



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
CAMPUS I



**ÍNDICES Y EVALUACIÓN DE TENDENCIAS DEL
CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ESTADO DE CHIAPAS.**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA CON FORMACIÓN EN
HIDRÁULICA**

PRESENTA

NÉSTOR GABRIEL MÉNDEZ MÉNDEZ C131107

DIRECTOR DE TESIS

DR. JOSÉ ALONSO FIGUEROA GALLEGOS

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; Febrero 2022



Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.
23 de febrero de 2022
Oficio No. F.I.01.303/2022

C. NÉSTOR GABRIEL MÉNDEZ MÉNDEZ
ALUMNO DE LA MAESTRÍA EN INGENIERÍA
CON FORMACIÓN EN HIDRÁULICA
P R E S E N T E:

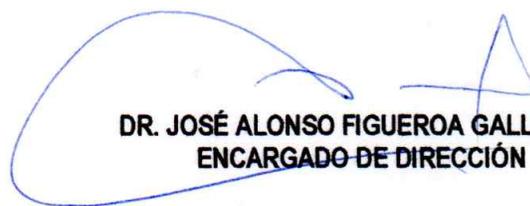
Con base en el Reglamento de Evaluación Profesional para los egresados de la Universidad Autónoma de Chiapas, y habiéndose cumplido con las disposiciones en cuanto a la aprobación por parte de los integrantes del jurado en el contenido de su Tesis Titulada:

“ÍNDICES Y EVALUACIÓN DE TENDENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ESTADO DE CHIAPAS”.

CERTIFICO el **VOTO APROBATORIO** emitido por este y autorizo la impresión de dicho trabajo para que sea sustentado en su Examen Profesional para obtener el grado de Maestro en Ingeniería con formación en Hidráulica.

Sin otro particular, reciba un cordial saludo.

ATENTAMENTE
“POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR”


DR. JOSÉ ALONSO FIGUEROA GALLEGOS
ENCARGADO DE DIRECCIÓN



C.c.p. Dra. Daisy Escobar Castillejos. Coordinadora de Investigación y Posgrado. Facultad de Ingeniería.
C.c.p. Archivo/minutario
JAFG/DEC/tpg*



Código: FO-113-05-05

Revisión: 0

CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS DE TÍTULO Y/O GRADO.

El (la) suscrito (a) Néstor Gabriel Méndez Méndez
Autor (a) de la tesis bajo el título de "ÍNDICES Y EVALUACIÓN DE TENDENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ESTADO DE CHIAPAS"

presentada y aprobada en el año 20 22 como requisito para obtener el título o grado de Maestro en Ingeniería con formación en Hidráulica, autorizo a la Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), a que realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para que contribuya a la divulgación del conocimiento científico, tecnológico y de innovación que se produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Consulta del trabajo de título o de grado a través de la Biblioteca Digital de Tesis (BIDITE) del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH) que incluye tesis de pregrado de todos los programas educativos de la Universidad, así como de los posgrados no registrados ni reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.
- En el caso de tratarse de tesis de maestría y/o doctorado de programas educativos que sí se encuentren registrados y reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los 21 días del mes de marzo del año 20 22.

Néstor Gabriel Méndez Méndez

Nombre y firma del Tesista o Tesistas

AGRADECIMIENTOS

A Díos:

Agradezco a Díos por darme la oportunidad de seguir en esta tierra y permitirme llegar a una meta más en mi vida, por bendecirme, acompañarme y cuidarme en el camino de la vida, que su luz y su palabra sea siempre lámpara a mis pies.

A mi padre:

Agradezco a mi difunto padre, el profesor Sebastián Méndez Pérez, por su apoyo incondicional en todo momento, por sus motivaciones, sus sabios consejos, por la relación que tuvimos, aunque en este momento ya no cuento con su presencia física, pero sé que a él le daría mucho gusto este logro más en mi vida, siempre te recordare con amor.

A mi madre:

Agradezco a mi madre, la profesora Micaela Méndez Sántiz, por su apoyo incondicional, por su amor sin condiciones, por ser mi mayor motivadora, por sus dichos, consejos y correcciones, nada de esto hubiera podido ser posible, espero ser y seguir siendo un buen hijo para ti mamá.

Al Dr. José Alonso Figueroa Gallegos.

Agradezco la oportunidad y el tiempo que me brindó al instruirme y dirigirme en esta tesis, por sus recomendaciones y correcciones que requería este trabajo de investigación, muchas gracias.

Índice	
Índice General	3
Índice de figuras	4
Índice de tablas	5
Índice de anexos	6
CAPITULO 1: Introducción	7
1.1 Objetivos del presente trabajo	8
1.1.1 Objetivo general	8
1.1.2 Objetivo particular	8
1.2 Justificación	8
1.3 Cambio climático	9
1.4 Antecedentes de cambio climático	11
1.4.1 Antecedentes	11
1.4.1.1 Cambio climático en México y Chiapas	18
Capítulo 2: Los indicadores ETCCCDI para el cambio climático	25
Capítulo 3. Metodología	32
3.1 Zona de estudio	32
3.2 Selección y recopilación de datos	33
3.3 Control de calidad de datos	34
3.4 Homogeneidad	35
3.5 Preparación de datos de entrada	37
3.6 Determinación de índices	40
Capítulo 4. Resultados y conclusión	44
4.1 Temperatura	55
4.2 Precipitación	57
4.3 Conclusión	59
Bibliografía	61

Índice de figuras

Figura 1. Gráfica basada en la comparación de muestras atmosféricas de núcleos de hielo y mediciones directas más recientes, proporciona evidencia de que el CO ₂ atmosférico ha aumentado desde la Revolución Industrial.	11
Figura 2. El balance de radiación.	13
Figura 3. Impactos generalizados atribuidos al cambio climático sobre la base de la documentación científica disponible desde el Cuarto Informe de Evaluación.	14
Figura 4. Los 15 desastres naturales más costosos de 1999 a 2017 en México.	18
Figura 5. Mapa de vulnerabilidad a Inundaciones.	19
Figura 6. Migración por el cambio Climático.	20
Figura 7. Precipitaciones mensuales por período de 30 años.	21
Figura 8. Temperatura máxima mensual por período de 30 años.	22
Figura 9. Temperatura mínima mensual por período de 30 años.	22
Figura 10. Consumo de agua urbano.	23
Figura 11. Grado de peligro por sequía por municipio.	24
Figura 12. Grado de riesgo por inundaciones por municipio.	24
Figura 13. Cambio en la serie de anomalías (a, b) de los índices de intensidad de temperatura extrema.	29
Figura 14. Cuencas hidrológicas de Chiapas.	32
Figura 15. En rojo, desviaciones de la recta de regresión lineal (azul) minimizadas por mínimos cuadrados en los tipos I (izquierda) y II derecha.	36
Figura 16. Archivos EST y DAT obtenidos del paquete R Climatol.	37
Figura 17. Cantidad de datos disponibles para el análisis de precipitación, temperatura máxima y mínima a partir del período 1966-2015.	39
Figura 18. Proceso en el programa Climatol.	39

Índice de tablas

Cuadro 1. Percepción pública sobre el cambio climático.	10
Tabla 2. Factores y efectos de cambio climático	15
Tabla 3. Índices climáticos ETCCDI	27
Tabla 4. Estaciones climatológicas	34
Tabla 5. Tipo de tendencias de 29 estaciones climatológicas	45
Tabla 6. Resumen de número de estaciones con tendencia referente a la temperatura.	55
Tabla 7. Promedios generales de los índices ETCCDI en referencia a la temperatura.	55
Tabla 8. Resumen de número de estaciones con tendencia referente a la precipitación.	57
Tabla 9. Promedios generales de los índices ETCCDI en referencia a la precipitación.	57

Índice de anexos

Anexo 1. Mapa de tendencias de temperatura máxima extrema (TXx)	67
Anexo 2. Mapa de tendencias de temperatura mínima extrema (TNn)	68
Anexo 3. Mapa de tendencias días húmedos consecutivos (CWD)	69
Anexo 4. Mapa de tendencias de precipitación máxima en un día (Rx1day)	70
Anexo 5. Mapa de tendencias de días con lluvias mayores a 20mm (R20mm)	71
Anexo 6. Mapa de tendencias precipitación total (PRCPTOT)	72
Anexo 7. Mapa de cuencas regionales del estado de Chiapas-tendencia TXx	73
Anexo 8. Mapa de cuencas regionales del estado de Chiapas-tendencia TNn	74
Anexo 9. Mapa de cuencas regionales del estado de Chiapas- tendencia SU	75
Anexo 10. Mapa de cuencas regionales del estado de Chiapas-tendencia PRCPTOT	76
Anexo 11. Mapa de grado de riesgo por sequía CENAPRED (2015) con estaciones de tendencia TXx	77
Anexo 12. Mapa de grado de riesgo por inundación CENAPRED (2015) con tendencia PRCPTOT	78

Capítulo 1: Introducción

El objeto de estudio de la variabilidad climática y cambio climático, cada día se hace más latente, ya que últimamente se ha realizado varios estudios para revisar, comprobar y generar información acerca del comportamiento del clima, por el cual han suscitado varios fenómenos climatológicos graves.

El tema en cuestión ha sido muy debatido, causando muchas opiniones divididas respecto al tema, ya que no ha sido fácil establecer un criterio absoluto dado en un cambio climático, puesto que se ha argumentado que las informaciones que se han generado no son suficientes para corroborar un cambio como tal en el clima.

Sin embargo, se han tenido varios registros de temperaturas altas y que éstas van en incremento en todo el mundo, causando un calentamiento global, pues dichas temperaturas en aumento parecen tener un origen mayor en la actividad humana.

Dado que las actividades humanas tienden a utilizar energía para la producción de productos, alimentos, aparatos electrónicos entre otros, por lo que conlleva a desechar o liberar residuos de la misma, en forma de gases denominados gases de efecto invernadero, dando como resultado una alteración en el clima y en la atmósfera.

Por lo que se vuelve de interés estudiar dos aspectos físicos como la temperatura y la precipitación, ya que éstas son referentes para la observación de los cambios climáticos durante el transcurso de los años, permitiendo entender los impactos que éstos tienen en los recursos naturales.

Ya que éstos recursos naturales son necesarios para la vida diaria, como por ejemplo en el aspecto de la cantidad, disponibilidad del agua, las materias primas para la infraestructura, entre otros, por lo que en éste trabajo de investigación presentará un análisis sobre el cambio climático para el estado de Chiapas mediante el uso de índices propuestos por el Grupo Intergubernamental de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático (ETCDDI), el cual permita identificar evidencias de un clima cambiante derivado del calentamiento global.

1.1 Objetivos del presente trabajo

1.1.1 Objetivo General

Analizar e identificar cambios climáticos extremos como en la precipitación y la temperatura a escala regional dentro del estado de Chiapas

1.1.2 Objetivo particular

- Utilizar la metodología para la detección de climas extremos propuesta por el Panel de expertos en índices de cambio climático.
- Revisar y analizar la evolución de las series de datos climatológicos que expliquen posibles patrones de cambio.
- Identificar tendencias climáticas extremas significativas que indiquen cambios en el comportamiento de la precipitación y temperatura.
- Contribuir al conocimiento del estudio de climas cambiantes antropogénicos para el estado de Chiapas

1.2 Justificación

El presente trabajo de investigación pretende identificar y generar información a través de los resultados que se obtendrán a partir de los métodos elegidos para la evidencia y verificación de datos que indique las tendencias climáticas a través de dos variaciones físicas que son la temperatura y la precipitación de las regiones que conforman al estado de Chiapas, que permita observar y verificar los cambios climáticos exabruptos y el impacto que éstas tienen en los recursos naturales del estado de Chiapas y como éstas se comportarán hacia el futuro.

Con la información que se genere a través del presente trabajo de investigación podrá servir como principio para la conformación de guías, manuales y normas para la prevención de riesgos y desastres naturales para el estado de Chiapas, además de que los gobiernos locales puedan desarrollar planes adaptados al desarrollo ambiental, político, social y económico, para un crecimiento sostenible y sustentable indicadas en los ocho objetivos del Desarrollo del Milenio y los diecisiete objetivos de desarrollo sostenible declaradas por la Organización de las Naciones Unidas (ONU).

Además de que la presente investigación sea de utilidad científica el cual se genere información que sustente y valide los trabajos científicos propuestos y realizados por otros autores, sirviendo, así como bases de un desarrollo o conocimiento nuevo y adicional en las distintas áreas disciplinares de la ciencia y la tecnología.

