



Quinto
Congreso Nacional
de Riego y Drenaje
COMEII-AURPAES 2019

Septiembre 2019 | Mazatlán, Sinaloa



Artículo: COMEII-19017

Mazatlán, Sin., del 18 al 20

de septiembre de 2019

ANÁLISIS DE ÍNDICES DE CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ESTADO DE ZACATECAS

Oscar Pita Díaz^{1*}; David Ortega-Gaucin²

^{1,2} Coordinación de Hidrología. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Paseo Cuauhnáhuac 8532, Progreso, Jiutepec, Morelos, C.P. 62550. México.

opitadiaz_19@hotmail.com – 762 114 5457 (*Autor de correspondencia)

Resumen

En los últimos años, los fenómenos hidrometeorológicos extremos en México han sido más frecuentes y de mayor severidad, posiblemente como consecuencia del cambio climático global. Se analizan los cambios en los valores extremos de temperatura y precipitación en el estado de Zacatecas mediante el cálculo de índices de cambio climático, establecidos por el Grupo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático (ETCCDI, por sus siglas en inglés), a escalas de tiempo anuales y estacionales. Para ello, se utilizaron bases de datos del sistema CLICOM del Servicio Meteorológico Nacional, abarcando un periodo de 40 años (1976-2015); utilizando estaciones climatológicas que contaran con un mínimo de 32 años de registros disponibles. Las bases de datos fueron sometidas a un control de calidad, homogeneización y relleno de datos faltantes con el software Climatol, programado en el Lenguaje R; además de utilizar series de datos de reanálisis como referencia a estaciones climatológicas alejadas entre sí. Los resultados obtenidos muestran un incremento en la temperatura máxima, especialmente en los meses de primavera y verano, disminución de la temperatura mínima en las estaciones de otoño e invierno, así como eventos húmedos y secos más recurrentes. Se concluye que el comportamiento de los extremos de temperatura y precipitación puede ocasionar afectaciones en la agricultura de temporal, que es una de las principales actividades económicas en el estado de Zacatecas.

Palabras claves: cambio climático, fenómenos extremos, temperatura, precipitación, climatología.



Introducción

La recurrencia e intensidad de los fenómenos hidrometeorológicos en los últimos años en el planeta, ha llevado a los científicos a establecer la relación del cambio climático con el incremento de los valores extremos en algunas variables como la temperatura y la precipitación. Sin embargo, las actividades humanas han contribuido en el desequilibrio del sistema climático terrestre (cambios de uso de suelo, emisión de gases de efecto invernadero, etc.).

Los estudios sobre fenómenos hidrometeorológicos extremos han tenido gran relevancia de acuerdo a los impactos señalados por los resultados de los modelos obtenidos a través del Proyecto de Inter-comparación de Modelos Acoplados de Clima (CMIP, por sus siglas en inglés), incluidos en el quinto reporte del IPCC (2014). Los estudios en México relacionados con valores extremos de las variables climáticas como la precipitación y la temperatura han sido abordados con un enfoque de estudio sobre regiones hidrológicas (cuencas), a través de índices de cambio climático, que ayudan a identificar cambios en el comportamiento de los extremos (Montero-Martínez & Pita-Díaz, 2018; Montero-Martínez, Santana-Sepúlveda, Pérez-Ortiz, Pita-Díaz, & Castillo-Liñan, 2018).

El objetivo de este estudio es identificar cambios en el comportamiento de variables climatológicas como la temperatura y la precipitación en el estado de Zacatecas, el cual se ubica en el centro-norte del país y tiene clima seco y semiseco en la mayor parte de su territorio, lo cual es una limitante para la agricultura de temporal, principal actividad económica de la entidad (Ortiz-Gómez, Cardona-Díaz, Ortiz-Robles, & Alvarado-Medellin, 2018). Para ello, se realiza el análisis de índices de cambio climático propuestos por el Grupo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático (ETCCDI, por sus siglas en inglés; Zhang & Yang, 2004) a una escala estacional, utilizando las variables de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima con bases de datos diarias en malla con una resolución de 1.3 km y con 40 años de estudio, abarcando el periodo 1976-2015; las bases de datos de estaciones meteorológicas fueron sometidas a un control de calidad, homogeneización y relleno de datos ausentes, utilizando el software Climatol (Guijarro, 2018), con el fin de encontrar en los valores extremos algunos indicios de cambio climático y en un futuro prever posibles impactos y/o afectaciones en el sector agrícola de la entidad.

Materiales y Métodos

Descripción del área de estudio

El estado de Zacatecas se encuentra ubicado en el centro-norte del país y cuenta con una superficie de 75,284 km² (Figura 1). El clima dominante en la mayor parte del territorio zacatecano es seco y semiseco (73%), con una temperatura media anual de 17°C, con una temperatura máxima de 30°C en el mes de mayo y una mínima promedio anual de 3°C en el mes de enero; la precipitación media anual es de 510 mm, con precipitaciones de 300 mm anuales en la zona norte, mientras que en la zona sur se

registra un promedio anual de 860 mm, con el máximo de lluvias en verano (junio a septiembre; Figura 2).



Figura 1. Ubicación geográfica del estado de Zacatecas.

