

Evidencias del cambio climático en la cuenca del Río Sabinal, Chiapas, México

José A. Figueroa G.¹, Daisy Escobar C.¹,
Hugo A. Guillén T.¹, Janio A. Ruíz S.¹

¹Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chiapas. Boulevard Belisario Domínguez Km 1081. Cel 9611713091. Correo electrónico:jose.figueroa@unach.mx

RESUMEN

La Organización Meteorológica Mundial y el Grupo de Expertos en Detección de Cambio Climático e Índices (ETCCDI) han propuesto 27 indicadores para la detección y monitoreo de cambios en los extremos del clima. Estos índices fueron calculados a partir de las series de datos observados de temperaturas –máximas y mínimas– y precipitación de un periodo de más de 50 años en dos estaciones climatológicas ubicadas en la cuenca del Río Sabinal, Chiapas, México. La evidencia demuestra que de los 27 índices climáticos definidos por el ETCCDI, se constata una tendencia estadísticamente significativa en cinco índices relacionados con la temperatura del aire. Ambas estaciones muestran una tendencia al aumento de las noches tropicales (TR20), la temperatura mínima extrema (TNn) y la frecuencia de noches cálidas (TN90p), mientras que presentan una tendencia negativa (disminución) de la frecuencia de noches frías (TN10p) y el indicador de duración de los periodos fríos (CSDI), por lo que se puede concluir que la temperatura mínima y máxima presentan una tendencia ascendente significativa. No obstante, la base de datos considerada no permite identificar tendencias estadísticamente significativas en los índices relacionados con la precipitación.

Palabras clave: índices de cambio climático, cuenca hidrológica, Río Sabinal, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

ABSTRACT

The World Meteorological Organization and The Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI) have proposed 27 indices to detect and monitoring the changes in the climate extremes. These indices have been calculated from observed temperature data series –maximum and minimum– and precipitation of a period from more than 50 years in two climatological stations located in the basin of the Río Sabinal, Chiapas, Mexico, where they found from 27 ETCCDI climatic indices that it has obtained same tendency statistically significant in five indices related with the air temperature; As result, both climatological stations show an increasing trend of tropical nights (TR20), the minimum temperature (TNn) and the warm nights (TN90p), while they come up with a negative trend to the cold nights (TN10p) and the cold spell duration indicator (CSDI), so it can be concluded that the minimum and maximum temperature have a significant upward trend. The considered data base does not let identificate stadistically significance trends in the indices related to the precipitation.

Key words: climatic change indices, hydrological basin, Sabinal River, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, Mexico.

INTRODUCCIÓN

Los términos *Calentamiento global* y *Cambio climático* son conceptos que se encuentran estrechamente relacionados, a tal grado que en ocasiones suelen ser confundidos o utilizados como sinónimos. Según el IPCC (2007) el calentamiento global hace referencia al aumento gradual observado o previsto de la temperatura mundial en la superficie, como una de las consecuencias del forzamiento radiativo provocado por las emisiones antropogénicas. El cambio climático es una variación del

estado del clima, que puede deberse a procesos internos naturales, a controles externos o a cambios antropogénicos persistentes de la composición de la atmósfera.

La variabilidad del clima es un hecho constatado (IPCC, 2013) que genera múltiples desafíos ambientales, sociales y de gestión del territorio y sus recursos; las consecuencias del cambio climático tendrán efectos diferentes en cada zona geográfica. De acuerdo con el informe IPCC (2007), las consecuencias del cambio climático más relevantes en Latinoamérica se vinculan con variaciones en el régimen de precipitación y de escurrimiento superficial;

modificaciones en el número de incendios forestales, rendimiento de los cultivos y afectación en la disponibilidad de agua para consumo humano, agricultura y generación de energía hidroeléctrica. Por ello, el cambio climático es motivo de un apasionado debate científico que plantea una considerable incertidumbre temporal, espacial y de magnitud; sin embargo, hay un importante consenso en su veracidad y en las consecuencias que se irán manifestando cada vez más en los ecosistemas, así como en los sistemas socio-económicos asociados (IPCC, 2013).