1.3 Cambio climático.

Mucho se ha hablado acerca del cambio climático, por lo que se ha puesto en duda la existencia de un cambio climático real, ha existido diferentes posturas de líderes políticos en el mundo, activistas, “influencers” de redes sociales, científicos, empresarios, entre otros, en las cuales tienen opiniones divididas respecto al tema, es decir se ha democratizado tanto que cuesta creer que se pueda tomar como verdad o mentira sobre el cambio climático.

Algunas de las declaraciones políticas dichas por el expresidente de los Estados Unidos Donald Trump en el año de 2017 anunciaba que Estados Unidos se salía del acuerdo de París, declarando “que el acuerdo de París no beneficiaba a Estados Unidos, ya que obligaba a disminuir la producción de carbón, teniendo una consecuencia grave para la economía ya que ocasionaría desempleos para el país, además de que solo es un invento de la prensa, sobre el cual está alojado como una creencia en la mente de las personas en la cual los medios han difundido una información falsa”(MILENIO, 2017, 3m30s).

Pero en ¿qué consiste exactamente el acuerdo de París?, dicho acuerdo nace el 12 de diciembre de 2015, donde 195 países firman un pacto para comprometerse en acciones que frenen el calentamiento global, como limitar el aumento de temperaturas de bajo de 2° C, neutralidad de carbono, ayudar a los países pobres donando 100 mil millones de dólares por año (France 24 Español, 2020, 17s).

Por otra parte, se han generado muchas polémicas por declaraciones y discursos de la famosa activista Greta Thunberg acerca del cambio climático y calentamiento global, por lo cual se le ha criticado y acusado que detrás de ella se encuentra empresas y líderes políticos que necesitan crear una figura emblemática para hacer publicidad y convencer a los gobiernos en invertir, gastar en proyectos y tecnologías de solución sustentable. (Paradigma Noticias, 2019)

Recientemente González (2020), ha realizado un estudio en cuanto la percepción pública sobre el cambio climático a través de las redes sociales en Twitter, ya que los usuarios de las redes en su mayoría son jóvenes; los resultados se clasificaron como positivos (cree que el cambio climático es verdad) y negativa (cree que es falso) y neutro (ninguna de las anteriores); a continuación, se tiene en el siguiente cuadro 1 los resultados de esta encuesta.

Table 4. Consensus gap in the literature. TW: Twitter.

Autor	País/Región	Período	Fuente	Método	Perc. positiva	Perc. negativa
An et al. (2014)	Todos los de habla inglesa	Octubre a diciembre 2013	TW	Clasificador bayesiano y de máquinas de soporte vectorial	85%	15%
Mucha (2017)	Estados Unidos, Reino Unido, Australia y Canadá	2017	TW	Clasificador de máquinas de soporte vectorial	53%	40%
Presente estudio	América del Sur	Septiembre a octubre 2019	TW	Clasificador bayesiano y de máquinas de soporte vectorial	86-95%	5-4%

Cuadro 1. Percepción pública sobre el cambio climático.

Fuente: González (2020).

Se tiene entonces, una brecha de consenso considerable en el ámbito de cambio climático parece restringirse para los casos de Estados Unidos, Reino Unido, Australia y Canadá, quienes creen que el cambio climático no existe; mientras en comparación de América del Sur ellos muestran resultados positivos en cuanto a la creencia del cambio climático.

Por lo que cabe mencionar que existe el concepto de negacionistas, en donde asumen que existe un cambio climático, pero que los datos que existen no son tan relevantes, justificando que desde la formación de la Tierra ha experimentado otros cambios climáticos naturales, amparados por entendimiento de un proceso físico tan complejo como es la dinámica atmosférica dada por infinidad de factores de manifestaciones meteorológicas de cada lugar del planeta, además de que no se tiene datos que den certezas de un concentración CO₂ en la atmósfera que sean provocadas por las actividades humanas (UPM, 2019, 1m20s).

Con todos estos argumentos, nacen preguntas como a ¿quién se le tiene que creer?, ¿existe un cambio climático real?; puesto que dentro del internet tampoco se encuentra una respuesta contundente; por lo tanto, puede decirse que el eje rector que tiene la última palabra sobre el cambio climático es la organización del Panel Intergubernamental de Expertos del Cambio Climático (IPCC), el cual se encarga de validar o verificar todos los datos e información registrada de varias organizaciones e instituciones que se dedican estudiar los efectos del calentamiento global.

1.4 Antecedentes de cambio climático

1.4.1 Antecedentes

El clima de la Tierra ha ido cambiando a través de la historia; según la NASA (2020) en los últimos 650.000 años, se han dado siete ciclos de avances y retrocesos glaciales, con el abrupto final de la última era de hielo hace alrededor de 7.000 años, lo que marcó el comienzo de la era climática moderna y de la civilización humana. La mayoría de estos cambios climáticos se atribuyen a variaciones muy pequeñas en la órbita de la Tierra, las cuales alteran la cantidad de energía solar que recibe nuestro planeta.

Aunque desde hace años la tendencia al aumento de temperatura en la tierra resulta de gran interés debido a que se han tenido registros de incrementos de temperatura con un promedio de 0.9 °C/año desde 1950 a 2010 (ver figura 1), haciendo que las capas de hielo de Groenlandia y la Antártida hayan disminuido sus masas, además de que los mares hayan aumentado 8 pulgadas en el último siglo.



Figura 1. Gráfica basada en la comparación de muestras atmosféricas de núcleos de hielo y mediciones directas más recientes, proporciona evidencia de que el CO₂ atmosférico ha aumentado desde la Revolución Industrial. (Crédito: Luthi, D., y colaboradores, 2008; Etheridge, D.M., y colaboradores, 2010; datos sobre el núcleo de hielo de Vostok /J.R. Petit y colaboradores; registro de CO₂ - Mauna Loa, NOAA).

Fuente: NASA (2020).

Esto se debe al aumento en la concentración de los gases de efecto invernadero causantes de cambios regionales y globales en la temperatura, precipitación y otras variables climáticas, lo que conlleva a cambios en la humedad del suelo, derretimiento de glaciares, incrementos en el nivel del mar, la ocurrencia frecuente

y severa de eventos extremos como huracanes, frentes fríos, inundaciones y sequías (Santiago, López Carmona y López Mendoza., 2008).

Por ello, en una publicación del IPCC (2013), señala que durante la Convención del Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en su artículo 1, define el cambio climático como “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”.

Por otra parte, la definición del cambio climático según Martínez y Piliopetro (2012), se refiere a una importante variación estadística, durante un largo período en el estado medio del clima, ocasionada ya sea por procesos naturales internos y extremos o bien por cambios antropogénicos persistentes en la atmósfera o en el uso del suelo.

Al respecto del informe dado ante un grupo de 1,300 expertos científicos independientes de todo el mundo, bajo el auspicio de las Naciones Unidas, concluyó que existe una probabilidad mayor que el 95% de las actividades humanas de los últimos 50 años hayan calentado nuestro planeta (NASA, 2020).

En este sentido, es necesario comprender que sucede con el clima y la atmósfera; si el clima se entiende como un resultado de la interacción entre la atmósfera, océanos, las capas de hielo, nieve, continentes y la biodiversidad del planeta (Conde, 2011); entonces la atmósfera puede verse según Pérez (2017) como un escenario donde se desarrolla el balance de radiación, cuyas características químicas generan gases de invernadero que permite el funcionamiento del sistema climático planetario.

Ahora Pérez (2017), define a la atmósfera como capa gaseosa que envuelve al planeta Tierra desde la superficie hasta el espacio exterior dividiéndose en varias capas que van desde la troposfera, estratosfera, mesosfera, ionosfera, exosfera hasta la magnetosfera; de las cuales se componen de gases como el nitrógeno, oxígeno, argón, dióxido de carbono (CO₂), neón, helio, criptón, xenón, vapor de agua (H₂O), metano (CH₄), óxidos de nitrógeno (N₂O) y ozono en la estratosfera (O₃).

Por lo tanto, la interacción entre el sol y la atmósfera según Pérez (2017), consiste en que los rayos solares atraviesa a la capa gaseosa de la atmósfera sin calentarla, permitiendo así llegar la energía solar a la superficie de tierras y mares, las cuales éstos se calientan transmitiendo luego el calor al aire por convección, dicha dinámica se conoce como balance de radiación, el cual debe mantenerse en equilibrio donde la radiación solar que incide en la superficie de la tierra debe ser igual a la suma de la radiación que es reflejada (albedo) y la radiación de onda larga emitida por la tierra al espacio exterior (ver figura 2).

Es decir, que si la tierra recibe una radiación solar media de 342 W/m^2 , el 30% de la radiación solar vuelve ser emitida hacia el espacio producto de la refracción de la superficie de la tierra y nubes denominándose como efecto albedo y el 70% restante es absorbido por la atmósfera y la superficie de la tierra, lo que provoca el aumento de temperatura, el calor generado es disipado como radiación infrarroja (IR) (ver figura 2) en dirección hacia el suelo y la atmósfera, parte de la misma radiación infrarroja es absorbida por gases de efecto invernadero (GEI), dado por este efecto contribuye al aumento de la temperatura terrestre (Instituto de Tecnologías Educativas [ITE], 2012).

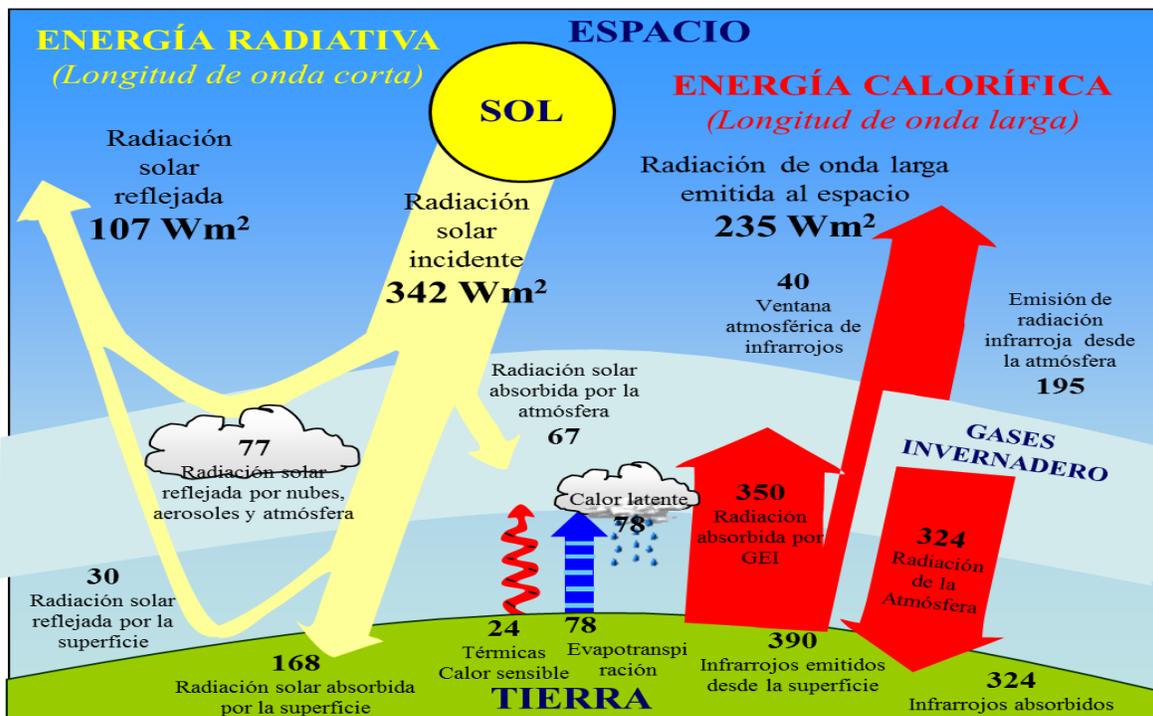


Figura 2. El balance de radiación.

Fuente: ITE (2012).

Por lo cual el balance de radiación se ve afectada cuando la temperatura de equilibrio es mayor en el caso de un exceso de gases de efecto invernadero, lo que causa el calentamiento global, teniendo efectos notorios en fenómenos climatológicos devastadores.

De las cuales se han presentado varias evidencias del cambio climático en todas regiones del mundo como cambios en las precipitaciones, derretimiento de capas de hielo y nieve, el cual está afectando los sistemas hidrológicos y recursos hídricos.

Los impactos de cambio climático que se han tenido de acuerdo al reporte técnico del cuarto informe de evaluación del IPCC (2014), se observan en las siguientes regiones (ver figura 3) como el Ártico, Antártida, América del Norte, Europa y Asia

tienen un mayor efecto climatológico dentro de sus territorios, debido a la actividad económica, industrialización, consumo de energía y el desarrollo urbano de grandes metrópolis.