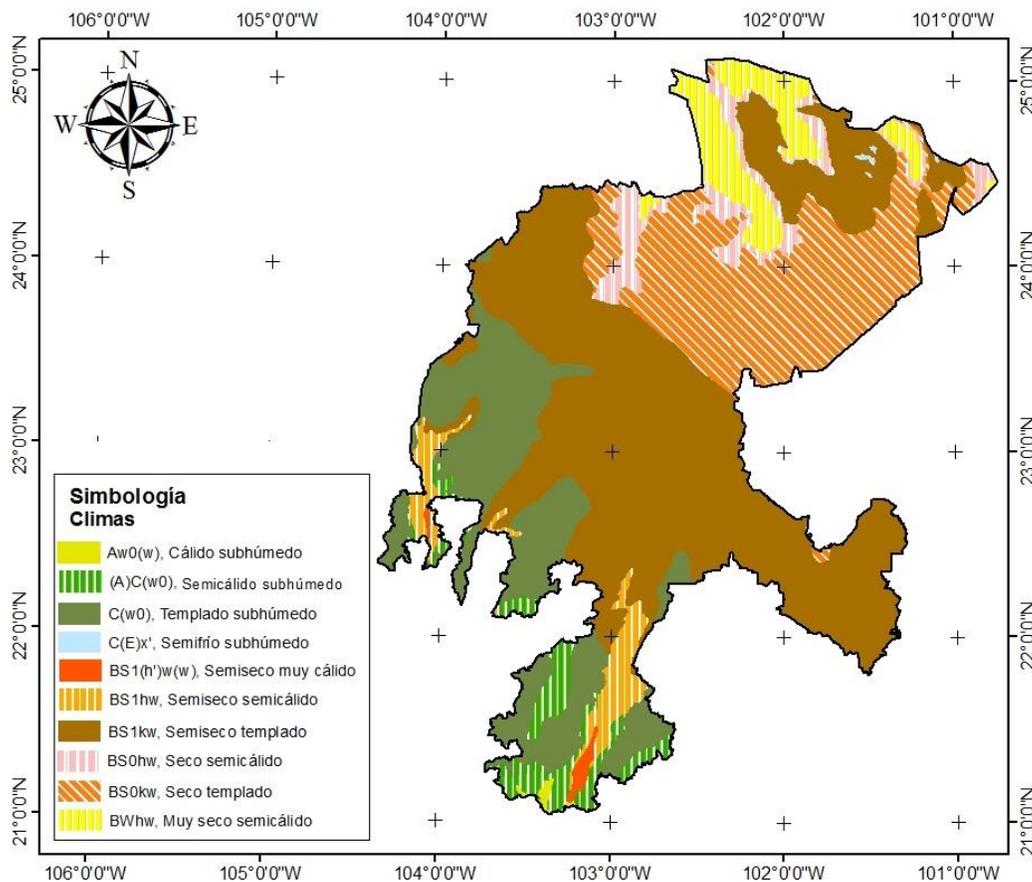


Figura 2. Tipos de climas predominantes en el estado de Zacatecas. Fuente: INEGI .

Selección de datos

Los datos utilizados para este estudio se obtuvieron de estaciones climatológicas del sistema **CLimate COMputing**, mejor conocido como **Clicom** del Servicio Meteorológico

Nacional (CICESE, 2015). El criterio de selección utilizado fue el recomendado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), de elegir estaciones que cuenten con 80% o más de datos disponibles dentro del periodo de análisis (1976-2015) que se sitúen dentro del estado de Zacatecas y que se encuentren dentro de un rango de 40 km fuera del mismo.

Algunas regiones del estado de Zacatecas no cuentan con las suficientes estaciones climatológicas, por lo que es complicado poder realizar una estimación acertada en esas regiones que carecen de datos. Por ello, se optó por agregar series de reanálisis mensuales provenientes de las bases de datos del **CRU TS (Climate Research Unit)** en su versión 4.03 (Harris, Jones, Osborn, & Lister, 2014) con el propósito de que estas series de reanálisis sean utilizadas como series de referencia para aquellas estaciones climatológicas se vean afectadas por huecos de información ausente (**Figura 3**). En el **Cuadro 1** se muestra el número de estaciones climatológicas y de reanálisis utilizadas para el proceso de homogeneización de datos para cada variable.

Cuadro 1. Número de estaciones climatológicas y de reanálisis utilizadas para el control de calidad, homogeneización y relleno de datos en el estado de Zacatecas.

Variable	Estaciones climatológicas	Estaciones de reanálisis
Temperatura máxima	140	43
Temperatura Mínima	139	40
Precipitación	158	54

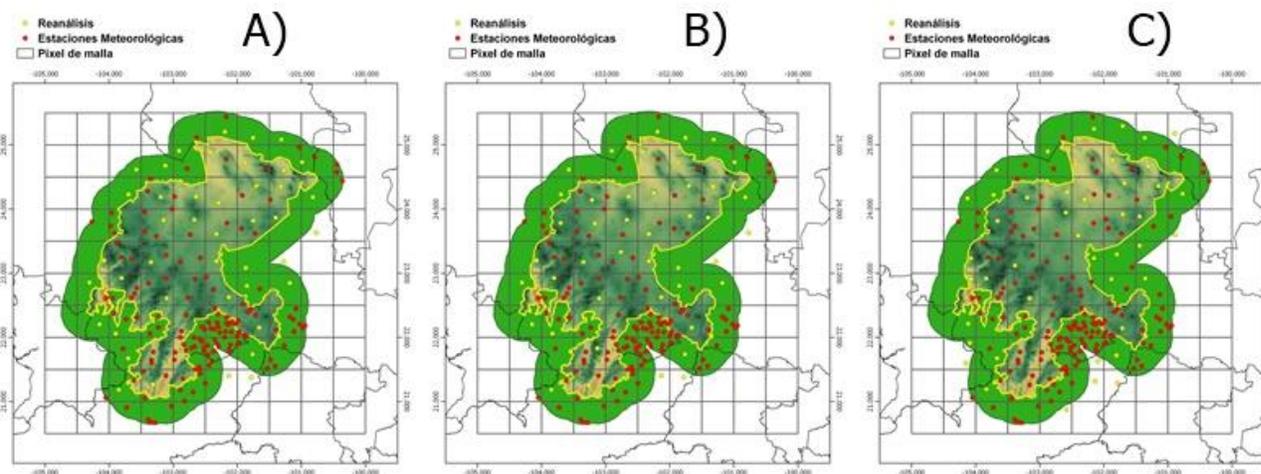


Figura 3. Ubicación de las estaciones climatológicas y estaciones de reanálisis utilizadas para la homogeneización de datos: a) Temperatura máxima, b) Temperatura mínima y c) precipitación.

Control de calidad y homogeneización de datos

Las bases de datos climatológicas pueden tener errores que de no ser detectados, pueden arrojar resultados poco confiables al momento de analizar los resultados; existen errores tanto de captura, cambio de ubicación de la estación, etc. Por ello, para realizar



el control de calidad de los datos, se optó por utilizar la herramienta **Climatol** (Gujjarro, 2018) que se ejecuta en el Lenguaje R. Esta herramienta permite detectar valores anómalos que se puedan deber a problemas de homogeneidad, así como rellenar datos faltantes; otra de las ventajas de esta herramienta es utilizar series de datos provenientes de reanálisis, mismas que pueden ser útiles como referencias de estaciones cercanas.