La precipitación y la temperatura del aire son dos de las más importantes variables en el campo de la climatología e hidrología. La precipitación es un componente crítico en el proceso lluvia-escurrimiento que tiene influencia directa tanto en las inundaciones como en los periodos de sequía. La temperatura, por otra parte, juega un prominente y bien conocido rol en la evaporación,

transpiración y demanda de agua tanto de animales como de humanos. Al mismo tiempo, tiene efectos significativos para el suministro de agua y su disponibilidad. Consecuentemente, las implicaciones de cambios en la precipitación y la temperatura son cruciales para los planificadores en relación con la evaluación exacta de su comportamiento e impacto de las variables hidrológicas.

Una manera de medir estos fenómenos climáticos es a través de indicadores, los cuales ilustran y comunican de forma sencilla un proceso complejo que incluye tendencias y progresión a lo largo del tiempo; estas mediciones, por lo general, son cuantitativas. La Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el ETCCDI por sus siglas en inglés, han formulado y definido un conjunto de 27 índices para estudiar situaciones climáticas aplicando una metodología que garantiza el análisis global de resultados; dichos índices se detallan en la tabla 1.

Código	Nombre	Definición
SU25	Días de verano	Número de días en 1 año en que TX > 25°C
ID0	Días con hielo	Número de días en 1 año en que TX < 0°C
TR20	Noches tropicales	Número de días en 1 año en que TN > 20°C
FD0	Días con helada	Número de días en 1 año en que TN < 0°C
GSL	Duración de la estación de crecimiento	Número de días en 1 año entre la primera racha de, como mínimo, 6 días con TG>5°C y la primera racha después de 1 de julio con, como mínimo, 6 días con TG<5°C
TXx	Temperatura máxima extrema	Valor máximo anual de la temperatura máxima diaria
TXn	Temperatura máxima más baja	Valor mínimo anual de la temperatura máxima diaria
TNx	Temperatura mínima más alta	Valor máximo anual de la temperatura mínima diaria
TNn	Temperatura mínima extrema	Valor mínimo anual de la temperatura mínima diaria
Tx10p	Frecuencia de días frescos	Porcentaje de días en que TX <percentil 10
Tx90p	Frecuencia de días calurosos	Porcentaje de días en que TX >percentil 90
Tn10p	Frecuencia de noches frías	Porcentaje de días en que TN <percentil 10
Tn90p	Frecuencia de noches cálidas	Porcentaje de días en que TN >percentil 90
WSDI	Duración de los periodos cálidos	Número de días en un año que, como mínimo, hay 6 días consecutivos con TX >percentil 90
CSDI	Duración de los periodos fríos	Número de días en un año que, como mínimo, hay 6 días consecutivos con TN <percentil 90
DTR	Rango diurno de temperatura	Media anual de la diferencia entre TX y TN
Rx1day	Precipitación máxima en un día	Valor máximo anual de la PPT diaria
Rx5day	Precipitación máxima en cinco días	Máxima anual de la PPT registrada en 5 días consecutivos
SDII	Índice simple de intensidad diaria	PPT total anual dividida entre el número de días con PPT ≥ 1mm
R10	Días con lluvia mayor a 10 mm	Número anual de días en que PPT ≥ 10mm
R20	Días con lluvia mayor a 20 mm	Número anual de días en que PPT ≥ 20mm
R25	Días con lluvia mayor a 25 mm	Número anual de días en que PPT ≥ 25 mm

Código	Nombre	Definición
CDD	Días secos consecutivos	Máximo número en 1 año de días consecutivos con PPT < 1 mm
CWD	Días húmedos consecutivos	Máximo número en 1 año de días consecutivos con PPT ≥ 1 mm
R95p	Días muy húmedos	PPT total anual (en días en que PPT ≥ 1 mm) cuando la PPT diaria acumulada es superior al percentil 95
R99p	Días extremadamente húmedos	PPT total anual (en días en que PPT ≥ 1 mm) cuando la PPT diaria acumulada es superior al percentil 99
PRCPTOT	Precipitación total	PPT total anual en días en que PPT ≥ 1 mm