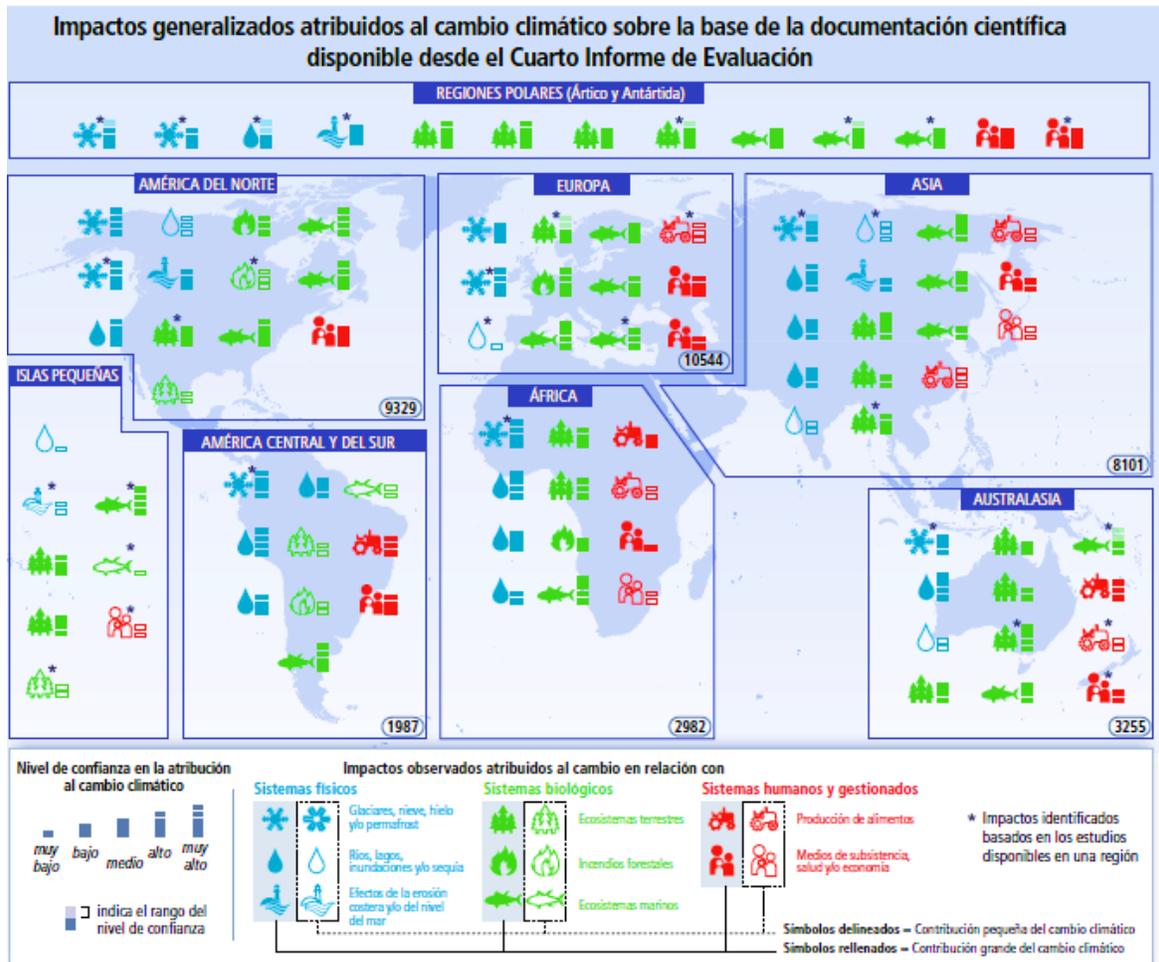


Figura 3. Impactos generalizados atribuidos al cambio climático sobre la base de la documentación científica disponible desde el Cuarto Informe de Evaluación.

Fuente: IPCC (2014).

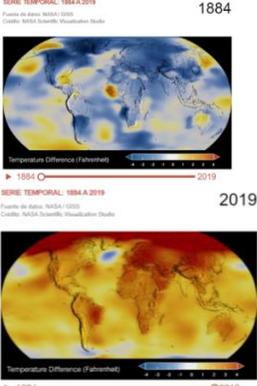
En consecuencia, se hace necesario establecer indicadores que puedan identificar o tener los efectos de un calentamiento global, para ello Farmer y Cook (2012), han propuesto algunos indicadores de las cuales pueden ayudar a entender como se ve reflejado el cambio climático en la Tierra, algunos de estos indicadores son los siguientes:

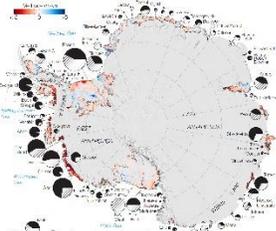
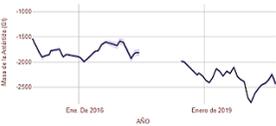
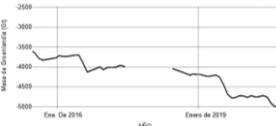
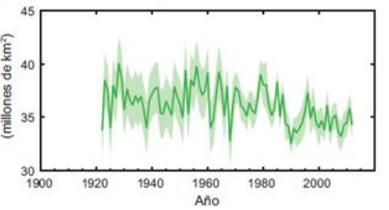
1. Incremento de la humedad en la atmosfera.
2. Incremento de la evaporación de los océanos, aguas dulces y humedad de los suelos.

3. Incremento en la frecuencia e intensidad de las tormentas y patrones de escurrimientos inusuales.
4. Derretimiento de glaciares.
5. Derretimiento de capas y ascenso del metano hacia la atmosfera.
6. Decrecimiento de las capas de nieve en el invierno.
7. Aumento de temperatura sobre la tierra y el mar.
8. Aumento de contenido de calor en los océanos.
9. Aumento de la temperatura del aire en la troposfera.
10. Aumento de temperatura de la corteza superior terrestre.
11. Enfriamiento en la estratosfera.
12. Cambio de plantas y animales en las partes más altas de las latitudes y altitudes.
13. Aumento del nivel del mar.
14. Derretimiento de capas de hielo, glaciares y hielo marino.
15. Comienzos anticipados de estación de la primavera y comienzos tardíos del otoño durante el año.
16. Acidez de los océanos.
17. Noches con más calor que durante el día.
18. Brotes de infestación de plagas cada año.
19. Aumento de extinción de especies de plantas y animales.

Otras evidencias que pueden resaltarse como lo mencionan Bailey et al. (2020), existen efectos importantes en el ambiente donde se ha podido notarse el cambio que se tiene en el lugar que propiamente habite, aunque quizás la observación poco aguda del propio lector no sea suficiente para percatarse de estos cambios, por lo que en la siguiente tabla 2, se muestran algunos efectos del cambio climático.

TABLA 2. FACTORES Y EFECTOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

FACTOR	Efecto	Descripción
TEMPERATURA MEDIA SUPERFICIE	Aumento de 2.05° F (1.14° C), desde 1884. Temperatura de la superficie terrestre y oceánica, muestran una tendencia lineal en un calentamiento 0.85 (0.65 a 1.06°)	

<p>CALENTAMIENTO DEL OCEANO</p>	<p>Aumento de 0.6° F (0.33° C) desde 1969</p>	<p>y otras emisiones antropogénicas¹ Parte del aumento de calor de la superficie es absorbida por el océano a unos 100 metros de profundidad.</p>	
<p>CONTRACCIÓN DE LAS CAPAS DE HIELO</p>	<p>Groenlandia perdió un promedio de 279 mil millones de toneladas de hielo/año y Antártida perdió 148 mil millones de toneladas de hielo/año (1993-2019)</p>	<p>Capas de hielo disminuyen su masa</p>	<p>VARIACIÓN MASIVA DE LA ANTÁRTIDA DESDE 2002 Fuente de datos: medición de la masa de hielo por los satélites GRACE de la NASA. La brecha representa el tiempo entre misiones. Crédito: NASA</p> <p>TASA DE CAMBIO ↓ 149,0 mil millones de toneladas métricas por año</p>  <p>VARIACIÓN MASIVA DE GROENLANDIA DESDE 2002 Fuente de datos: medición de la masa de hielo por los satélites GRACE de la NASA. La brecha representa el tiempo entre misiones. Crédito: NASA</p> <p>TASA DE CAMBIO ↓ 279,0 mil millones de toneladas métricas por año</p> 
<p>AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR</p>	<p>Subió 8 in (20 cm) en el último siglo</p>	<p>La tasa de últimas décadas es casi el doble que la del siglo pasado y se acelera ligeramente cada año.</p>	<p>DATOS DE SATELITE: 1993-PRESENTE Fuente de datos: observaciones satelitales del nivel del mar. Crédito: Centro de vuelo espacial Goddard de la NASA</p> <p>TASA DE CAMBIO ↑ 3,3 milímetros por año</p> 
<p>ACIDIFICACIÓN OCEÁNICA</p>	<p>Aumento de 30% de acidez de las aguas superficiales del océano. Océano ha absorbido 20%-30% de las emisiones antropogénicas de dióxido de carbono</p>	<p>Resultado de que los seres humanos emiten más dióxido de carbono a la atmósfera.</p>	
<p>CRIOSFERA</p>	<p>Es muy probable que el ritmo de la pérdida de hielo de los glaciares en todo el mundo, haya sido en promedio de 226 [91 a 361] Gt año⁻¹ durante el período 1971-2009, y</p>	<p>(100 Gt año⁻¹ de pérdida de hielo equivale a aproximadamente 0,28 mm año⁻¹ de la elevación media mundial del nivel del mar.)</p>	<p>Manto de nieve en primavera en el hemisferio norte</p> 

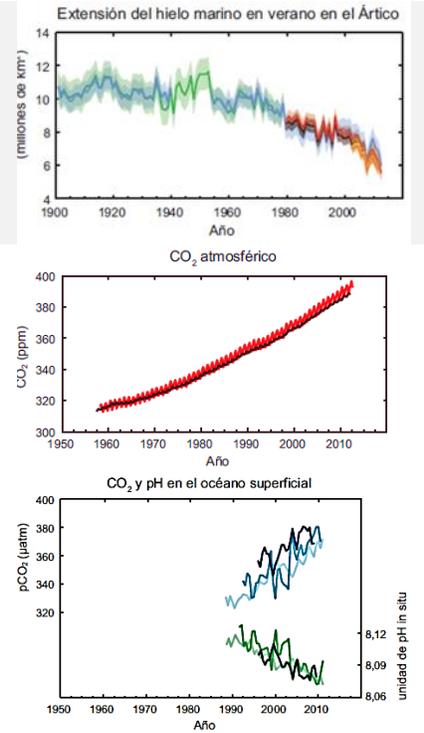
¹ Antropogénica: Pertenciente o relativo a lo que procede a los seres humanos, en particular, tiene efectos sobre la naturaleza

CO₂

de 275 [140 a 410] Gt ano⁻¹ durante el período 1993-2009.

Las concentraciones de dióxido de carbono han aumentado en un 40% desde la era preindustrial debido a las emisiones derivadas de los combustibles fósiles y, a las emisiones netas derivadas del cambio de uso del suelo. Los océanos han absorbido alrededor del 30% del dióxido de carbono antropógeno emitido, provocando su acidificación.

Las unidades de medida “ppm” (partes por millón) o “ppm” (partes por mil millones) representan la relación que existe entre el número de moléculas de gas y el número total de moléculas de aire seco.

