

## Índices de cambio climático en dos estaciones de la Costa de Chiapas, México

Ricardo Álvarez-López<sup>1</sup>; Laura Alicia Ibáñez\_Castillo<sup>2\*</sup>; Mario Vázquez-Peña<sup>3</sup>; Agustín Ruíz-García<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Chapingo. Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua. Carretera México- Texcoco km 36.5, Chapingo, Estado de México, México. C.P. 56230.

<sup>2</sup>Universidad Autónoma Chapingo. Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua. Carretera México- Texcoco km 36.5, Chapingo, Estado de México, México. C.P. 56230.

libacas@gamil.com - Teléfono (\*Autor de correspondencia)

<sup>3</sup>Universidad Autónoma Chapingo. Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua. Carretera México- Texcoco km 36.5, Chapingo, Estado de México, México. C.P. 56230

<sup>4</sup>Universidad Autónoma Chapingo. Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua. Carretera México- Texcoco km 36.5, Chapingo, Estado de México, México. C.P. 56230

---

### Resumen

Es necesario obtener información de las tendencias de la temperatura y precipitación a través del tiempo en la Costa del Pacífico Mexicano en los periodos más recientes posibles, debido a esto se analizaron tendencias en dos estaciones para el periodo 1960-2021 ubicadas en la Costa de Chiapas. Se obtuvieron los 27 índices del ETCCDI para esta zona de estudio. Se obtuvieron datos de temperaturas máxima y mínima y precipitación de las estaciones Huehuetán y Huixtla del Sistema Meteorológico Nacional. Se generaron datos faltantes de lluvia con el método del U.S. National Wheater Service y de temperaturas con la plataforma ClimateEngine.org. Se evaluó la homogeneidad de las series y el ajuste mediante cuantiles QM en caso de ser necesario con el RHtest V4 para la temperatura y RHtest\_flyPrpc para la precipitación. La obtención de los índices se realizó con el RClimDex realizando los controles de calidad de datos que propone. Los índices obtenidos se clasificaron en base a su significancia estadística ( $pvalue < 0.05$ ) y su tendencia de aumento o decremento. Estos resultados se evaluaron por estación y se compararon con investigaciones elaboradas en Chiapas y en las mismas estaciones meteorológicas. Los resultados obtenidos comparados con trabajos anteriores muestran similitud en los cambios, pero con diferencias en cierta cantidad de índices. Entre los cambios encontrados en temperatura, se tiene en Huehuetán un comportamiento de enfriamiento reflejado en los máximos y mínimos de temperatura que tienden a disminuir, mientras que en Huixtla se da una tendencia de incremento de temperatura, teniendo más días con temperaturas mínimas y maximas más altas y en periodos más largos. Ambas estaciones presentan incrementos en precipitación, tanto en cantidad total anual como en días con lluvias mayores a 10 y 20 mm de precipitación diaria.

**Palabras clave:** índices, temperatura, precipitación, clima Costa de Chiapas.

## Introducción

El cambio climático es mencionado por la Organización Mundial Meteorológica (WMO, 2022) como una variación estadísticamente significativa del estado promedio climático o de su variabilidad, de forma continua en un periodo de tiempo largo, comprendiendo décadas o más. El IPCC (2014) o Panel intergubernamental de Cambio Climático menciona a la detección como la acción de abordar la pregunta de si el clima o un sistema, natural o humano, que se encuentre afectado por el clima tenga realmente un cambio de forma estadística. De la misma forma, comenta que las causas de los cambios observados en el sistema climático, de un sistema natural o humano impactado por el clima, son establecidos siguiendo un conjunto de métodos consistentes (IPCC, 2014).

