson, T. C., Barros, V. R., Marino, M. B., Rusticucci, M., Carrasco, G., Ramirez, E., Alves, L. M., Ambrizzi, T., Berlato, M. A., Grimm, A. M., Marengo, J. A., Molion, L., Moncunill, D. F., Rebello, E., Anunciação, Y. M. T., Quintana, J., Santos, J. L., Baez, J., Coronel, G., García, J., Trebejo, I., Bidegain, M., Haylock, M. R. y Karoly, D. (2005). "Observed trends in indices of daily temperature extremes in South America 1960-2000". *American Meteorological Society* 18: 5011-5023.
- Villafuerte II, M. Q., Matsumoto, J., Alasaka, I., Takahashi, H. G., Kubota, H., and Cinco, T. A. (2014). "Long-term trends and variability of rainfall extremes in the Philippines". *Atmospheric Research* 137: 1-13. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2013.09.021>.
- Yue, S., Pilon, P., Phinney, B., and Cavadias, G. (2002). "The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series". *Hydrol. Process.* 16: 1807-1829.
- Zhang, Q., Singh V., and Li J. (2012). "Spatio-temporal variations of precipitation extremes in Xinjiang, China". *Journal of Hydrology* 434-435: 7-19.
- Zhang, X., and Yang, F. (2004). "RClimDex (1.0) user manual". Climate Research Branch Environment Canada Downsview, Ontario Canada.