Creación de malla homogeneizada

La herramienta **Climatol** posee una función de post-proceso llamada *dahgrid* que permite generar mallas interpoladas a partir de las series de estaciones homogeneizadas. Para obtener estas mallas, el usuario deberá establecer la resolución y los límites espaciales. En este estudio se eligió una resolución espacial de 0.2 grados (aproximadamente 20 km).

Para mejorar la resolución espacial en la zona de estudio se optó por utilizar el método de la *Temperatura determinada* (Fries *et al.*, 2009), que es simplemente emparejar los puntos de malla a una sola altitud determinada (podría ser a 0 metros, la altitud media de la región de estudio o un valor de altitud definido por el usuario); en este caso se utilizó la altitud media del estado del modelo de elevación utilizado (2000 msnm). Este método sólo se aplica para las mallas de las variables de temperatura máxima y temperatura mínima, por la alta correlación que tiene la temperatura con la altitud sobre el nivel del mar, obteniendo nuevas mallas a una resolución de 1.3 km, el cálculo de la temperatura determinada (T_{det}) consta de la siguiente ecuación:

$$T_{det} = T_{diaria} + (r(Z_{det} - Z_{malla})) \quad (1)$$

Donde: T_{diaria} es la temperatura diaria de cada punto de malla, r es el coeficiente de correlación entre la elevación y temperatura de cada malla, Z_{det} es la altitud determinada y Z_{malla} es la altitud de cada punto de malla. El resultado sería el valor de temperatura de cada punto de malla si estuviera a una cierta altitud determinada (en este caso 2000 msnm). Posteriormente se realiza otro cálculo que sería el nuevo valor de cada punto de malla con la resolución del modelo digital de elevación:

$$T_{xy} = T_{det} + (r(ZDEM_{xy} - Z_{det})) \quad (2)$$

Donde: T_{xy} es el nuevo valor de temperatura asignado a la nueva resolución, r es el mismo coeficiente utilizado en la ecuación anterior y $ZDEM_{xy}$ es el valor de altura de cada pixel del modelo digital de elevación.

Cálculo de índices de cambio climático

Posterior a la obtención de mallas diarias en alta resolución de temperatura máxima y temperatura mínima, se procedió al cálculo de los índices de cambio climático. Para este proceso se utilizó la Librería *Climdex.ppic.ncdf* (Pacific Climate Impacts Consortium, 2014) disponible en el lenguaje R, el cual realiza los cálculos a partir de archivos NetCDF diarios de variables temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación.



De los 27 índices calculados se eligieron 6, de los cuales dos son de temperatura máxima, dos de temperatura mínima y dos de precipitación. A continuación se describen los índices seleccionados:

1. Días de verano (*SU*)

Es el número de días del año en el que la temperatura máxima es mayor a 25°C.

$$SU = tmax(> 25) \quad (3)$$

2. Días de heladas (*FD*)

Es el número de días en un año en el que la temperatura mínima es menor a 0°C.

$$FD = tmin(< 0) \quad (4)$$

3. Temperatura máxima extrema (*TXX*)

Es el valor máximo estacional de la temperatura máxima diaria.

$$TXX = max(tmax) \quad (5)$$

4. Temperatura mínima extrema (*TNN*)

Es el valor máximo estacional de la temperatura mínima diaria.

$$TNN = min(tmin) \quad (6)$$

5. Precipitación total anual en días húmedos (*PRCPTOT*)

Sea RR_{ij} la cantidad de precipitación diaria en el día i en el periodo j . Si l representa el número de días en j , entonces:

$$PRCPTOT = \sum_{i=1}^l RR_{ij} \quad (7)$$

6. Precipitación máxima en 5 días (*Rx5days*)

Sea RR_{ij} el total de precipitación diaria en el día i en el periodo j . Entonces los valores máximos de 5 días para el periodo j son:

$$Rx5day = max(RR_{ij}) \quad (8)$$

Los resultados de estos índices serán visualizados en diagramas *Hovmöller* que es un diagrama de contorno en el que realiza una estadística zonal, promediando en una sola columna, los valores de longitud o latitud en un eje y en el otro representa el tiempo, este diagrama es muy utilizado en meteorología y climatología, en el que se puede observar la evolución espacio-temporal de una variable climática, en este caso, los índices de cambio climático observados, así como sus anomalías estandarizadas.

Resultados y Discusión

Disponibilidad de datos

La disponibilidad de datos de las estaciones climatológicas utilizadas en el periodo de estudio (1976-2015) es de 88% para las tres variables utilizadas. El comportamiento de

la disponibilidad es similar en las tres variables, con algunas pequeñas diferencias en los registros; en la Figura 4 se muestran algunos huecos al inicio y a final del periodo de análisis, sin embargo, en las estaciones pertenecientes al estado de Zacatecas (parte superior de las tres figuras) se perciben mayores cantidades de falta de información.

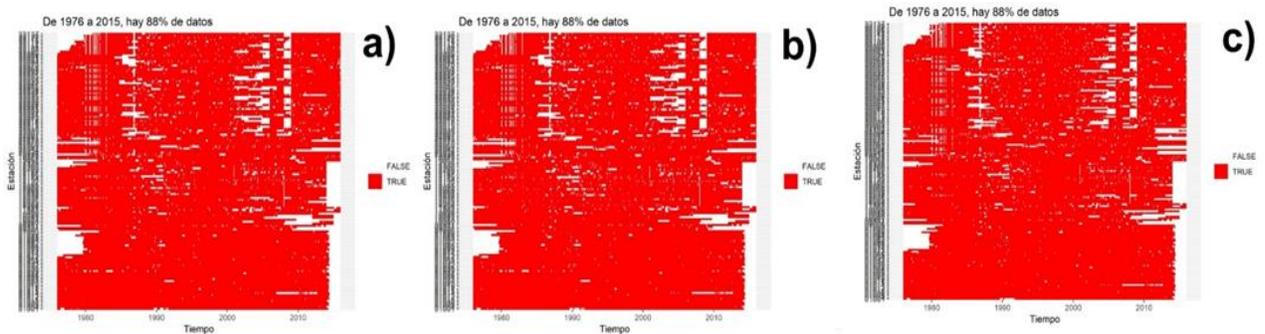


Figura 4. Disponibilidad de datos diarios (rojo) de temperatura máxima (a), temperatura mínima (b) y precipitación (c) para las estaciones climáticas, dentro de los 40 km de los límites del estado de Zacatecas (1976-2015). El identificador de cada estación se encuentra en el eje de las ordenadas.