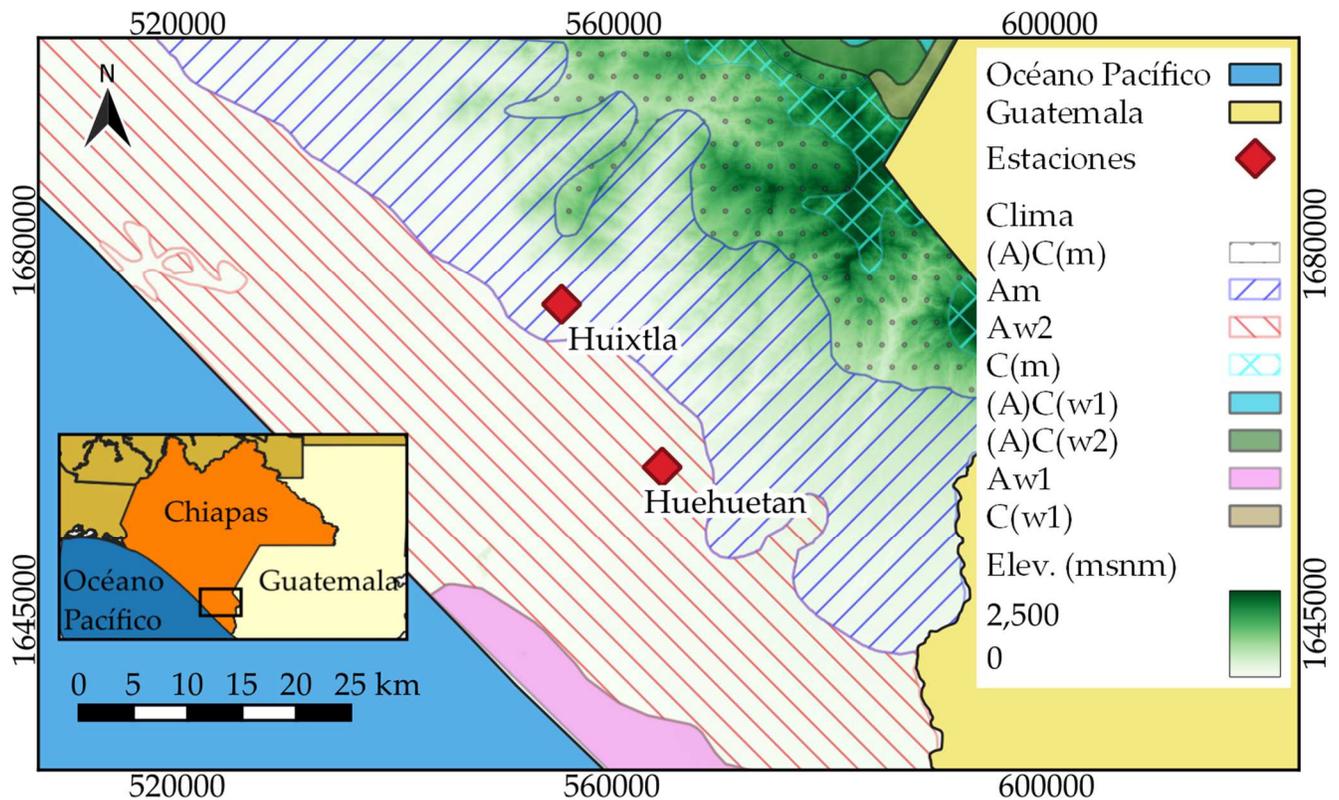
El IPCC (2023), también menciona que obstáculos sistémicos como las lagunas en la financiación, los conocimientos y las prácticas, incluida la falta de conocimientos y datos sobre el clima, dificultan el progreso de la adaptación.

Más conocidos como los índices del ETCCDI, definidos por Frich et al. (2002), son un conjunto de índices basados en los índices del European Climate Assessment (ECA) (Klein Tank et al., 2002) para analizar tendencias para la segunda mitad del siglo 20. En total se definieron 27 índices. Estos índices son usados como intento para responder preguntas sobre los valores extremos del clima e intentar extraer información a partir de datos diarios de observaciones meteorológicas (Zhang et al., 2011).