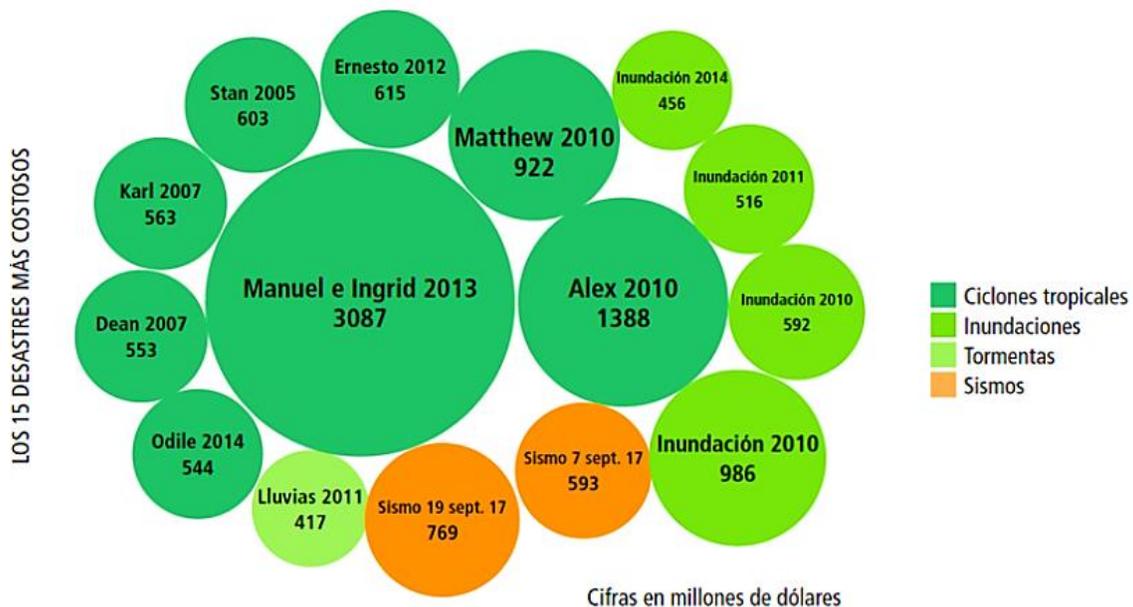


1.4.1.1 Cambio climático en México y Chiapas

Los efectos de cambio climático ya se han hecho notar, pues se tiene que en los último 50 años, las temperaturas promedio en el país han aumentado 0.85°C por arriba de lo normal, por lo que temperaturas mínimas y máximas presentan una tendencia hacia un incremento de noches cálidas y una disminución de noches frías en todo el país, por lo tanto se espera que entre 2015 y 2039 el promedio de la temperatura anual en el país haya aumentado 1.5 °C y 2°C en el norte del territorio (México ante el cambio climático [MCC], 2021).

Puesto que Magaña (2008), menciona que se han proyectado un aumento de la temperatura del aire por medio de escenarios regionalizados, predicen que se puede esperar una reducción de entre 6% y 26% en la precipitación, aunando a un incremento en la temperatura media anual de entre 0.5 y 3.2°C para el año 2100.

Mientras que MCC (2021), menciona que si se da un aumento en la temperatura con promedio de 1°C podría reducir el crecimiento del PIB per cápita nacional entre 0.77% y 1.76%, además de que entre el 2015 y 2039 podría disminuir la precipitación entre un 10% y 20%, aumentando las sequías intensas y prolongadas principalmente en el norte del país, asimismo se ha observado un aumento en la intensidad de ciclones tropicales que afectan al 60% del territorio nacional, provocando lluvias torrenciales, inundaciones y deslaves; causando daños en infraestructura pública, vivienda, pérdidas humanas y el costo de la misma (ver figura 5).



Todos los costos se corrigieron a 2017 con la tasa promedio del dólar

Figura 4. Los 15 desastres naturales más costosos de 1999 a 2017 en México.

Fuente: MCC (2021).

Por ello, al hablar sobre cambio climático, es importante mencionar la adaptación en el sector hídrico tales como la gestión del agua en la agricultura, transformación de alimentos, servicios de agua potable tanto para las ciudades y las comunidades.

De acuerdo a varios estudios llevados a cabo para la regionalización de precipitaciones y temperaturas, donde han afectado significativamente la dinámica de las funciones de las cuencas hidrográficas como las funciones hidrológico, ecológico, ambiental, socioeconómicos; por lo cual conlleva también riesgos y vulnerabilidad en la población como por ejemplo las inundaciones que se tiene en ciudades y en comunidades las cuales se han presentado graves daños en infraestructuras y pérdidas humanas (ver figura 5).

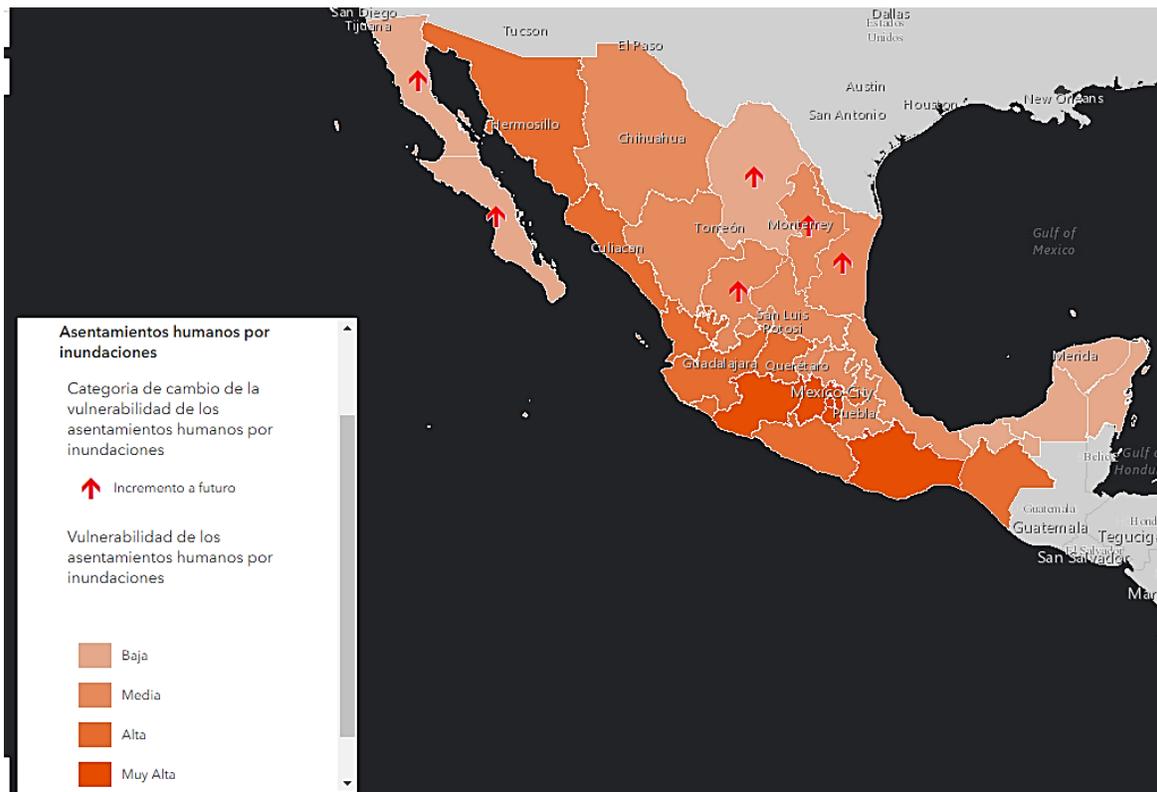


Figura 5. Mapa de vulnerabilidad a Inundaciones.

Fuente: MMC (2021).

Con la expansión de ciudades, debido a la actividad económica, al crecimiento de la población, la urbanización y construcción de viviendas, servicios comerciales y gubernamentales, han expuesto problemas crecientes sobre la calidad y suministro de agua potable, la funcionalidad y eficiencia de la red de drenaje y alcantarillado en la mitigación de encharcamientos en las calles e inundaciones los cuales son más frecuentes en la actualidad.

Según Moura, Pelligrino y Martins (2015), mencionan que la población crecerá del 75% al 83% en los países desarrollados, para los países en desarrollo crecerá 40%

al 56% para el 2030, por lo cual esto conllevaría que las superficies de las cuencas serán más impermeables, también habrá efectos ambientales como el aumento de temperatura y precipitaciones.

A este crecimiento poblacional se le puede agregar al efecto de la emigración hacia otros países, el cual quizás en nuestro días no se deba por efectos medioambientales, si no por cuestiones económicas y políticas; pero por cuanto sea mayor el efecto del cambio climático por tanto aumentará este fenómeno, debido a que el efecto que puede tenerse en varios países puede ser la de extremas sequías e infertilidad en los suelos, además de los desastres naturales que puedan causar el traslado de personas a otros lugares.

Para Albo y Ordaz (2011), menciona para el caso de fenómeno de migración, se estiman que entre 25 millones y 1000 millones de personas podrían desplazarse a consecuencia del cambio climático durante los siguientes 40 años.

Albo y Ordaz (2011), señala que la mayoría de las personas buscarán refugio en sus propios países, pero algunos cruzarán las fronteras en busca de mejores oportunidades; es decir, el cambio climático tendría mayores efectos en la migración interna (ver figura 6), por lo cual será necesario contar con medidas generales de adaptación y un manejo integrado del agua.

Canal a través del cual el Cambio Climático puede favorecer la Migración



Fuente: Servicio de Estudios Económicos, México de BBVA.

Figura 6. Migración por el cambio Climático.

Fuente: Albo y Ordaz (2011).

Un análisis de cambio climático regional para Centroamérica en la que Cifuentes Jara (2010), presenta escenarios en el cual indican un fortalecimiento en el ciclo hidrológico en toda la región durante los últimos 40 años, con más cantidad de lluvia procedente de eventos extremos y mayor precipitación promedio, en consecuencia, se da una mayor frecuencia o intensidad de eventos climáticos extremos como inundaciones o sequías.

Para México, según Albo y Ordaz (2011), se han realizado diferentes escenarios climáticos, las cuales en su mayoría proyectan que la temperatura media para finales del presente siglo podría aumentar entre 1° y 4° C siendo el mayor calentamiento en el norte y noroeste de México, en el caso de precipitación se predice que habrá reducciones de entre 6 y 11% en el mismo período.

En el caso de Chiapas, se tiene algunos escenarios de cambios climatológicos publicadas en el portal de geoinformación de la CONABIO (2021), tomando en cuenta precipitaciones, temperaturas máximas y mínimas mensuales comparados en tres períodos (1910 a 1949), (1950 a 1979), (1980 a 2009), de las cuales se presentan en las siguientes figuras 7, 8 y 9.

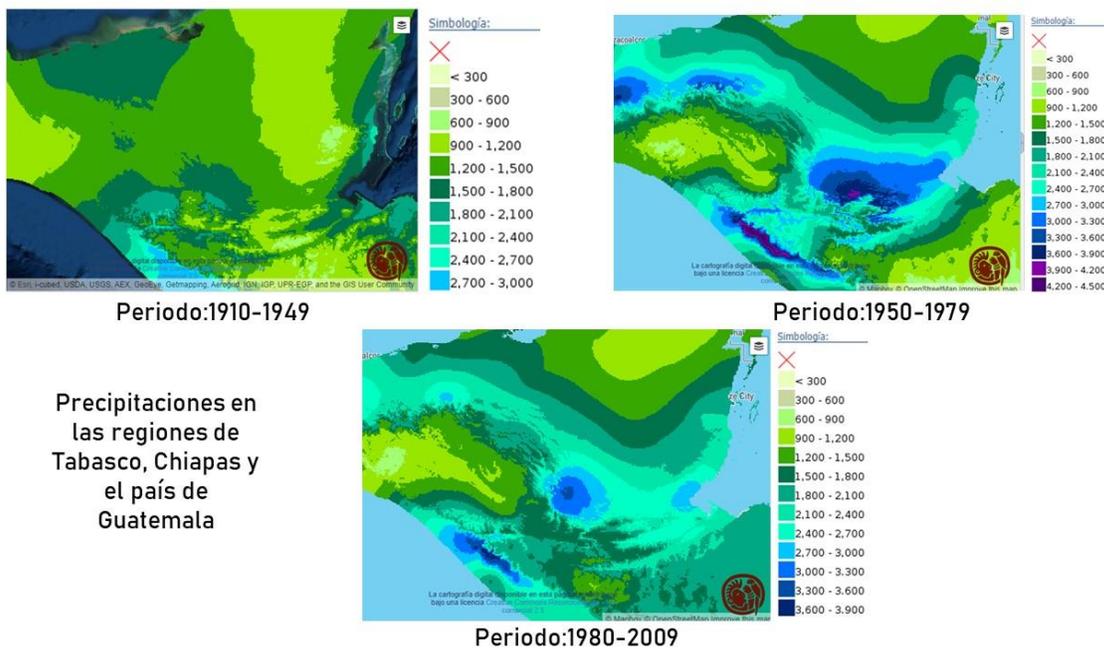


Figura 7. Precipitaciones mensuales por período de 30 años.

Fuente: Cuervo Robayo et al. (2019)

Para el caso de Chiapas, se tienen que al comparar los dos períodos de 1950 a 1979 y de 1980 a 2009, se ha observado que en las regiones de Chiapas, Tabasco y el país de Guatemala se vieron disminuidas las precipitaciones; aunque si se observa para el período 1910 a 1949 se observa que hubo una menor precipitación a consideración del período 1950 a 1979, aunque este período el escenario no es tan consistente, ya que no se contaba con los suficientes instrumentos de medición (ver figura 7).