Creación de malla homogeneizada

Posterior a realizar el cálculo de la temperatura determinada con las mallas de temperatura máxima, temperatura mínima y el modelo digital de elevación, el resultado obtenido es una nueva malla diaria en formato NetCDF que se ajusta a la topografía de la zona de estudio, permitiendo observar a mayor detalle la distribución de la temperatura en el estado de Zacatecas. En la Figura 5 se muestra la comparación de temperatura máxima de la malla generada por Climatol y la nueva malla calculada a partir de la temperatura determinada. Las zonas más cálidas se encuentran en la parte suroeste, colindante con el estado de Jalisco y algunas pequeñas zonas con el estado de Durango y Nayarit; mientras que las zonas más templadas se concentran en el centro del estado.

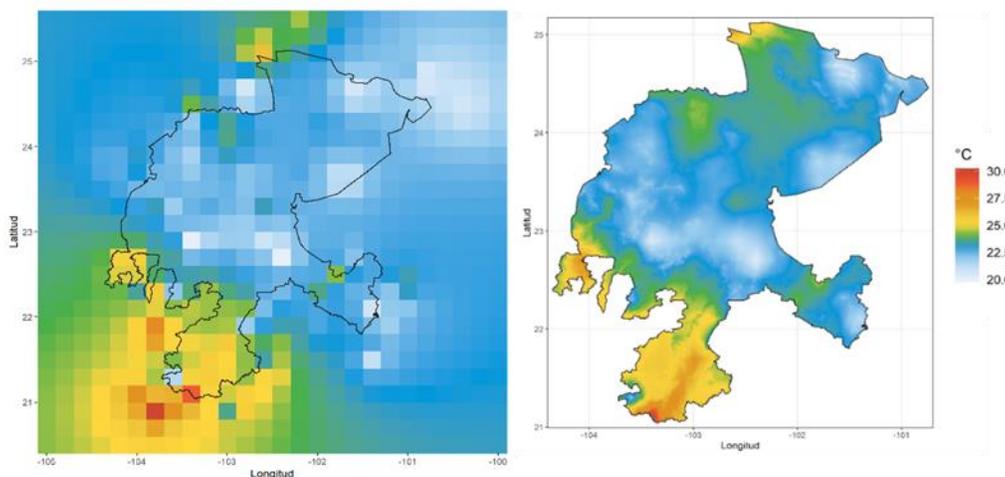


Figura 5. Comparación de la malla generada con Climatol de resolución 0.2 grados (izquierda) y malla generada a partir de la temperatura determinada con resolución de 1.3 km (derecha) de la variable temperatura máxima.

Caracterización climática del estado de Zacatecas

El ciclo anual de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación promedio en el estado de Zacatecas en el periodo 1976-2015 se muestran en la Figura 6. Para la temperatura máxima, la media anual es de 25.9°C, con el máximo en el mes de mayo (30.7°C) y el mínimo en el mes de enero (21.1°C). La media anual de la temperatura mínima es de 8.3°C, con el máximo en el mes de junio (13.4°C) y el mínimo en el mes de enero (2.3°C). La precipitación media anual obtenida es de 472.7 mm; un aspecto relevante en la precipitación en la región de estudio es que tiene un comportamiento de tipo monzónico, donde la precipitación ocurre en los meses de verano, con el máximo en el mes de julio (107.8 mm).

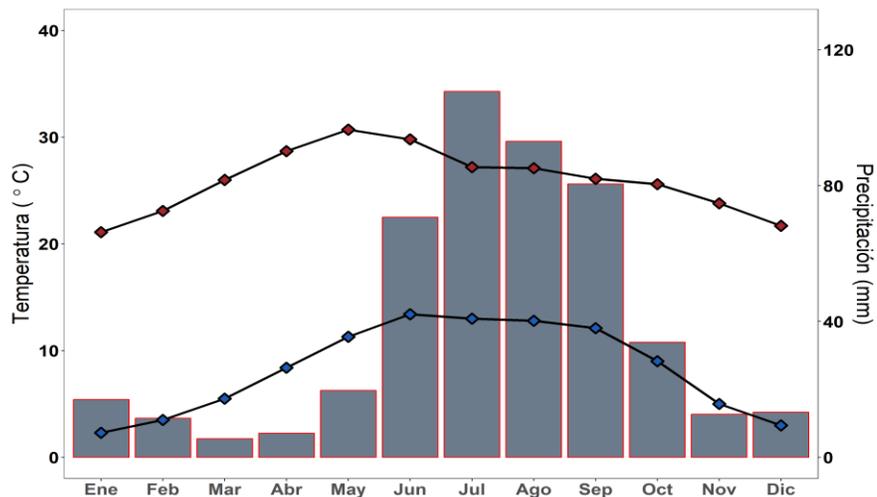


Figura 6. Climograma de temperatura máxima (puntos rojos), temperatura mínima (puntos azules) y precipitación (barras) para el estado de Zacatecas en el periodo 1976-2015.

Con base en los resultados de las mallas homogeneizadas, en la Figura 7 se muestra la distribución geográfica de la temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación media estacional del estado de Zacatecas. La distribución de la temperatura en el estado muestra un comportamiento en donde las zonas de baja altitud ubicadas en la parte sur del estado, coinciden con los valores máximos tanto de temperatura máxima como mínima. No obstante, también existen zonas al norte del estado en las que también se registran temperaturas elevadas, esto se debe al tipo de clima dominante en esa porción que es el clima semiárido. La porción central del estado es la región relativamente más templada, formando parte del Altiplano mexicano, las temperaturas son menores comparadas con el norte y sur del estado.