Entre las investigaciones realizadas en el estado de Chiapas, México, referentes al uso de los índices para la detección de tendencias de cambio climático del ETCCDI, podemos mencionar los trabajos realizados por de la Mora Orozco et al. (2016), donde analizó 16 estaciones distribuidas en el estado de Chiapas en el periodo de 1960 a 2009 para 8 indicadores basados en temperaturas máximas, mínimas y precipitación. De igual forma, Figueroa Gallegos (2016) realizó una investigación en dos estaciones climatológicas ubicadas en la cuenca del Río Sabinal, Chiapas; del mismo autor (Figueroa Gallegos, 2017), se tiene una nota técnica publicada sobre índices de cambio climático en la Cuenca del Río Grande, Chiapas, pero cabe mencionar que esta nota técnica tiene una Discusión realizada por Mundo-Molina (2019) donde refuta los resultados, apartados metodológicos y conclusiones realizadas del estudio, por lo que imposibilita la consideración de esta nota técnica como material científico relevante realizado en Chiapas. En la misma zona de estudio se encuentra el trabajo realizado por Álvarez-López et al., (2024) donde se determinaron los 32 índices del ETCCDI para la cuenca del Río Huixtla en el periodo 1960-2014, donde se consideraron las estaciones abordadas en este trabajo. Es necesario realizar más investigación relacionada a los cambios en temperatura y precipitación en el estado de Chiapas. Por lo tanto, ante la necesidad de determinar los cambios en los extremos climáticos, este estudio tiene como objetivo obtener los índices de cambio climático del ETCCDI relacionados a temperatura y precipitación para dos estaciones de la Costa de Chiapas y analizar su comportamiento. Estudiar el cambio climático en Chiapas resulta importante para la población y para la agricultura, tal como el café que es muy sensible a cambios de temperatura y comportamiento de la lluvia, ya que se pueden descontrolar algunas enfermedades como la roya del café (Libert-Amico y Paz-Pellat, 2018).

## Materiales y Métodos

El área de estudio se encuentra en la Región hidrológica No. 23 Costa de Chiapas, definida por las estaciones climatológicas 7075 Huehuetán y 7077 Huixtla del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y el área circundante a estas estaciones (Figura 1). El área circundante a la zona de estudio presenta una variación brusca de elevaciones que van de 0 hasta 2500 msnm, aunque las estaciones analizadas se encuentran a elevaciones similares (Figura 1). Los climas predominantes en la zona de estudio son cálido subhúmedo con lluvias en verano (Aw2) y cálido húmedo con lluvias en verano (Am) (Figura 1). De aquí en adelante a las estaciones se les nombrará únicamente como Huehuetán y Huixtla para facilitar la lectura del escrito.