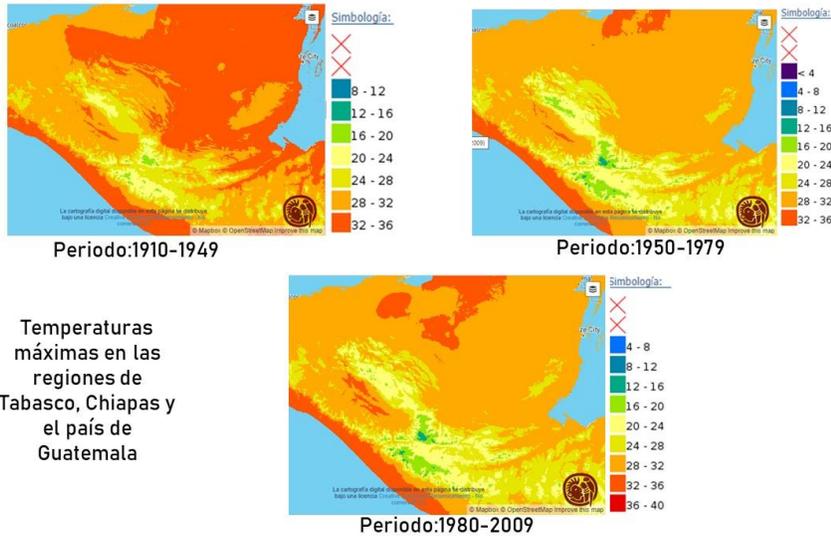


Figura 8. Temperatura máxima mensual por período de 30 años.

Fuente: Cuervo Robayo et al. (2019)

Para temperaturas máximas mensuales (ver figura 8), si se compara con el período 1950 a 1979 y del período 1980 a 2009, se observa que la zona central de Chiapas ha habido cambios en la temperatura máxima mensual, ya que se aprecia el centro del estado de Chiapas para el período de 1950 a 1979 se tenía en promedio entre 16°C y 24° C contrastando con el período 1980 a 2009 ha habido un aumento de la temperatura máxima entre 20 y 28 °C, aunque si comparamos el escenario con el período 1910 a 1949 se observa que fue el período más caluroso.

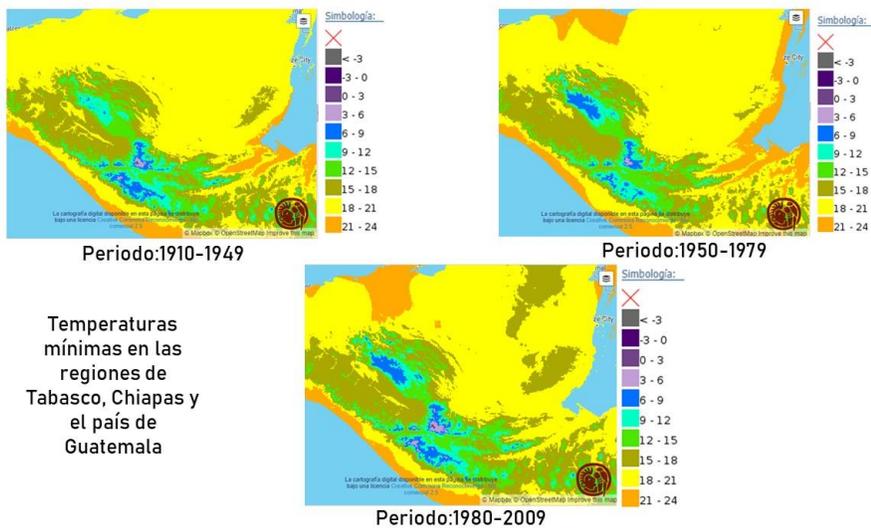


Figura 9. Temperatura mínima mensual por período de 30 años.

Fuente: Cuervo Robayo et al. (2019).

Para temperaturas mínimas mensuales (ver figura 9), comparando con períodos de 1950 a 1979 y 1980 a 2009, no se observan cambios significativos, aunque si se compara con el escenario del período 1910 a 1949, fue el período menos frío registrando temperaturas mínimas en zona altos del estado de Chiapas con un promedio de 9°C a 12 °C, contrastando los dos períodos se tienen una temperatura más fría con un promedio entre 6°C a 9 °C.



Figura 10. Consumo de agua urbano.

Fuente: Pacheco et al. (2008).

De acuerdo el estudio realizado por Pacheco et al. (2008), en el mapa (ver figura 10) sobre cantidad de consumo de agua de uso urbano, se observa una fuerte tendencia en el consumo de agua está orientado en el lado norte, noreste, este y centro de Chiapas, con un promedio de consumo que está entre 202 a 394 litros, lo cual implica una fuerte demanda de consumo de agua en varias ciudades dentro del estado.



Figura 11. Grado de peligro por sequía por cada municipio.

Fuente: CENAPRED (2015).

En el presente mapa (figura 11) de grado de peligro por sequía por cada municipio, se tiene que para el estado de Chiapas se presentan un mayor grado de tendencia de sequía hacia en las direcciones del Norte, Noreste clasificado en medio y alto, por lo cual esto indicaría un problema en el abastecimiento del agua y de gestión hídrica, ya que, si se contrasta con el otro mapa de agua de uso urbano, se tiene que en las mismas direcciones de sequias se tiene una mayor demanda de uso y consumo del agua, esto implicaría que las poblaciones que se concentren en el noreste y centro del estado no serían suficientes para cubrir las necesidades básicas para la población, además de inhibir el desarrollo y expansión de la misma.



Figura 12. Grado de riesgo por inundaciones por municipio.

Fuente: CENAPRED (2015).

De acuerdo con CENAPRED (2015), presenta un mapa de grado de riesgo por inundaciones por municipio (figura 12), en el cual se observa que en la región Norte y Sur de la costa del estado de Chiapas tiene mayor riesgo a sufrir inundaciones, por lo que se verían afectadas varias viviendas familiares, así como servicios.

CAPITULO 2: Los indicadores ETCCDI para el cambio climático

La organización Meteorológica Mundial (OMM) y El Grupo Intergubernamental de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático (ETCCDI), ha propuesto indicadores de los cuales puedan identificarse o medirse el comportamiento del clima, así como las causas que ocurren a lo largo y ancho de distintas regiones en el mundo, ya que se espera que los impactos del cambio climático no serán uniformes en todo el planeta.

Para Pita (2020), señala que se requiere un análisis estadístico de tendencias presentadas en registros históricos de series climáticas, para identificar no solo posibles evidencias de cambio climático, sino para aplicar a modelos climáticos que permitan estudiar posibles impactos en los diferentes sectores productivos de la sociedad.

Por ello el IPCC definió los indicadores mediante los cuales se puede identificar o encontrar las evidencias del cambio del clima, estos indicadores se basan con indicadores relacionados con la temperatura y la precipitación pluvial.

Por ejemplo, en un estudio realizado por DiNezio et al. (2018), usando simulaciones de modelos y dos reconstrucciones multiproxiales de lluvia y temperatura de la superficie del mar, del Último Máximo Glacial (hace 21,000 años), para el diagnóstico de los mecanismos que impulsan los cambios glaciales en el clima, se encontraron resultados que demuestran la importancia de las interacciones aire-mar en el Océano Índico, amplificando los cambios climáticos forzados externamente en gran parte de los trópicos, el cual implica un gradiente de temperatura superficial más fuerte a lo largo del Océano Índico ecuatorial.

Mientras que el estudio realizado por Rojas et al. (2010), para cuantificar las tendencias de temperatura máxima, mínima y precipitación media, se realizó un análisis no-paramétrico de las series de tiempo de 31 estaciones meteorológicas ubicadas en zonas alto andinas de Cundinamarca y Boyacá de Colombia, con registros de 1985 a 2008 calculadas mediante el método de estimación de pendiente de Sen; revelando que la temperatura máxima mostró tendencias positivas con niveles de confianza significativa (>90%) en la mayoría de estaciones climáticas, concluyendo que el cambio climático tiene manifestaciones muy locales en términos del comportamiento de las temperaturas y la precipitación para la zona de estudio, lo que podría generar impactos específicos sobre los sistemas productivos de la región.

Por otra parte Sarricolea, Meseguer y Romero (2017), han analizado tendencias de precipitación en el Norte Grande de Chile mediante el test no paramétrico de Mann-Kendall y el test de Sen, lo que permite detectar, para las sesenta estaciones meteorológicas disponibles, la posibilidad de cambios en la precipitación con significancia estadística ($p < 0,1$); encontrando resultados que muestran que la región

del Altiplano se aprecia una reducción significativa de la precipitación anual entre 1972 y 2013. La zona de precordillera posee tendencias de incremento para Poroma y San Pedro de Atacama. Estos resultados son comparables con las proyecciones de cambio climático a fines del siglo XXI.

Por ello la importancia de la actualización de los escenarios de cambios climáticos para estudios de impactos y adaptación juega un papel muy importante para la realización de nuevos estudios climáticos ya que se basa en la generación o actualización de los escenarios de cambio climático individuales, con la finalidad de establecer los objetivos, estrategias y prioridades para el fortalecimiento de política gubernamental en el cual transite la economía, la sustentabilidad y sostenibilidad ante el reto del cambio climático (Fernández et al., 2015).

Siendo de gran interés actualizar y proyectar escenarios para estudio de impacto, vulnerabilidad para ello la Organización Meteorológica Mundial y el Grupo de Expertos en Detección de Cambio Climático e índices han propuesto 27 indicadores para la detección y el monitoreo de cambios en los extremos del clima (Figuroa Gallegos, 2017).

Estos indicadores de cambio climático tienen el objetivo de ser elementos matemáticos (índices) que se utilizan para identificar, registrar, conocer y hacer evidente el cambio climático para posteriormente relacionar dichos cambios con las respuestas de los organismos, con la producción agrícola, ganadera y forestal, con aspectos de salud y con los riesgos ambientales (Bautista, Pacheco y Ayala, 2006).

Estos indicadores son relacionados en dos características principales del clima que son las temperaturas y la precipitación, de las cuales se señalan las siguientes propuestos por la IPCC (ver tabla 3).

TABLA 3. ÍNDICES CLIMÁTICOS ETCCDI

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 TX<0°C
GSL	Duración de la estación de crecimiento	Número de días en un año entre la primera racha de, como mínimo, seis días TG>5°C y la primera racha después del 1° de julio con, como mínimo, seis 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 90
TN90P	Frecuencia de noches cálidas	Porcentaje de días en que TN>percentil 90
WSDI	Duración de los períodos cálidos	Número de días en un año que, como mínimo, hay seis días consecutivos con TN> percentil 90
CSDI	Duración de los períodos fríos	Número de días en un año que, como mínimo, hay seis 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 cinco 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≥ 25mm
CDD	Días secos consecutivos	Máximo número en un año de días consecutivos con PPT<1mm
CWD	Días húmedos consecutivos	Máximo número en un año de días consecutivos con PPT≥ 1mm
R95P	Días muy húmedos	PPT total anual (en días en que PPT≥ 1mm) cuando la PPT diaria acumulada es superior al percentil 95
R99P	Días extremadamente húmedos	PPT total anual (en días en que PPT≥ 1mm) cuando la PPT diaria acumulada es superior al percentil 99
PRCPTOT	Precipitación total	PPT total anual en días en que PPT≥ 1mm

Estos índices se han utilizado en varias investigaciones como por ejemplo la realizada por Panda et al. (2016), para la identificación de tendencias de modificaciones de la lluvia monzónica de la India para facilitar una comparación global, sus estudios son analizados mediante quince índices durante dos períodos de estudio (es decir 1901-1940 y 1961-2004), teniendo frecuencias de la humedad baja moderadamente y los días de lluvia consecutivos (CWD) exhiben una transición prominente de una humectación anterior en 1940 a una tendencia de secado posterior a 1960 en gran parte del centro-norte de la India tanto en los extremos húmedos como secos han ocurrido de una manera espacialmente menos consistente durante las últimas décadas, éstos resultados tienen implicaciones importantes para la formulación de la gestión de los recursos hídricos

Mientras que otras mediciones que se han realizado por Dietzsch et al. (2017), para el cambio climático basados en los índices propuestos por la ETCCDI a través de mediciones satelitales y pluviómetros tomando como referencia la precipitación los datos de precipitación global diaria, donde son analizados para la predicción del clima combinado con la información observados en in situ y datos de teledetección basados en satélites sobre el océano en resolución temporal diaria, se examinaron 9 índices diferentes para una climatología de 21 años, en la cual se encontraron resultados cambios significativos en el clima entre los años 1988 a 2008, donde las mayores cantidades de precipitación se encuentran en el Océano Pacífico Occidental, Océano Índico con precipitaciones con más de 60 mm por día.