Los valores máximos de temperatura máxima se registran en la estación de primavera, oscilando entre los 22 y 34°C (Figura 7a); en el caso de la temperatura mínima, los máximos se dan en la estación de verano (de 8.7 a 17.3°C; Figura 7b). Los valores mínimos para las dos variables de temperatura se registran en el invierno oscilando entre los 16 y 28°C para la temperatura máxima y -1.2 y 7.6°C para la temperatura mínima. Para la variable precipitación, los valores de lluvia más altos se registran en la región sur

en la estación de verano, colindando con el estado de Jalisco. Mantiene un patrón de lluvia de mayor a menor en dirección suroeste a noreste (Figura 7c).

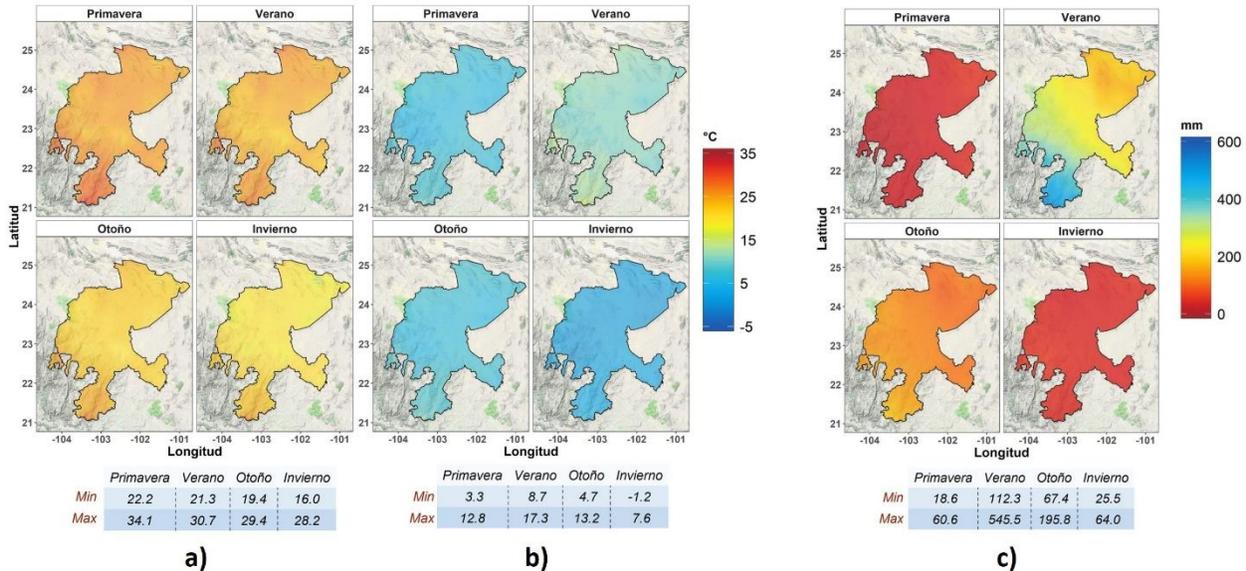


Figura 7. Distribución geográfica de la media estacional de la temperatura máxima (a), temperatura mínima (b), y precipitación (c) en el estado de Zacatecas para el periodo 1976-2015.

Índices de cambio climático

a) Días de verano (SU)

En la evolución espacio-temporal de la zona de estudio durante los 40 años de análisis, puede notarse hacia los últimos años un incremento en el número de días en los que la temperatura máxima es mayor a 25°C. En la zona sur se ha estado extendiendo el número de días de verano, y de igual manera los límites en el norte del estado. Los años 2009 y 2011 registraron más de 200 días de verano para todo el estado (Figura 8a). La anomalía de los días de verano muestran el incremento a partir de 1994, teniendo anomalías positivas (más días de verano) en los últimos años (Figura 8b).

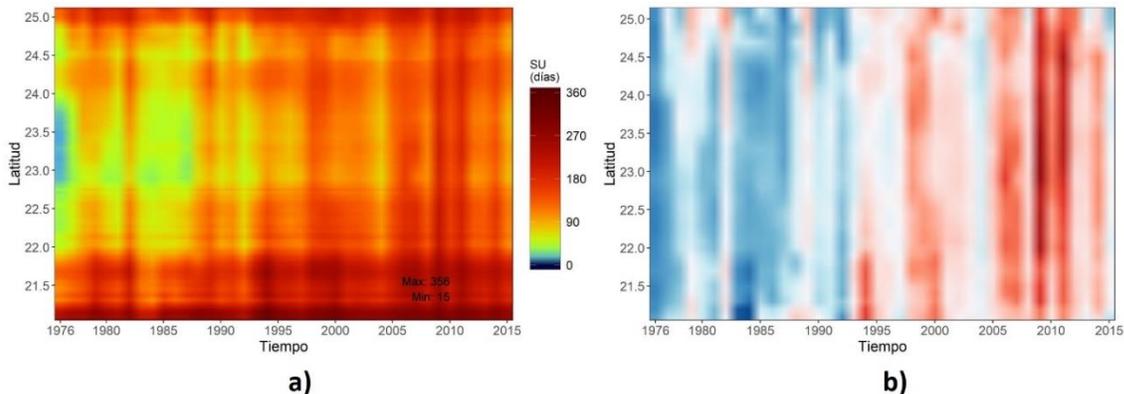


Figura 8. Diagramas *Hovmöller* del índice Días de verano (SU): a) Días de verano observados por año. b) anomalía estandarizada.

b) Días de heladas (FD)

En el diagrama Hovmöller de la Figura 9a se muestra hacia los últimos 20 años un incremento de los días de heladas. Donde la porción central del estado es la que presenta un mayor número de días de heladas al año. La región sur no suele presentar este tipo de eventos; por lo regular, su temperatura mínima oscila entre los 10 y 15°C. La anomalía de este índice muestra un comportamiento a tener valores positivos (más días de heladas) a partir de 1996 hasta el 2012, tomando comportamientos normales en 2013 y 2014; y 2015 muestra una disminución de su anomalía (Figura 9b).