TABLA 1

Índices climáticos definidos por el ETCCDI

Nota: donde TN es la temperatura mínima, TX la temperatura máxima, TG la temperatura media y PPT la precipitación; el cálculo de percentiles, si corresponde, se realiza tomando como período de referencia el trentenio 1961-1990. Fuente: Vázquez (2010)

Estudios de búsqueda de tendencias climáticas en la temperatura

Se han consultado diversos estudios relacionados con las tendencias climáticas en diversas regiones del planeta, con el objetivo de contar con un panorama global sobre la situación del tema. El estudio desarrollado por Arora, M., Goel, N. K, y Singh, P. (2005) analiza los registros de temperatura –media, máxima y mínima– de 125 estaciones climatológicas de la India. Los investigadores identifican que la temperatura en el país ascendió en el periodo de 1941 a 1999, con valores promedio de 0.42, 0.92 y 0.09 °C por cada 100 años, respectivamente. Igualmente, Singh, P., Kumar, V., Thomas, T. y Arora, M. (2008) realizan una investigación que examina los datos concernientes a 100 años de temperatura en la India – media, máxima y mínima–, con base en los registros de 43 estaciones climatológicas y siete cuencas en los que identifican una tendencia ascendente en la temperatura media con valores que varían de 0.40 a 0.60 °C por cada 100 años.

Por su parte, Martínez, C. J., Maleski, J. J. y Miller, M.F. (2012) llevan a cabo un estudio para encontrar tendencias en las temperaturas medias, máximas y mínimas del estado de Florida, Estados Unidos. Los resultados de la investigación constatan tendencias ascendentes en la temperatura máxima en algunas de las estaciones estudiadas y descendentes en otras del mismo estado. Un estudio similar de Campos-Aranda (2015) sobre 16 estaciones climatológicas del estado de Zacatecas, México, con más de 50 años de registro de temperatura máxima del mes de mayo, constata que cuatro de las ocho estaciones climatológicas de la Región Hidrológica 12 Parcial (río Santiago) presentan tendencia ascendente significativa.

De igual manera, Chattopadhyay, S., y Edwards, D. (2016) estudiaron 42 estaciones con datos de temperatura del Estado de Kentucky, Estados Unidos de América, e identifican que únicamente tres estaciones presentaron tendencia ascendente de la temperatura media anual. Finalmente, el estudio realizado por Gil-Guirao, S. y López-Bermúdez, F. (2011) encuentra evidencias de una ligera tendencia al aumento de temperaturas y disminución de precipitaciones en la cuenca del río Quípar, España.

Proyecciones climáticas para el estado de Chiapas

Chiapas es uno de los estados de la República Mexicana que cuenta con una gran diversidad de especies y ecosistemas. La región forma parte de la zona hidrológica número 30 Grijalva Usumacinta, la cual es una cuenca transfronteriza que nace en la República de Guatemala y cruza los estados de Chiapas y Tabasco, una parte menor del estado de Campeche y una pequeña porción de los estados de Oaxaca y Veracruz. La cuenca del río Grijalva comprende cuatro porciones geográficas bien definidas que se conocen con los nombres de Alto Grijalva, Medio Grijalva, Bajo Grijalva –Sierra– y Bajo Grijalva –Planicie–. La cuenca del río Sabinal, se encuentra dentro de la porción Medio Grijalva.

Según Ramos (2010) las tendencias climatológicas previstas en el estado de Chiapas se relacionan con el incremento en la temperatura media proyectada, simuladas con el Modelo Japonés TL959 bajo el escenario SRES A1B. Para el año 2020 se prevé un aumento de 1.1 °C, para el año 2030 incrementará entre 1.5 y 1.7° C, y para 2080 aumentará 2.2° C. Respecto a las variantes en la precipitación, la prospectiva es un decremento de 4% para el año 2020, entre el 6% y 8% para el año 2030, y entre el 10% y 14% para el año 2080.