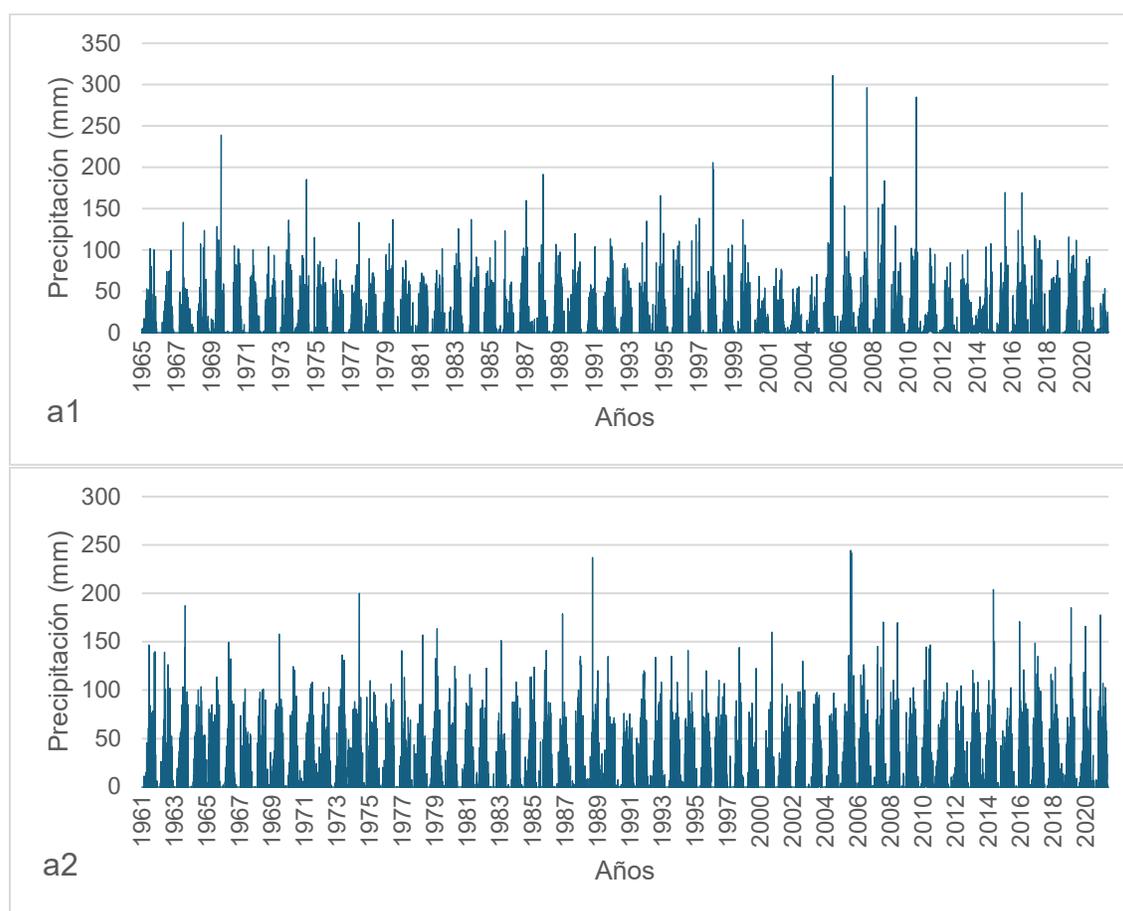
**Figura 1.** Clima, elevaciones y ubicación de las estaciones en la zona de estudio.

Los principales usos de suelo y vegetación en la zona están especificados como suelo agrícola-pecuario-forestal, pastizal inducido y zonas cercanas con selva alta perennifolia, esto según lo indicado en la cartografía Serie VII de Uso de suelo y Vegetación escala 1:250 000 (INEGI, 2021). En el periodo de mayo a octubre, el total de precipitación en la mayor parte de la zona de estudio va de los 2600 a los 3000 mm. En el periodo de noviembre a abril se tienen precipitaciones que van de los 200 a 300 mm, según la carta de Efectos Climáticos Locales escala 1:250 000 (INEGI, 1984). Las temperaturas medias máximas se encuentran alrededor de 33 °C en todo el año y las temperaturas medias mínimas van de 18 a 21 °C según la cartografía de INEGI (1984).