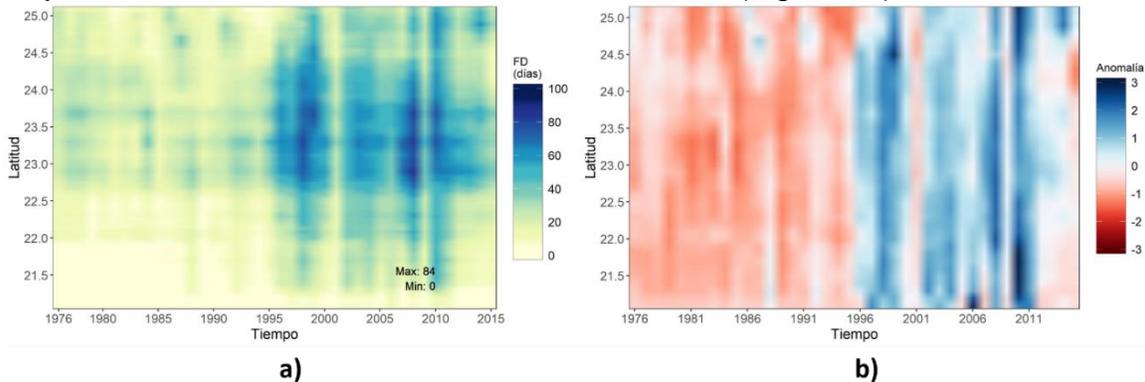


Figura 9. Diagramas *Hovmöller* del índice Días de heladas (FD): a) Días de heladas observados por año. b) anomalía estandarizada.

c) Temperatura máxima extrema (TXX)

En el diagrama Hovmöller de la Figura 10a se nota que hacia los últimos años los valores de TXX se están incrementando, siendo los años 2009, 2010 y 2011 los que registraron temperaturas bastante extremas, superando los 40°C. , desde la parte sur hacia la zona central del estado; lo cual no ocurría en los primeros años de análisis. Observando las series de tiempo con sus anomalías estandarizadas estacionales de este índice, se muestra una tendencia a incrementar la temperatura máxima extrema en las estaciones de primavera, verano y otoño; no obstante, el invierno muestra un ligero incremento del 2006 a 2009, posteriormente vuelve a valores normales (Figura 10b).

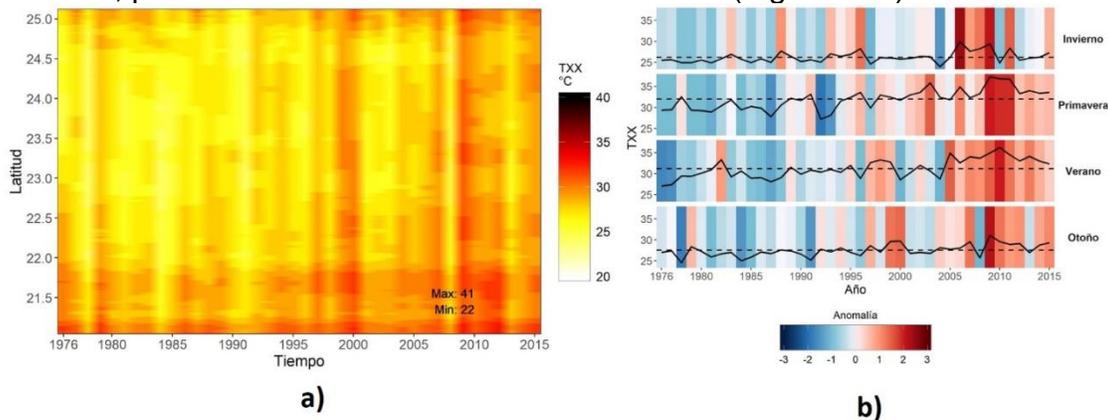


Figura 10. a) Diagrama *Hovmöller* del índice Temperatura máxima extrema (TXX) por estación del año. b) Serie de tiempo y anomalía estandarizada por estación del año de la temperatura máxima extrema.

d) *Temperatura mínima extrema (TNN)*

Analizando la evolución espacio-temporal de la temperatura mínima extrema en el estado de Zacatecas (Figura 11a), se observa que en los últimos 20 años, los valores mínimos extremos están disminuyendo notoriamente, comparado con los primeros años de análisis. La anomalía estacional de la temperatura mínima extrema muestra comportamientos interesantes para las estaciones de otoño e invierno; para la estación de otoño, desde el año 2002 muestra anomalías negativas (temperatura más frías), siendo 2011 y 2013 los otoños más fríos, mientras que en el invierno, 1997 puede ser el invierno más intenso para el estado de Zacatecas, teniendo anomalías negativas hacia los últimos años. Las estaciones de primavera y verano no muestran una variabilidad contundente comparado con las estaciones más frías del año (Figura 11b).

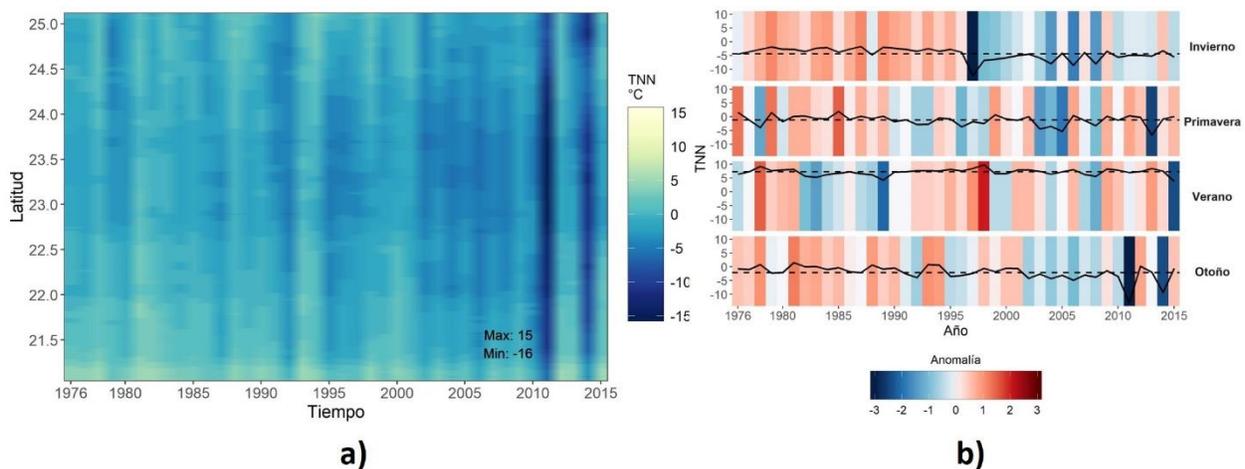


Figura 11. a) Diagrama *Hovmöller* del índice Temperatura mínima extrema (TNN) por estación del año. b) Serie de tiempo y anomalía estandarizada por estación del año de la temperatura mínima extrema.