De igual forma estudios como la de Donat et al. (2013), presentan la recopilación y el análisis del conjunto de datos en cuadrícula terrestre de los índices de temperaturas y precipitaciones extremas, los índices se calcularon en función de los datos de la estación utilizando un enfoque coherente recomendado por el Equipo de expertos de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), en la cual resultó en la producción de 17 índices de temperatura y 12 índices de precipitación derivados de observaciones diarias de temperatura y precipitación máximas y mínimas. Se obtuvieron observaciones in situ de alta calidad de más de 7000 estaciones meteorológicas de temperatura y 11,000 estaciones de precipitación en todo el mundo para calcular los índices durante el período de registro disponible para cada estación, teniendo como resultados estacionales un calentamiento significativo en todas las estaciones, pero más en los meses más fríos. Los índices de precipitación también mostraron tendencias generalizadas y significativas, pero los cambios fueron mucho más heterogéneos espacialmente en comparación con los cambios de temperatura.

Mucho se ha desarrollado modelos climáticos regionales aplicado ampliamente en las últimas décadas para reducir dinámicamente la escala información de resolución aproximada de diferentes fuentes; como por ejemplo el modelo ALDINclimate el cual puede construirse escenarios futuros cercanos, en donde Chervenkov y Spiridonov (2020), estudiaron la península de los Balcanes al sur de Europa con escenarios

proyectados entre los años de 2021 a 2150; donde obtuvieron resultado sobre el interior de la península de los Balcanes, que demuestran las posibilidades de cambios climáticos de forma abrupta.

En otro estudio de Hong y Ying (2019), en base en los datos diarios homogeneizados de 2419 estaciones en China a partir de al año 1961 hasta 2017, se calcularon 26 índices de temperaturas extremas y precipitaciones, encontrándose que los índices de alta temperatura estuvieron por encima del promedio de 30 años de 1961 a 1990 y los índices de baja temperatura extrema son más bajos que su promedio correspondiente de 1961 a 1990, mientras que las precipitaciones más extremas en 2017 estuvo dentro del rango de una desviación estándar del cambio de precipitación durante 1961 a 2017, con el cual ayuda a caracterizar regiones de distribución de temperatura en el país, demostrando que el aumento de temperatura se da mayor parte hacia el norte de China que hacia el sur de la misma, presentando eventos cálidos en la meseta tibetana (ver figura 13).

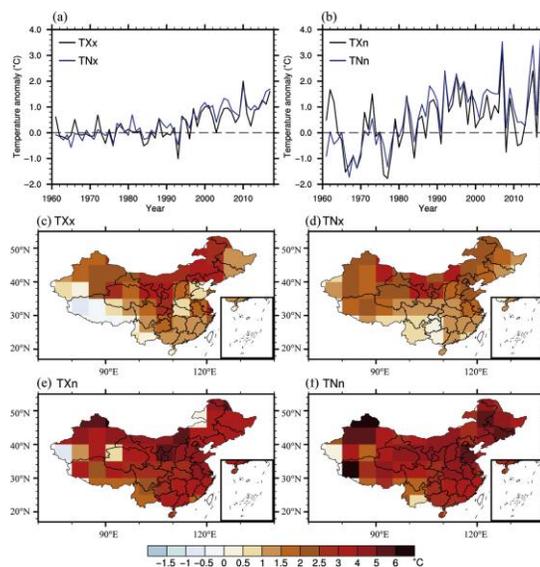


Figura 13. Cambio en la serie de anomalías (a, b) de los índices de intensidad de temperatura extrema.

Fuente: Hong y Ying (2019).

Algunos estudios regionales basados en los indicadores ETCCDI como el realizado por López Díaz (2012), el cual el objetivo de la investigación fue analizar eventos climáticos extremos de temperatura utilizando para ello índices extremos de clima, efectuando el estudio de caso para el municipio de Apizaco, Tlaxcala, México; con series de datos de temperatura máxima y mínima para el período de 1952-2003, calculándose seis índices relacionados como días de heladas, días de verano, días cálidos, días fríos, noches cálidas y noches frías, teniendo resultados con los eventos relacionados con temperatura máxima presentando que los días de verano se incrementaron y los días fríos disminuyeron, además de un incremento los días

helados, en general, los resultados indicaron que se están presentando temperaturas más extremas, más cálidas pero también más frías.

Un análisis regional llevado a cabo por Mendoza y Vázquez (2017), basado en los índices ETCCDI en la detección de presencia de extremos climáticos, asociados a las variables de precipitación y temperatura, en el Estado de Guerrero; donde se presentó tendencias de 27 índices de extremos climáticos de precipitación y temperatura analizados con 47 estaciones climatológicas tradicionales que cumplieron con al menos 85% de datos en el período de estudio, arrojando resultados de una tendencia alta al cambio climático sobre las zonas noroeste, oeste, sur y suroeste del estado de Guerrero, teniendo así una señal del incremento en los extremos climáticos.

Es importante mencionar que el análisis que desea basarse en este presente tema de investigación propuesto, se encuentra como antecedente el estudio realizado por Mora et al. (2016), en el cual se determinó la tendencia de los índices climáticos basados en las temperaturas máximas mínimas y precipitación registradas en las estaciones meteorológicas en el estado de Chiapas, México; utilizando datos de 16 estaciones climatológicas distribuidas en el estado de Chiapas con un módulo RclimDex, mostrando resultados para aquellas estaciones con tendencia positiva significativa es mayor al número de estaciones con tendencia negativa significativa, de las 16 estaciones climáticas analizadas y 8 índices, 42 combinaciones presentaron tendencia positiva significativa, mientras que sólo 18 presentaron tendencia negativa significativa, las cuales son consistentes con estudios previos de la región y en otras partes del mundo.

Mientras que se pueden hacer mención de otros estudios realizados por Figueroa Gallegos (2016), el cual lo realizó en la cuenca del Río Sabinal, Chiapas, México, basados en los 27 índices propuestos por ETCCDI, éstos índices fueron calculados a partir de las series de datos observados de temperaturas máximas y mínimas y precipitación de un período de más de 50 años, en dos estaciones climatológicas ubicadas en la cuenca, en sus evidencias demuestra que de los 27 índices climáticos constata una tendencia estadísticamente significativa en cinco índices relacionados con la temperatura del aire, presentando tendencia al aumento de las noches tropicales, la temperatura mínima extrema y la frecuencia de noches cálidas, mientras que presentan una tendencia negativa (disminución) de la frecuencia de noches frías y el indicador de duración de los períodos fríos, concluyendo que la temperatura mínima y máxima presentan una tendencia ascendente significativa.

Otros de los estudios realizados nuevamente por Figueroa Gallegos (2017), en la cuenca del Río Grande, Chiapas, México; el cual analizó dos estaciones dentro de la cuenca con períodos más de 50 años, teniendo como resultados tendencias estadísticamente significativas en seis índices relacionados con la temperatura del aire, las cuales son días de verano, temperatura máxima extrema, frecuencia de

días frescos y frecuencia de noches frías, en el que concluye que la temperatura mínima y máxima presenta una tendencia ascendente significativa.

Por ello la importancia de medir y evaluar datos cuantitativos sobre las tendencias que se tiene en cuestión de los cambios climáticos, con el fin de tener evidencias medibles en la zona particular en el estado de Chiapas, México, por el cual parte del interés de generar y proporcionar información acerca de cómo estos factores climáticos se comportarán a lo largo de los años.

Ya que el estado de Chiapas puede presumir ser uno de los estados que cuenta con uno de los mayores recursos y reservas naturales en toda la república mexicana, aunque esto podría cambiar en los próximos años, dada por el desarrollo y actividad humana del propio estado.

Con la medición y el análisis de los datos climatológicos sobre el comportamiento del clima del estado de Chiapas a través de dos componentes físicos medibles como lo son la precipitación y la temperatura, podrían arrojar información valiosa sobre el ritmo de cambio climático para el estado y las posibles consecuencias de desastres que han ocurrirán dentro de los distintos municipios, ya que muchos de los municipios con varias características fisiográficas, ambientales y climáticas; por lo que con los indicadores ETCCDI podrían ayudar a planificar de mejor forma la gestión de riesgos por región, además de desarrollar planes de adaptabilidad para el desarrollo económico del estado, teniendo así un crecimiento sustentable y sostenible para la misma.

Sin contar que con estos indicadores puede ser aplicado por los desarrolladores de infraestructura e industrias en la cual les permita generar y desarrollar innovaciones en técnicas o métodos para sus pertinentes actividades que desarrollen, en la cual no impactante de manera considerable al ambiente.

CAPITULO 3: Metodología

El presente trabajo de investigación se enfoca en analizar tendencias climáticas extremas cambiantes a partir de series de datos climatológicos basado en el cálculo de indicadores climáticos propuestos por ETCCDI, considerando dos aspectos de variables físicas como la temperatura y la precipitación.

De acuerdo a las recomendaciones señaladas por el Panel de Expertos en Detección del Cambio Climático e índices (ETCCDI), consiste principalmente en llevar a cabo un análisis de calidad de datos en las estaciones climáticas que se encuentran en las inmediaciones de la región de estudio, además de homogenizar las bases de datos climáticos en el período de estudio de interés.

3.1 Zona de estudio

Se eligió como zona de estudio el estado de Chiapas que se localiza al sur de la república mexicana con coordenadas 16°24'36" latitud Norte y 92° 24' 31" longitud Oeste del meridiano de Greenwich, colinda con los estados de Tabasco, Veracruz y Oaxaca ubicados al norte, al sur con el Océano Pacífico y al este con la República de Guatemala; cuenta con una superficie territorial 74,415 km², el cual representa 3.8% de la superficie del país, dentro del estado alberga 123 municipios, la entidad presenta clima cálido húmedo y subhúmedo como climas dominantes, además de contar con 7 cuencas regionales hidrológicas (ver figura 14).

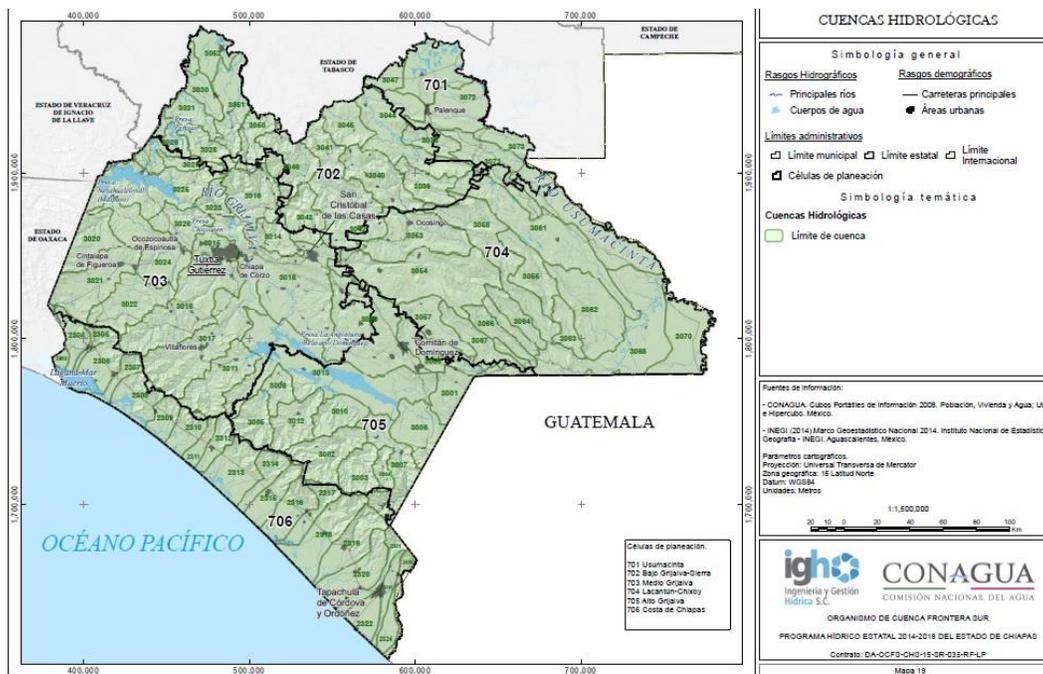


Figura 14. Cuencas hidrológicas de Chiapas.

Fuente: CONAGUA (2015).

3.2 Selección y recopilación de datos

La recopilación de datos climatológicos puede obtenerse a través de portales web o servicios oficiales como el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), *CLimate COMputing*, mejor conocido como (*Clicom*) (Montero y Pita, 2018), ya que cuenta con la información con la mayor parte de sus estaciones climatológicas y aunque últimamente el número de estaciones activas a nivel nacional han ido disminuyendo.