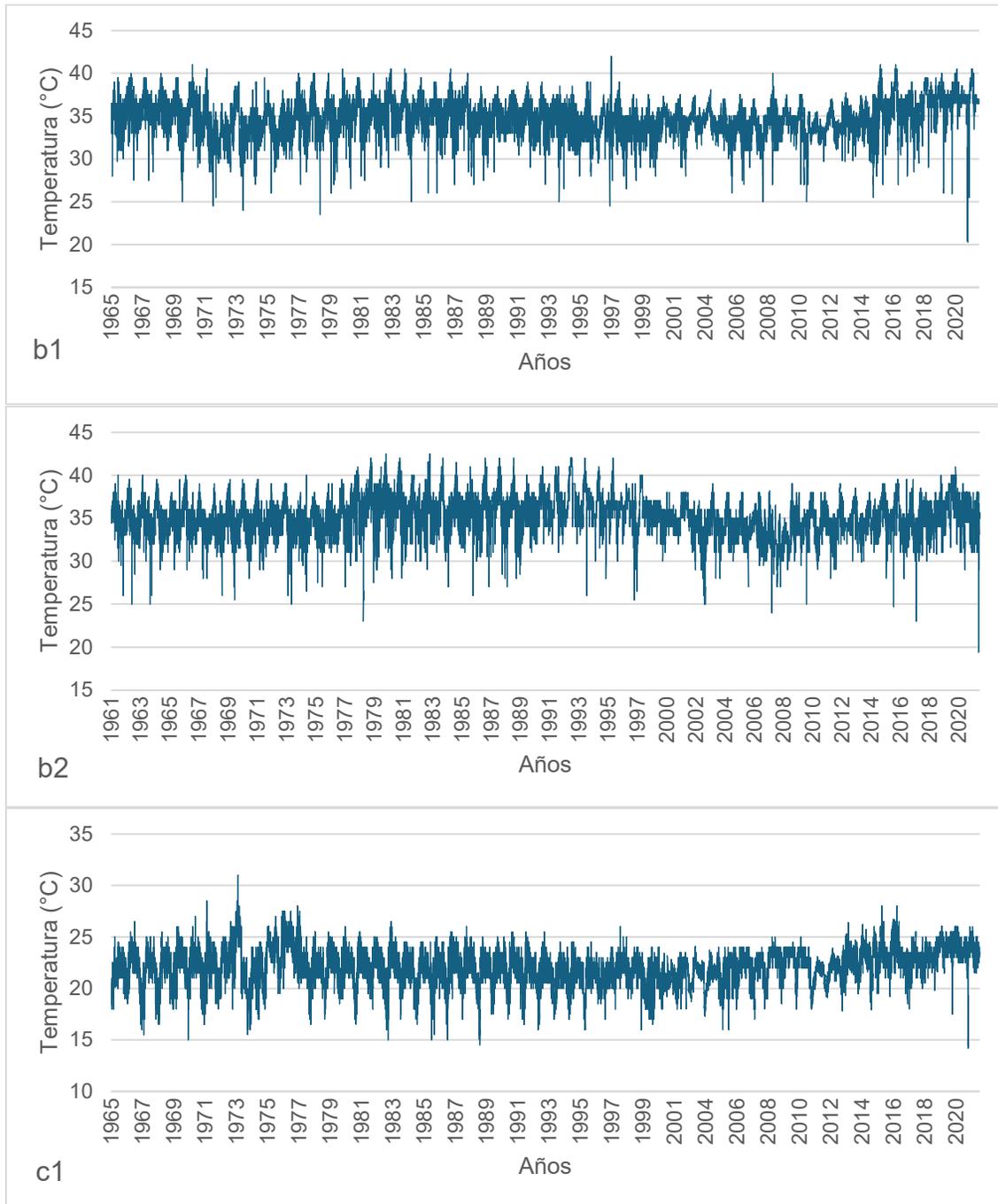
La selección de estaciones cuyos datos se analizaron, se realizó en base a la longitud de registros de los datos del clima. Las estaciones fueron elegidas por contar con datos del clima