e) *Precipitación total anual en días húmedos (PRCPTOT)*

Este índice solo aplica el acumulado a los días en los que la precipitación es mayor a 1 mm, por lo que no es el acumulado absoluto de la precipitación anual. En la región sur del estado, especialmente por debajo de la latitud 22° norte, el acumulado anual es el mayor presentado dentro de la zona de estudio. Uno de los puntos interesantes en el análisis de este índice es el dominio espacial que ha tenido la precipitación hacia los últimos años: 2015 es el año más húmedo dentro del periodo, y no solo por los valores altos de precipitación, sino por cubrir en casi su totalidad el estado de Zacatecas. Los periodos húmedos y secos han sido más recurrentes desde 1976 hasta el 2015. El año 2011 es en el que menor precipitación se registró, afectando a todo el estado (Figura 12a). Para poder identificar periodos húmedos y secos, la anomalía estandarizada de la Figura 12b muestra periodos secos a finales de la década de 1970 y principios de 1980, entre 1993 y 2000, la gran sequía del 2011 y 2012; sin embargo, también los periodos húmedos parecen ser más recurrentes, teniendo periodos como 1990-1993, 2002-2004

y 2013-2015, siendo el año 2015 el más húmedo de los 40 de análisis, año en el que el huracán Patricia influyó tras su paso por el estado de Zacatecas.

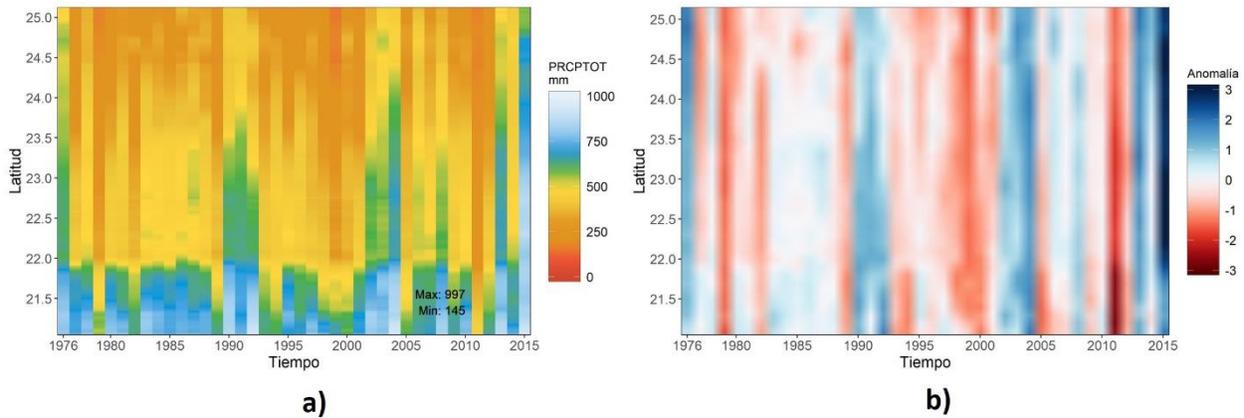


Figura 12. Diagramas *Hovmöller* del índice Precipitación total en días húmedos (PRCPTOT): a) precipitación total observada por año, y b) anomalía estandarizada.

f) Precipitación máxima en cinco días (Rx5day)

Las precipitaciones máximas en cinco días son importantes para tomar precauciones sobre inundaciones en zonas urbanas o asentamientos cercanos a ríos. La topografía de la región sur es muy accidentada, conformada por unidades morfológicas como laderas, montañas y valles muy pronunciados, el riesgo de deslaves que persiste en esta región es muy alto al tener precipitaciones intensas, y más si existen algunos eventos en los que la precipitación se propaga por varios días. Los valores de precipitación máximos en cinco días en esa región rebasan los 100 mm; en la Figura 13a se observa que este tipo de precipitaciones intensas en cinco días cada vez son más recurrentes. La anomalía estacional de la Figura 13b se observa que una tendencia al incremento de estas precipitaciones en cinco días a partir del 2013 para las cuatro estaciones del año.

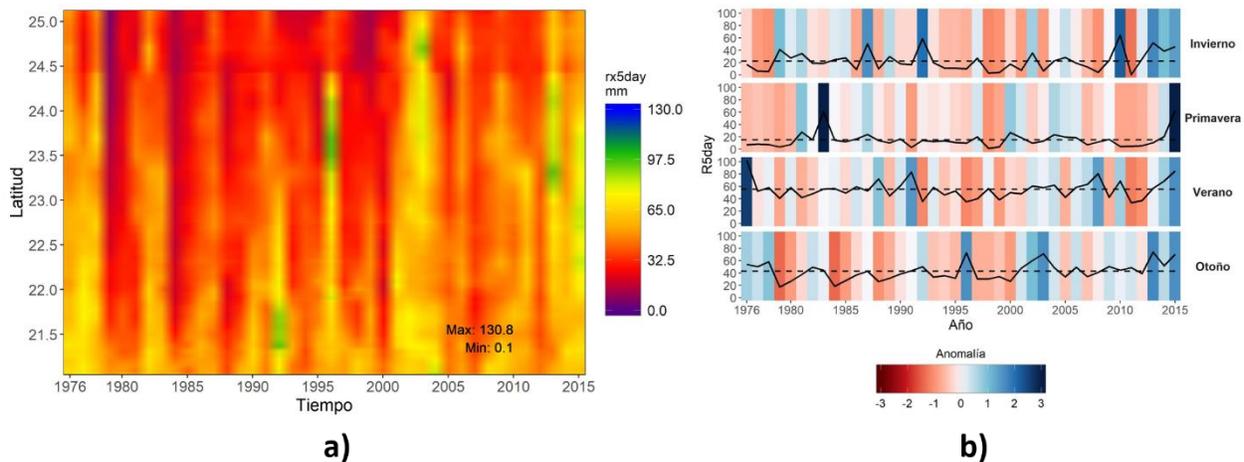


Figura 13. a) Diagrama *Hovmöller* del índice Precipitación máxima en cinco días (Rx5day) por estación del año. b) Serie de tiempo y anomalía estandarizada por estación del año de la precipitación máxima en cinco días.