Esta investigación tiene como objetivo contribuir al conocimiento de la variabilidad climática, en el marco del cambio global, al analizar la evolución de las precipitaciones y temperaturas que permiten explicar los posibles

patrones de cambio a través de los índices climáticos del ETCCDI, en una pequeña cuenca hidrológica del Sureste Mexicano, la del río Sabinal, Chiapas.

METODOLOGÍA

Área de estudio

La cuenca del río Sabinal (figura 1), cuenta con un área aproximada de 407 km², está ubicada dentro de la Región Hidrológica núm., 30 denominada Grijalva-Usumacinta, en la cuenca administrativa Grijalva-Tuxtla Gutiérrez. La temperatura media anual es de 25.4 °C, la temperatura promedio máxima es de 32.3 °C y la temperatura promedio mínima es de 18.3 °C. De acuerdo con los límites de temperatura media anual establecidos por García (2004), la cuenca presenta una condición del clima que tiende a ser semicálido en la región poniente (San Fernando y Berriozábal), ya que su temperatura media anual se acerca a los 22 °C, y una condición de clima que tiende a ser muy cálido hacia el oriente (Tuxtla Gutiérrez) con temperaturas medias próximas a los 26 °C.

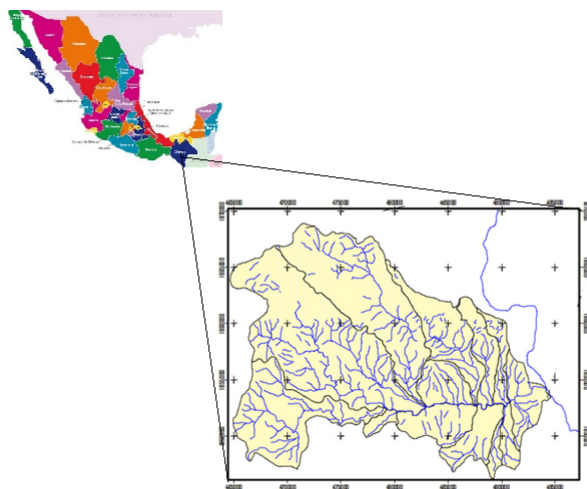


FIGURA 1 Cuenca del Río Sabinal, Chiapas, México¹

La precipitación media anual es de 956 mm y los meses más lluviosos comprenden de mayo a octubre. La cuenca del río Sabinal cuenta con centros poblados importantes: San Fernando, Berriozábal y Tuxtla Gutiérrez. Dentro de la cuenca existen cuatro estaciones climatológicas, indicadas en la tabla 2, en donde únicamente

¹ CENAPRED (2004)

las estaciones Tuxtla y Puente Colgante cuentan con más de cincuenta años de registros. En función de ello, exclusivamente se consideran los registros de estas dos estaciones en los análisis del presente trabajo.

Estación	Latitud	Longitud	Elevación
7202 Tuxtla	16.7528	-93.1167	543msnm
7134 Puente Colgante	16.7406	-93.0311	418msnm
7372 Berriozábal	16.7969	-93.2656	890msnm
7319 San Fernando	16.8731	-93.2269	950msnm
Fuente: SMN (2016)			

TABLA 2 Ubicación de las estaciones climatológicas

METODOLOGIA

Tal como lo establece Vázquez (2010) el cálculo de índices climáticos del ETCCDI es una herramienta útil para caracterizar el clima, presentar los patrones climáticos históricos y detectar los cambios. El ETCCDI ha formulado y definido un conjunto de índices para analizar situaciones climáticas extremas aplicando los pasos mostrados en la figura 2, los cuales garantizan que los resultados puedan ser analizados de forma global.