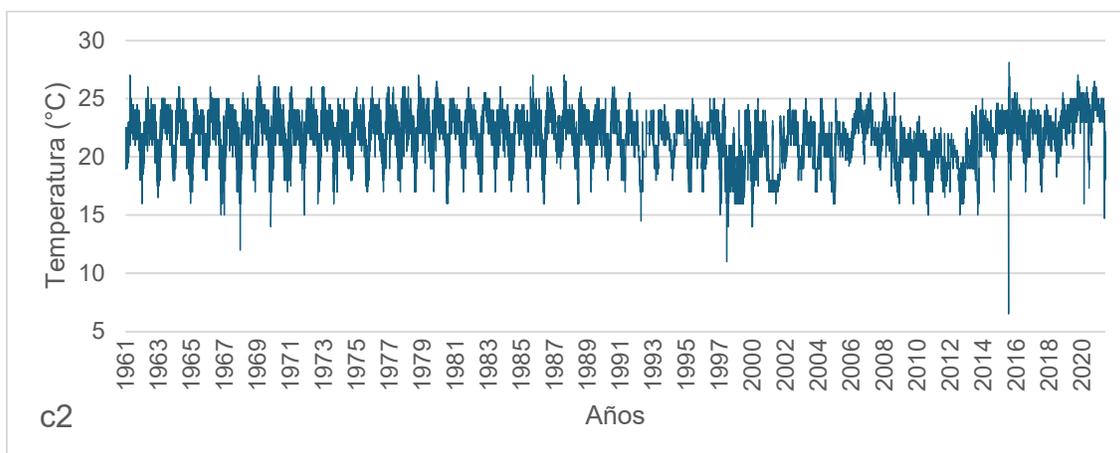
con una longitud de registros mayor a 30 años y que no tuvieran más de 20 % de datos faltantes. Los periodos de análisis se realizaron con respecto al máximo registro de cada estación, definiéndose los periodos siguientes: de 1965-2021 para la estación Huehuetán y de 1961 al 2021 para la estación Huixtla. No se analizaron años más recientes por lo incompleto de los datos.

Las series diaria de temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación se obtuvieron del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Estas series de datos presentaron datos faltantes en las tres variables en diferentes días y en diferentes años, para completar estas series de datos se generaron datos faltantes de temperatura máxima y mínima mediante el uso de la plataforma Climate Engine (ClimateEngine.org, 2023) para los datos faltantes de 1980 en adelante; para los datos faltantes de temperatura máxima y mínima para años anteriores a 1980 se utilizó el método del U.S. National Weather Service (WS) (Chow et al., 1996). Para los datos faltantes de precipitación se utilizó el método WS en cada estación. Las series finales se muestran en la Figura 2 para precipitación y Figura 3 para temperatura.



**Figura 2.** Series finales de precipitación (a) en Huehuetán (1) y Huixtla (2).





**Figura 3.** Series finales de temperatura máxima (b) y mínima (c) para Huehuetán (1) y Huixtla (2) respectivamente.

La preparación de datos se realizó según lo recomendado en el manual de usuario del programa RClimDex (Zhang et al., 2018), realizando el control de calidad de datos básico y extra de las series extraídas y el cálculo de los 27 indicadores del ETCCDI (Cuadro 1) de cambio climático en las dos estaciones en estudio (Karl et al., 1999) después de realizar el proceso de homogenización de datos, más información de este proceso consultar el texto de Álvarez-López et al., (2024), además de los parámetros definidos por el usuario (SUnn, FDnn, TRnn, IDnn), haciendo un total de 32 índices.

El grado de cambio o tendencia en los índices calculados y su significancia estadística se clasifico con el sistema propuesto por Ruiz-García et al. (2021) del uso de signos y colores (Cuadro 2), en este sistema se asocia un signo al grado de decremento/incremento (- o +, respectivamente) que va de bajo a muy alto según la pendiente de la recta de ajuste del índice analizado, y un color asignado en caso de presentarse significancia estadística (pvalue < 0.05) dejando sin color a los que no presenten relevancia estadísticamente significativa. Se maneja S/C cuando no se presentan cambios en el índice y ND cuando no se tiene un resultado del índice; el proceso previamente descrito fue realizado por un módulo incluido en RClimDex.

**Cuadro 1.** Sistema de clasificación de la pendiente de la recta de ajuste y relevancia estadísticamente significativa del índice.