Conclusiones

Los resultados obtenidos a través de índices de cambio climático con su respectiva anomalía estandarizada son interesantes en el contexto de observar cómo se han comportado los extremos de variables climatológicas y los cambios en el clima. La temperatura máxima muestra un comportamiento a aumentar en los últimos años, las anomalías muestran en los días de verano cómo se han propagado de sur a norte el incremento de estos días; en cierta relación, la temperatura máxima extrema (TXX) muestra un patrón de incremento muy bien definido para las estaciones de primavera y verano, por lo que la relación entre la TXX y los días de verano es que se concluye que la mayor cantidad de días de verano se dan la primavera y el verano.

Para los índices de temperatura mínima, de igual manera, tienen una alta relación para determinar a través del índice temperatura mínima extrema (TNN) cuando se presentan la mayor cantidad de días de heladas (FD). Si bien, en los días de heladas se ha observado que también muestra un incremento hacia los últimos 20 años, al igual que la TNN está disminuyendo notoriamente en los meses de invierno y otoño. Para las estaciones de primavera y verano, no existe un incremento importante, salvo a que se han presentado anomalías bastante considerables.

Al conocer el comportamiento de las dos variables de temperatura, si la temperatura máxima está en aumento y la temperatura mínima disminuyendo, el rango diurno de temperatura (diferencia entre la temperatura máxima y temperatura mínima) está incrementando, es decir, los extremos se están separando hacia los últimos años, por lo que sí es importante considerar los valores extremos estacionales, ya que pueden ser de gran afectación para las zonas de cultivo de temporal, principalmente de frijol y maíz.

Para la variable precipitación se muestra que tanto periodos húmedos como secos se han hecho frecuentes. Un comportamiento interesante que tuvo el estado de Zacatecas es que, en los últimos cinco años de análisis se presentaron los dos eventos extremadamente intensos, la sequía del 2011 y que se propagó al 2012, y el año 2015 que ha presentado las mayores precipitaciones, cubriendo prácticamente todo el estado, el cual estuvo influenciado por lluvias convectivas en la parte sur y al paso del huracán Patricia. Se recomienda realizar estudios de índices para analizar sequías, ya sea mediante el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) o el Índice Estandarizado de Precipitación-Evapotranspiración (SPEI).

Además de haber analizado las anomalías, uno de los trabajos a futuro es analizar las tendencias, así como su significancia estadística, y así conocer el comportamiento de estas variables en el estado de Zacatecas, no solo en el contexto estatal, sino regional, dado que el estado no es homogéneo fisiográfica, hidrológica ni climatológicamente.



Agradecimiento

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento otorgado para la realización de este trabajo a través del proyecto de investigación PDCPN-2017/4924 del Programa de Proyectos de Desarrollo Científico para atender Problemas Nacionales.

Referencias Bibliográficas

- CICESE. (2015). Datos climáticos diarios del CLICOM del SMN a través de su plataforma web del CICESE (<http://clicom-mex.cicese.mx>). Consultado en Junio 2019.
- for the Pacific Climate Impacts Consortium, D. B. (2014). climdex.pcic.ncdf: Functions to compute CLIMDEX indices over a NetCDF grid. Retrieved from <http://www.r-project.org>
- Fries, A., Rollenbeck, R., Göttlicher, D., Nauss, T., Homeier, J., Thorsten, P., & Bendix, J. (2009). Thermal structure of a megadiverse Andean mountain ecosystem in southern Ecuador and its regionalization. *Erdkunde*, 63, 321–335. <https://doi.org/10.3112/erdkunde.2009.04.03>
- Guijarro, J. A. (2018). Homogeneización de series climáticas con Climatol. Islas Baleares, España. Retrieved from http://www.climatol.eu/homog_climatol-en.pdf
- Harris, I., Jones, P. D., Osborn, T. J., & Lister, D. H. (2014). Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset. *International Journal of Climatology*, 34(3), 623–642. <https://doi.org/10.1002/joc.3711>
- INEGI. (2019). *Conjunto de datos vectoriales de clima / Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. México. <https://www.inegi.org.mx/temas/climatologia>
- IPCC. (2014). *CAMBIO CLIMATICO 2014 Impactos, adaptación y vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas*. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea y L.L. White (eds.)]. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra, Suiza, 34 págs. (en árabe, chino, español, francés, inglés y ruso). Retrieved from https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5_wgII_spm_es.pdf
- Montero-Martínez, M. J., & Pita-Díaz, O. (2018). Homogeneización de datos y cálculo de índices de cambio climático para la cuenca del río Apatlaco. In *Impacto del cambio climático para la gestión integral de la cuenca hidrológica del río Apatlaco* (pp. 109–143). Jiutepec, Mor.: Instituto Mexicano de Tecnología del agua. Retrieved from http://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/rio_apatlaco/cambio_climatico_rio_apatlaco.pdf
- Montero-Martínez, M. J., Santana-Sepúlveda, J. S., Pérez-Ortiz, N. I., Pita-Díaz, O., & Castillo-Liñan, S. (2018). Comparing climate change indices between a northern (arid) and a southern (humid) basin in Mexico during the last decades. *Adv. Sci. Res.*, 15, 231–237. <https://doi.org/10.5194/asr-15-231-2018>
- Zhang, X., & Yang, F. (2004). RClimDex (1.0) User Manual. *Climate Research Branch Environment Canada Downsview*, 1–23. Retrieved from etccdi.pacificclimate.org/RClimDex/RClimDexUserManual.doc