Por lo cual se optó hacer uso del Servicio Meteorológico Nacional como base de datos para la obtención de información de estaciones climatológicas para el estado de Chiapas, en las cuales se seleccionaron datos de temperatura diaria extrema, temperatura diaria mínima y precipitación diaria.

Por lo que López Pérez (2011), recomienda que las estaciones seleccionadas a analizar cumplan con los siguientes requisitos:

- a) Las estaciones seleccionadas deben cubrir mayor parte de la región de interés.
- b) La distribución geográfica de las estaciones debe estar parcialmente equilibrada (evitar tener muchas estaciones en una parte de la región y muy pocas en otras).
- c) Las estaciones seleccionadas deben tener el mayor número posible de años con datos completos (observados únicamente, sin estimaciones ni interpolaciones).
- d) Las estaciones deben seleccionarse para un período de tiempo común, en el que el porcentaje de datos existentes sea lo más grande posible

Además de la recomendación de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), el cual indica seleccionar aquella estación climatológica que cuente al menos el 80% de datos (Pita y Ortega, 2020) y que no falten valores más de 3 años consecutivos (OMM, 2018); además de considerar un período de referencia al menos 30 años de datos (López Díaz, 2012).

Si bien Chiapas cuenta con 299 estaciones climatológicas, 155 se encuentran activas, 144 se encuentran suspendidas; para este caso se realiza la selección de estaciones climatológicas optando por un período de 50 años, es decir, de 1966-2015, por lo que finalmente resultaron 29 estaciones climatológicas seleccionadas (ver tabla 4).

Tabla 4. Estaciones climatológicas seleccionadas.

N.P.	Estación	Nombre	Longitud	Latitud	Altitud
1	7002	ABELARDO L. RODRIGUEZ	-92.2375	16.3792	1920
2	7006	ALTAMIRANO (SMN)	-92.0378	16.7392	1240
3	7012	FINCA ARGOVIA	-92.2992	15.1267	620
4	7015	BOCHIL	-92.8914	16.9864	1200
5	7034	VILLA DE CHIAPILLA	-92.7153	16.5775	550
6	7035	CHICOASEN (CFE)	-93.0986	16.9417	1240
7	7039	EL BOQUERON	-93.1572	16.6442	500
8	7040	EL BURRERO	-92.8283	16.7892	1544
9	7055	FINCA CHAYABE	-91.7106	16.3814	1596
10	7077	HUIXTLA	-92.4864	15.1414	40
11	7078	IGNACIO LOPEZ RAYON	-92.1847	14.6178	7
12	7086	LA ANGOSTURA (CFE)	-92.7678	16.4197	500
13	7102	LAS FLORES	-93.5631	16.6919	480
14	7104	LAS MARGARITAS	-91.9747	16.3106	1512
15	7116	MEDIO MONTE	-92.1906	14.9153	245
16	7123	OCOZOCOAUTLA	-93.3739	16.7508	838
17	7129	PIJIJAPAN	-93.2114	15.6978	57
18	7134	PUENTE COLGANTE	-93.0311	16.7406	418
19	7135	PUENTE CONCORDIA (CFE)	-91.9681	15.8486	582
20	7141	SALTO DE AGUA (DGE)	-92.3333	17.5583	10
21	7146	SAN JERONIMO	-92.1364	15.0397	750
22	7156	SANTA MARIA	-93.8208	16.9389	345
23	7157	SANTO DOMINGO	-92.1042	15.0275	859
24	7172	UNION JUAREZ	-92.0806	15.0625	1300
25	7175	VILLAFLORES (SMN)	-93.2625	16.2289	554
26	7191	MALPASO	-92.2569	14.9197	200
27	7200	TAPACHULA (DGE)	-92.2606	14.9081	170
28	7202	TUXTLA GUTIERREZ (DGE)	-93.1167	16.7528	543
29	7205	COMITAN (DGE)	-92.1342	16.2511	1630

3.3 Control de calidad de datos

Una vez que se hayan seleccionados las series de estaciones climatológicas (López Díaz, 2012) menciona que es necesario aplicar herramientas de estadística descriptiva que incluyen mediciones de la ubicación de dispersión y simetría, además de utilizar métodos gráficos para evaluar visualmente los datos para la detección de observaciones inusuales o valores atípicos (outliers).

Ya que las series de datos pueden estar contaminadas por errores de origen humano, errores durante la digitalización de datos, errores sistemáticos por mala

calibración o reemplazo de los instrumentos de medición y en la ubicación del observatorio o en su entorno (López Pérez, 2011), puesto que Guijarro (2018) señala que éstas alteraciones en las series denominadas inhomogeneidades enmascaran los verdaderos cambios del clima y hacen que el estudio de las series conduzca a conclusiones erróneas.

Para la identificación de estos valores atípicos Figueroa Gallegos (2016), señala utilizar umbrales estadísticos (típicamente +4 desviaciones estándar) y de escrutinio experto con base en conocimientos de la climatología física de cada región.

3.4 Homogeneidad

Después realizar el control de calidad, es necesario homogeneizar la serie de datos a estudiar debido a que para detectar cambios y tendencias es más fiable, ya que OMM (2018), menciona que un conjunto de datos climáticos homogenizados refleja variabilidad y cambios reales del elemento climático.

Por lo tanto, es importante eliminar los factores no climáticos de los datos tanto como sea posible, antes de que los datos climáticos puedan usarse de manera confiable para estudios de cambio climático (Grupo Intergubernamental de Expertos en Detección e índices de Cambio Climático [ETCCDI], s.f.).

Por lo que Montero y Pita (2018), menciona que la homogenización de datos conlleva el detectar “puntos de quiebre” en las series temporales de las variables analizadas. Estas rupturas en los datos suelen deberse a cuestiones como cambios en la localización de la estación o cambios en el ambiente de la propia estación que propicien un microclima, que no necesariamente representaría el clima real de la región de estudio

Existe diferentes tipos de homogenización, por lo que la homogenización relativa es la mejor opción y para llevarla a cabo, puede utilizarse la herramienta de homogenización denominado Climatol (Pita y Ortega, 2020), a través del programa de cómputo estadístico R.

Ya que Pita Díaz (2018), menciona que el paquete R Climatol es una herramienta que garantiza tener una base de datos de calidad; y así poder calcular los índices climáticos con una buena representación, además de que nos brinden resultados confiables para su interpretación, su disponibilidad y accesibilidad de esta librería.

Por lo que Guijarro (2018), expone la metodología utilizada por Climatol, está enfocado en relleno de datos ausentes mediante estimaciones calculadas a partir de las series más próximas. Se adapta el método de Paulhus y Kohler (1952) para rellenar precipitaciones diarias mediante promedios de valores cercanos. Climatol

normaliza los mediante la división por sus valores medios, además de restar las medias o mediante una estandarización completa. Denominado m_x y s_x a la media y desviación típica de una serie X se tienen estas opciones de normalización:

1. Restar la media: $x = X - m_x$
2. Dividir por la media: $x = X / m_x$
3. Estandarizar: $x = (X - m_x) / S_x$

El principal problema de esta metodología es que las medias de las series en el período de estudio no se conocen si las series no están completas; por lo que Climatol calcula primero estos parámetros con datos disponibles en cada serie, rellenando datos ausentes usando las medias y desviaciones típicas provisionales, y vuelve a calcular con las series rellanadas. Después se vuelven a calcular los datos inicialmente ausentes usando los nuevos parámetros, lo que dará lugar a nuevas medias y desviaciones típicas, repitiendo el proceso hasta que ninguna media cambia al redondearla con la precisión inicial de los datos (Guijarro, 2018).

Una vez estabilizadas las medias, normalizan todos los datos y se procede a estimarlos por medio de la expresión:

$$y = \frac{\sum_{j=1}^{j=n} w_j x_j}{\sum_{j=1}^{j=n} w_j} \quad (1)$$

Donde “y” es un dato estimado mediante los correspondientes n datos x_j más próximos disponibles en paso temporal, y w_j es el peso asignado a cada uno de ellos. Estadísticamente, $y_i = x_i$ es un modelo de regresión lineal denominado Eje Mayor Reducido o Regresión Ortogonal, donde la recta se ajusta minimizando las distancias de los puntos mediadas en dirección perpendicular a la misma en lugar de una dirección vertical como generalmente se realiza como se muestra en la figura 15.

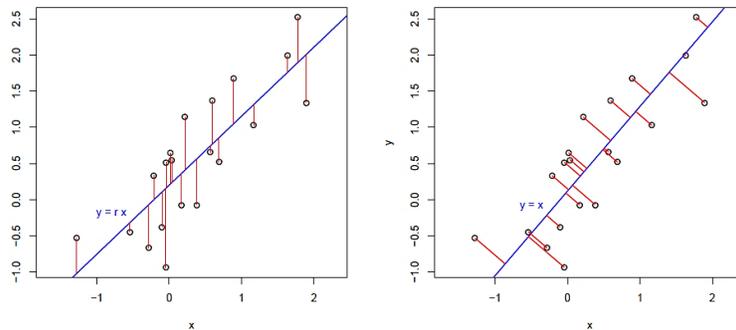


Figura 15. En rojo, desviaciones de la recta de regresión lineal (azul) minimizadas por mínimos cuadrados en los tipos I (izquierda) y II derecha.

Fuente Guijarro (2018).

Las series estimadas a partir de las demás sirven como referencias para sus correspondientes series observadas, por lo que el siguiente paso es obtener series de anomalías restando valores estimados a los observados, estas series permitirán:

*Controlar la calidad de las series y eliminar aquellas anomalías que superen un umbral prefijado.

*Comprobar su homogeneidad mediante la aplicación del Standard Normal Homogeneity Test (SNHT) Alexandersson (1986).

3.5 Preparación de datos de entrada

Para la preparación e ingreso de datos en el programa R con el paquete `Climatol` se necesita dos ficheros de entrada, el primer fichero con lista de coordenadas, códigos y nombres de las estaciones con el siguiente orden: longitud (grados decimales), latitud (grados decimales), elevación (msnm), código asignado a cada estación y nombre de estación. El segundo fichero son datos con orden cronológico desde la primera hasta la última estación (01 de enero de 1966 a 31 de diciembre de 2015) el período de estudio será de 50 años; como los datos se han guardado en formato “xlsx”, es necesario convertirlos en formato “dat” y “est” para que `Climatol` pueda leerlos; por lo que se utiliza la siguiente función en el programa R denominado “daily2climatol”, con el siguiente formato o script:

```
wd <- tempdir() #temporal working directory for the examples wd
<- setwd(wd) data(dailies)
write.table(stations, 'stations.txt', sep=',', row.names=FALSE, col.names=FALSE)
write.table(WY003, 'WY003.txt', sep=',', row.names=FALSE, col.names=FALSE)
write.table(WY018, 'WY018.txt', sep=',', row.names=FALSE, col.names=FALSE)
write.table(WY020, 'WY020.txt', sep=',', row.names=FALSE, col.names=FALSE)
daily2climatol('stations.txt', c(1,3,2,4,0,0), 2:5, 'TestVar', sep=',', na.strings='-99.9')

#Return to user's working directory: setwd(wd) #Input and output files
can be found in directory: print(wd)
```

Con el cual se obtiene los siguientes formatos con los archivos preparados de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima, donde se procede a ingresar los datos a `Climatol` para la homogenización y relleno de datos.

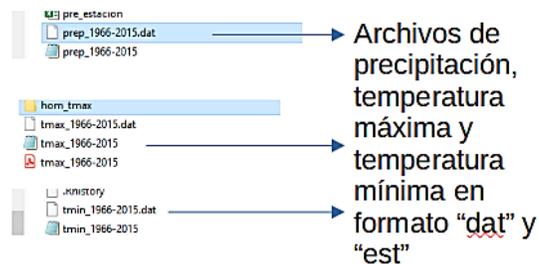
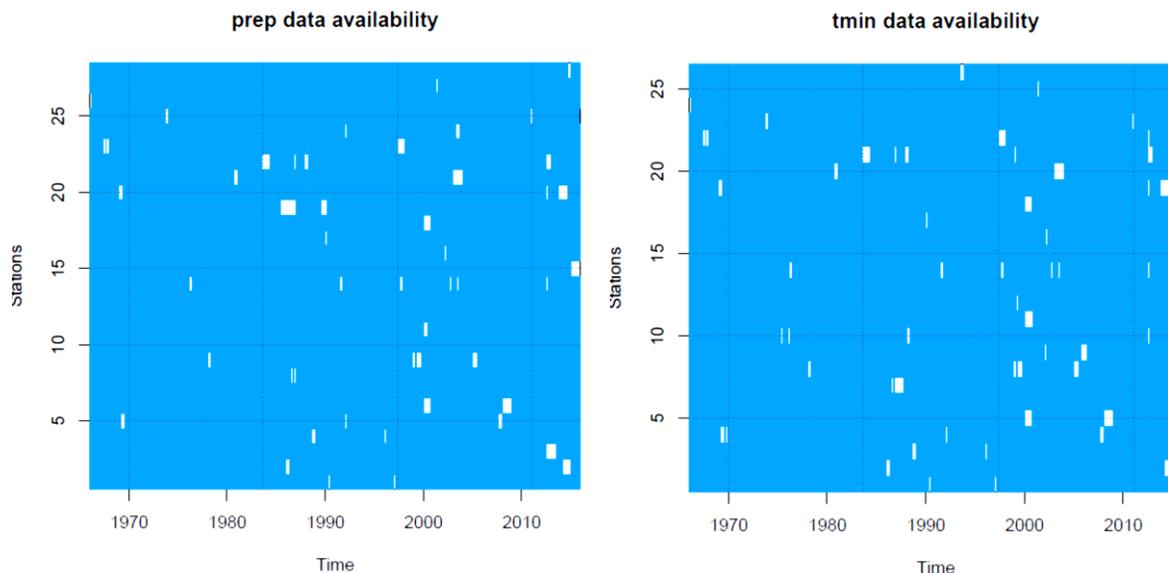


Figura 16. Archivos EST y DAT obtenidos del paquete R Climatol.