Tendencia	Rango	Signo y color*	Rango	Signo y color*
Bajo	-0.01 a -0.05	-	0.01 a 0.05	+
Moderado	-0.05 a -0.1	--	0.05 a 0.1	++
Alto	-0.1 a -0.5	---	0.1 a 0.5	+++
Muy alto	menor a -0.5	----	mayor a 0.5	++++

Fuente: Álvarez-López et al. (2024)

\*En caso de no tener significancia estadística se omite el color.





en 5 días (RX5day), los días húmedos y secos consecutivos (CWD y CDD), así como el número de días por encima de 10 mm y 20 mm (R10mm y R20mm).

Para la estación Huixtla se presenta un incremento de temperatura que se muestra en índices como la temperatura por encima de los 35 °C (SU35), que incrementa muy alto a razón de 29.16 días/década, la temperatura máxima mensual de las máximas y mínimas diarias (TXx y TXn) incrementan de manera moderada en tasas de 0.67 y 0.95 °C/década respectivamente, también se muestra incremento muy alto en la duración de los periodos calurosos (WSDI) a razón de 54.77 días/década y en las mínimas por arriba del percentil 90 (TN90p) de igual forma muy alto en tasa de 9.82 por ciento/década. El comportamiento de la temperatura máxima extrema (TXx) coincide con lo encontrado por de la Mora Orozco et al. (2016) mostrando un claro incremento en el índice. Para la precipitación también se presenta incremento, tanto en precipitación total (PRCPTOT) a razón de 102.34 mm/década, como en precipitaciones por encima de los 20 mm (R20mm), incrementando 102.82 días/década. También incrementan los días húmedos (CWD) 0.87 días/década.

Comparando los resultados con los obtenidos con la serie hasta 2014 por Álvarez-López et al., (2024), se puede comentar que se mantiene el incremento de temperatura. Al igual que en Huehuetán, se tienen índices de temperatura con pérdida de significancia estadística, estos son el porcentaje de temperaturas máximas por debajo del percentil 10 (TX10p), la duración de periodos fríos (CSDI) y las temperaturas máximas por encima de 35 °C (SU35) cambia de sentido. En la precipitación únicamente se pierde significancia en el máximo mensual de precipitación en 5 días (RX5day), pudiendo comentar que no es posible determinar su tendencia.

## Conclusiones

En las estaciones analizadas, Huehuetán y Huixtla, la temperatura ha cambiado de manera distinta. El cambio en Huehuetán se muestra más en un sentido de enfriamiento, donde en ciertos días del año la temperatura extrema es más baja y el mínimo también es más bajo. En Huixtla va en un sentido contrario, donde hay más días al año en las que la temperatura mínima o máxima es más alta y estos días se concentran formando periodos más largos de días calurosos. Donde ambas estaciones coinciden, así como con los resultados obtenidos en investigaciones anteriores hasta 2014, es en el incremento de precipitación, tanto en cantidad total anual como en cantidades por encima de 10 y 20 mm de precipitación al día, lo cual también coincide con lo que señalan diversos autores.