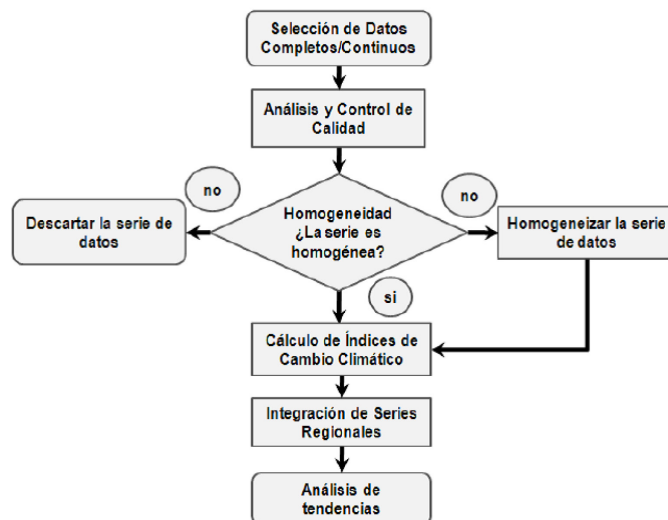


FIGURA 2 Pasos para el cálculo y análisis del índice de cambio climático

El cálculo de los índices del ETCCDI es relativamente directo si se realiza con alguna de las herramientas de software como RClindex y RHTest, diseñadas para el

propósito (Wang, X. y Feng, Y., 2013). El procedimiento es el siguiente: primeramente se requiere seleccionar los datos diarios -de lluvia, temperatura máxima y temperatura mínima- a partir de los cuales serán calculados los índices, de manera que sólo las series de observaciones más completas, continuas y libres de errores sean analizadas. Una vez que se ha seleccionado un conjunto de datos adecuado para el análisis, se requiere que éste sea sometido a un procedimiento de control de calidad, supeditando valores poco comunes a procedimientos estadísticos de verificación (típicamente 4 desviaciones standard) y de escrutinio experto con base en conocimientos de la climatología física de cada región.

Finalmente, cuando los datos han pasado el proceso de control de calidad, éstos deben ser sujetos a prueba y análisis de homogeneidad aplicando la prueba t de máxima penalización o la prueba F de máxima penalización, ambas con sus intervalos de confianza del 95%, dejando para el análisis sólo las series de datos razonablemente homogéneas. Idealmente, la serie no debería de conte-

ner ningún tipo de cambio significativo para poder ser utilizada en el cálculo de índices de cambio climático, a menos de que dicho cambio estuviera bien documentado y fuera debido únicamente al clima y no a ningún factor artificial del proceso de medición. Las series homogéneas son entonces utilizadas para calcular los índices de cambio climático de cada estación individual, para posteriormente integrar la zona regional del área en estudio y analizar tendencias.

RESULTADOS

De los 27 índices climáticos definidos por el ETCCDI y calculados con los datos de 1951 a 2014 de las estaciones climatológicas Tuxtla y Puente Colgante, se constata tendencia estadísticamente significativa en cinco índices relacionados con la temperatura del aire (tabla 3). La temperatura presenta una tendencia definida. La base de datos considerada no permite identificar cambios en el régimen de precipitaciones.

Índice		¿Tendencia estadísticamente significativa? (nivel de confianza del 95%)			
Código	Nombre	Est. Tuxtla	Tipo Tendencia	Est. Puente Colgante	Tipo Tendencia
TR20	Noches tropicales	Si	Aumento	Si	Aumento
TXx	Temperatura máxima extrema	No	---	Si	Aumento
TXn	Temperatura máxima extrema	No	---	Si	Aumento
TNx	Temperatura mínima más alta	No	---	Si	Aumento
TNn	Temperatura mínima extrema	Si	Aumento	Si	Aumento
Tx10p	Frecuencia de días frescos	No	---	Si	Disminución
Tx90p	Frecuencia de días calurosos	No	---	Si	Aumento
Tn10p	Frecuencia de noches frías	Si	Disminución	Si	Disminución
Tn90p	Frecuencia de noches cálidas	Si	Aumento	Si	Aumento
WSDI	Duración de los periodos cálidos	No	---	Si	Aumento
CSDI	Duración de los periodos fríos	Si	Disminución	Si	Disminución
DTR	Rango diurno de temperatura	Si	Disminución	Si	Aumento

Fuente: elaboración propia (2016).

TABLA 3

Tipo de tendencia (si esta es estadísticamente significativa) para las estaciones de Tuxtla y Puente Colgante

De los cinco índices climáticos relacionados con la temperatura, ambas estaciones presentan una tendencia al aumento las noches tropicales (TR20), la temperatura mínima extrema (TNn) y la frecuencia de noches cálidas (TN90p). Al mismo tiempo se observa una tendencia negativa (disminución) de la frecuencia de noches frías

(TN10p) y el indicador de duración de los periodos fríos (CSDI).

Respecto a la estación de Puente Colgante, además de las anteriores, se identifica una tendencia al aumento en la Temperatura máxima extrema (TXx), la temperatura máxima más baja (TXn), la temperatura mínima más

alta (TNx), la frecuencia de noches cálidas (TX90p), la duración de los períodos cálidos (WSDI), el rango diario de temperatura (DTR) y la disminución en la Frecuencia de días frescos (Tx10p).

CONCLUSIONES

La temperatura mínima y la máxima presentan una tendencia ascendente significativa que muestra coincidencia con lo reportado por Campos-Aranda (2015) para el estado de Zacatecas y con las tendencias previstas para el estado de Chiapas reportadas por Ramos (2010). Cabe destacar que los resultados expuestos se limitan a las áreas geográficas de donde proceden los registros y es difícil extrapolarlos a otras zonas.

El estado de Chiapas, México, está caracterizado por poseer una de las más grandes redes hidrográficas

del país, entre las principales se encuentran la cuenca Grijalva- Usumacinta, con aproximadamente el 30% del volumen total del escurrimiento anual de toda la república, que alimentan al Sistema Hidroeléctrico del Grijalva con cuatro de las presas hidroeléctricas más importantes: Angostura, Chicoasén, Malpaso y Peñitas.

Aunque en la región se cuentan con pocas estaciones con registros de más de 50 años, es necesario realizar este tipo de análisis en otras cuencas, para poder establecer si las tendencias aquí detectadas son generalizadas y se puedan establecer medidas orientadas a redimensionar los sistemas de abastecimiento de todo tipo, especialmente las presas hidroeléctricas, pues la evaporación sin duda estará aumentando, disminuyendo la disponibilidad de agua e incrementando las necesidades.

BIBLIOGRAFIA

- ARORA, M., N. K. GOEL & P. SINGH, 2005.** Evaluation of Temperature Trends over India. *Hydrological Sciences Journal*, 50(1), 81-93.
- CAMPOS-ARANDA, D. 2015.** Búsqueda del cambio climático en la temperatura máxima de mayo en 16 estaciones climatológicas del estado de Zacatecas, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, VI(3), 143-160.
- CHATTOPADHYAY, S. & D. R. EDWARDS, 2016.** Long-Term Trend Analysis of Precipitation and Air Temperature for Kentucky, United States. *Climate*, 4(1), 10.
- GARCÍA, E. 2004.** *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen*. México, D. F.: UNAM.
- GIL-GUIRAO, S., Y LÓPEZ, F. 2011.** Tendencia de las precipitaciones y temperaturas en una pequeña cuenca fluvial del sureste peninsular semiárido. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*(56), 349-371.
- IPCC. 2007.** *Climate Change 2007-The Physical Science Basis*. Cambridge United Kingdom: Cambridge University Press.
- IPCC. 2013.** *Cambio Climático 2013. Bases Físicas*. Suiza: IPCC.
- MARTÍNEZ, C. J., J.J. MALESKI, & M.F. MILLER, 2012.** Trends in Precipitation and Temperature in Florida, USA. *Journal of Hydrology*, 252-253, 259-281.
- RAMOS, S. 2010.** *Escenarios climáticos para el estado de Chiapas. Informe final fase II*. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas: UNICACH.
- SINGH, P., V. KUMAR, T. THOMAS, T., & M. ARORA, 2008.** Basin Wide Assessment of Temperature Trends in Northwest and Central India. *Hydrological Sciences Journal*, 53(2), 421-433.
- SMN. 2016.** *Comisión Nacional del Agua*. Recuperado el 11 de Enero de 2016, de Servicio Meteorológico Nacional: <http://smn.conagua.gob.mx>
- WANG, X., & Y. FENG, 2013.** *RHeststsV4 User Manual*. Toronto, Canadá: CRD-ASTDCTB.