## Referencias Bibliográficas

- Álvarez-López, R., Ibáñez-Castillo, L. A., Vázquez-Peña, M. A., & Ruíz-García, A. (2024). TEMPERATURE AND PRECIPITATION TRENDS DUE TO CLIMATE CHANGE IN THE HUIXTLA RIVER BASIN IN CHIAPAS, MEXICO. *Agrociencia*, 1-14. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v58i5.3087>
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. 1996. *Hidrología Aplicada*. McGraw-Hill. Santafé de Bogotá, Colombia. 580 p.
- ClimateEngine.org. 2023. Desert Research Institute, The University of California Merced, US Bureau of Land Management, Google Earth Engine, NOAA's National Integrated Drought Information System. ClimateEngine.Org. <https://www.climateengine.org> (Recuperado: mayo de 2023).
- de la Mora Orozco, C., Ruíz Corral, J. A., Flores López, H. E., Zarazúa Villaseñor, P., Ramírez Ojeda, G., Medina García, G., Rodríguez Moreno, V. M., & Chavéz Durán, Á. A. 2016. Índices de cambio climático en el estado de Chiapas, México, en el periodo 1960-2009. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub. Esp.*(13), 2523-2534. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v7nspe13/2007-0934-remexca-7-spe13-2523.pdf>
- Figueroa Gallegos, J. A. 2016. Índices de cambio climático en la cuenca del río Sabinal, Chiapas, México. *Aqua-LAC* 8(2), Article 2. <https://doi.org/10.29104/phi-aqualac/2016-v8-2-04>
- Figueroa Gallegos, J. A. 2017. Índices de cambio climático en la cuenca del Río Grande, Chiapas, México. *Tecnología y ciencias del agua* 8(6), Article 6. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-06-10>
- Frich, P., Alexander, L., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Klein Tank, A. M. G., & Peterson, T. 2002. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Climate Research* 19, 193-212. <https://doi.org/10.3354/cr019193>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 1984. Conjunto de datos vectoriales del Continuo Nacional [Map]. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx/temas/climatologia/> (Recuperado: junio 2023).
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2021. Conjunto de datos vectoriales del uso de suelo y vegetación [Map]. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <http://geoportal.conabio.gob.mx/metadatos/doc/html/usv250s7gw.html> (Recuperado: junio 2023).
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report (Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, p. 151). Core Writing Team, R.K Pachauri and L.A. Meyer (eds.). [https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_All\\_Topics.pdf](https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_All_Topics.pdf) (Recuperado: agosto 2023).
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2023. Sections. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. (First, pp. 35-115). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647> (Recuperado: agosto 2023).

- Karl, T. R., Nicholls, N., & Ghazi, A. 1999. Clivar/GCOS/WMO Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes Workshop Summary. *Climatic Change* 42(1), 3-7. <https://doi.org/10.1023/A:1005491526870>
- Klein Tank, A. M. G., Wijngaard, J. B., Können, G. P., Böhm, R., Demarée, G., Gocheva, A., Mileta, M., Pashiardis, S., Hejkrlik, L., Kern-Hansen, C., Heino, R., Bessemoulin, P., Müller-Westermeier, G., Tzanakou, M., Szalai, S., Pálsdóttir, T., Fitzgerald, D., Rubin, S., Capaldo, M., ... Petrovic, P. 2002. Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *International Journal of Climatology*, 22(12): 1441-1453. <https://doi.org/10.1002/joc.773>
- Libert-Amico A., Paz-Pellat Fernando. 2018. Del papel a la acción en la mitigación y adaptación al cambio climático: la roya del cafeto en Chiapas. *Madera y Bosques Vol. 24, # especial*. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2401914>.
- Mundo-Molina, M. D. 2019. Discusión a la nota técnica “Índices de cambio climático en la cuenca del Río Grande, Chiapas, México” de José Alonso Figueroa-Gallegos, 8(6), noviembre-diciembre 2017, 137-143. *Tecnología y Ciencias del Agua* 10(6), Article 6. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2019-06-D1>
- Ruiz-García, P., Conde-Álvarez, C., Gómez-Díaz, J. D., & Monterroso-Rivas, A. I. 2021. Projections of Local Knowledge-Based Adaptation Strategies of Mexican Coffee Farmers. *Climate* 9(4) Article 4. <https://doi.org/10.3390/cli9040060>
- WMO (World Meteorological Organization). 2022, mayo 27. FAQs—Climate. World Meteorological Organization. <https://public.wmo.int/en/about-us/frequently-asked-questions/climate>
- Zhang, X., Alexander, L., Hegerl, G. C., Jones, P., Tank, A. K., Peterson, T. C., Trewin, B., & Zwiers, F. W. 2011. Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. *WIREs Climate Change* 2(6), 851-870. <https://doi.org/10.1002/wcc.147>
- Zhang, X., Feng, Y., & Chan, R. 2018. Introduction to RCLimDex v1.9. Climate Research Division, Downsview, Ontario, Canada. <https://github.com/ECCC-CDAS/RCLimDex/blob/master/inst/doc/manual.pdf> (Recu-perado: mayo 2023).