Para el análisis exploratorio de los datos de precipitación, temperatura mínima y máxima Guijarro (2018), menciona que a través de la función “homogen” del complemento de R Climatol, donde se estimará la frecuencia a partir de la cantidad de datos presentes; por tanto, está función solo requiere de tres parámetros en su aplicación con el siguiente comando:

```
<homogen ("prec", 1966, 2015, expl=True)
<homogen ("tmax", 1966, 2015, expl=True)
<homogen ("tmin", 1966, 2015, expl=True)
```

Estos comandos son de gran importancia ejecutar estos análisis exploratorios para tener un control de calidad confiable, por lo que la detección de valores atípicos puede enmascarar los errores de observación; al finalizar este proceso se obtiene un archivo “pdf” en el que muestra un resumen detallado, con gráficos que ayudan a describir el comportamiento de la base de datos. En la figura 16 muestran la disponibilidad de datos de precipitaciones, temperaturas máximas y mínimas del período 1966-2015 por estación y global.



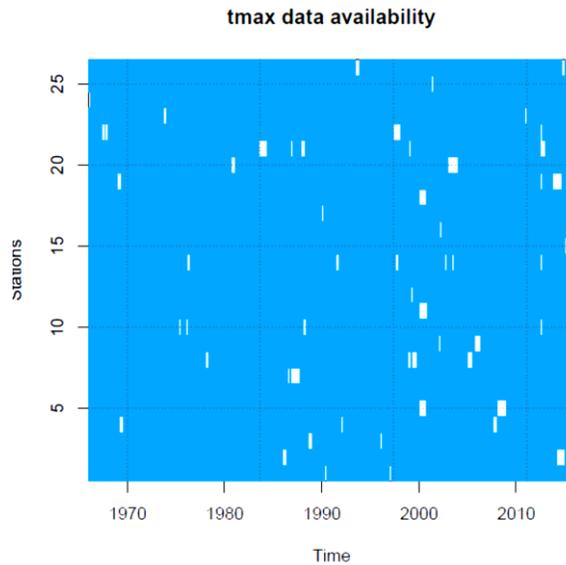


Figura 17. Cantidad de datos disponibles para el análisis de precipitación, temperatura máxima y mínima a partir del período 1966-2015.

Los gráficos expuestos presentan los datos disponibles de 29 estaciones climatológicas, los cuadros de color blanco hacen referencia a los datos faltantes, mientras que el relleno de color azul hace referencia de la disponibilidad de datos, la cual representan un 95% de total de datos que se tienen al alcance.

Con el archivo “pdf” generado por el programa, se procede a realizar otros siguientes procesos (ver figura 18) como la conversión de datos diarios a mensuales, para la realización del ajuste diario que posteriormente se homogenizan los datos mensuales a diarios con el que servirán para calcular los índices de cambio climático.

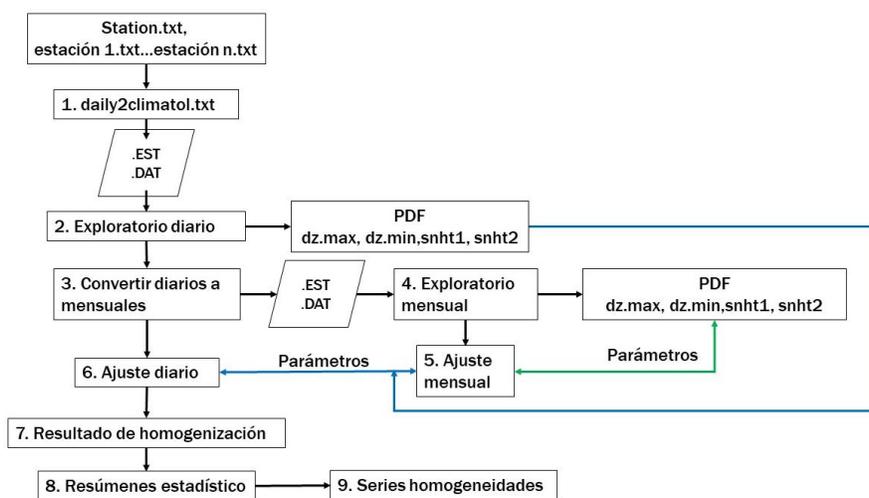


Figura 18. Proceso en el programa Climatol. Fuente: CIIFEN (2021).

Con el resultado de homogenización de datos diarios y relleno de datos, se realiza el análisis de las variaciones de la precipitación y temperatura con el cálculo de índices climáticos del ETCCDI, para el análisis y caracterización del clima, la observación de los patrones climáticos históricos y la observación de los cambios de las series temporales climáticas.

Para el presente cálculo se llevaron a cabo a través de la herramienta Excel y RClindex, el cual se requirieron seleccionar los datos diarios de lluvia, temperatura máxima y temperatura mínima, de manera que sólo las series de observaciones más completas y continuas se seleccionan para el análisis.

3.6 Determinación de índices

De los 27 índices propuestos por la ETCCDI, se seleccionaron 14 índices (7 índices para temperatura y 7 índices para precipitación), por lo que a continuación se describen las fórmulas aplicadas para el cálculo de los índices seleccionados.

SU. Número de días de verano. Recuento anual de días cuando Tx (temperatura máxima) > 25° C.

Sea Tx_{ij} la temperatura máxima diaria en el día i período j. Cuente el número de días cuando:

$$Tx_{ij} > 25^{\circ}C \quad (2)$$

TR. Número de noches tropicales. Conteo anual de días cuando TN (temperatura máxima) > 20° C.

Sea TN la temperatura mínima diaria en el día i del año j. Cuente el número de días en los que:

$$TN_{ij} > 20^{\circ}C \quad (3)$$

TXx. Valor máximo mensual de la temperatura máxima diaria.

Sea TX_x las temperaturas máximas diarias en el mes k, período j. La temperatura máxima diaria cada mes es entonces:

$$TX_{X_{kj}} = \text{máx} (TX_{X_{kj}}) \quad (4)$$

TNx. Valor máximo mensual de la temperatura mínima diaria

Sea TN_x las temperaturas mínimas diarias en el mes k, período j. La temperatura mínima diaria máxima cada mes es entonces:

$$TN_{X_{kj}} = \text{máx} (TN_{X_{kj}}) \quad (5)$$

TX_n. Valor mínimo mensual de la temperatura máxima diaria

Sea TX_n las temperaturas máximas diarias en el mes k, período j. La temperatura máxima diaria mínima cada mes es entonces:

$$TX_{n_{kj}} = \text{mínimo} (TX_{n_{kj}}) \quad (6)$$

TN_n. Valor mínimo mensual de la temperatura mínima diaria

Sea TN_n las temperaturas mínimas diarias en el mes k, período j. La temperatura mínima diaria mínima cada mes es entonces:

$$TN_{n_{kj}} = \text{mínimo} (TN_{n_{kj}}) \quad (7)$$

DTR. Rango de temperatura diaria: diferencia media mensual entre TX y TN

Sean TX_{ij} y TN_{ij} la temperatura máxima y mínima diaria, respectivamente el día i en el período j. Si l representa el número de días en j, entonces:

$$DTR_j = \frac{\sum_{i=1}^j (TX_{ij} - TN_{ij})}{l} \quad (8)$$

Rx1day. Precipitación máxima mensual de 1 día.

Sea RR_{ij} la cantidad de precipitación diaria en el día i en el período j. El valor máximo de 1 día para el período j es:

$$Rx1day_j = \text{máx} (RR_{ij}) \quad (9)$$

SDII. Índice de intensidad de precipitación simple:

Sea RR_w la cantidad de precipitación diaria en días húmedos, w ($RR \geq 1$ mm) en el período j. Si W representa el número de días húmedos en j, entonces:

$$SDII = \frac{\sum_{w=1}^W RR_{wj}}{W} \quad (10)$$

R10mm. Recuento anual de días cuando PRCP ≥ 10 mm.

Sea RR_{ij} la cantidad de precipitación diaria en el día i en el período j . Cuente el número de días en los que:

$$RR_{ij} \geq 10 \text{ mm} \quad (11)$$

R20mm. Recuento anual de días cuando PRCP ≥ 20 mm.

Sea RR_{ij} la cantidad de precipitación diaria en el día i en el período j . Cuente el número de días en los que:

$$RR_{ij} \geq 20 \text{ mm} \quad (12)$$

CDD. Duración máxima de la racha seca, número máximo de días consecutivos RR < 1 mm.

Sea RR_{ij} la cantidad de precipitación diaria en el día i en el período j . Cuente el mayor número de días consecutivos donde:

$$RR_{ij} < 1 \text{ mm} \quad (13)$$

CWD. Duración máxima de la racha húmeda, número máximo de días consecutivos RR ≥ 1 mm.

Sea RR_{ij} la cantidad de precipitación diaria en el día i en el período j . Cuente el mayor número de días consecutivos donde:

$$RR_{ij} \geq 1 \text{ mm} \quad (14)$$

PRCPTOT. Precipitación total anual en días húmedos

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

$$PRCPTOT_j = \sum_{i=1}^I RR_{ij} \quad (15)$$

Para llevar a cabo el cálculo de los datos con las fórmulas presentadas, se usará el paquete RClindex y excel, con el cual se realizará una vez que los datos hayan posado por el control de calidad y homogenización a utilizada a través de la herramienta RClimatol.

CAPITULO 4. Resultados y discusión

De acuerdo con la metodología empleada para el análisis de tendencias de 29 estaciones climatológicas a través de 14 índices climáticos ETCCDI, estudiados a partir del año de 1966 a 2015, es decir en un período de 50 años; en la cual se obtiene las tendencias para cada uno de los índices analizados, por lo que se tienen tres valores: positiva, negativa y nula.

La presencia de una tendencia positiva (+) indicará que hay un incremento para el índice analizado, así mismo para el caso de una tendencia negativa (-), el cual indicará un decremento, en ambos casos extremos, esto indicará que existe un cambio anormal en el clima.

Mientras que una tendencia nula (No), indica que no existe una señal contundente de un cambio climático en el sitio de observación, por lo que a continuación se exponen los resultados en las siguientes tablas.

Índice		¿Tendencia estadísticamente significativa? (Nivel de confianza de 95%)								
Código	Nombre	7002	Tipo de tendencia	Pendiente estimada	7006	Tipo de tendencia	Pendiente estimada	7012	Tipo de tendencia	Pendiente estimada
SU	Número de días de verano	No			Sí	Aumento	1.4526	-----	-----	-----
TXx	Temperatura máxima extrema	Sí	Decremento	-0.0697	No			----	-----	-----
TXn	Temperatura máxima más baja	No			No			-----	-----	-----
TNx	Temperatura mínima más alta	No			Sí	Decremento	-0.0671	-----	-----	-----
TNn	Temperatura mínima más baja	No			Sí	Decremento	-0.0337	-----	-----	-----
DTR	Rango diurno de temperatura	No			Si	Incremento	0.0700	-----	-----	-----
Rx1day	Precipitación máxima en un día	No			Sí	Decremento	-0.5311	No		
TR	Número de noches tropicales	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
SDII	Índice de precipitación simple	No			No			Sí	Incremento	0.0683
CDD	Días secos consecutivos	No			Sí	Decremento	-0.8801	No		
CWD	Días húmedos consecutivos	Sí	Incremento	0.4251	Sí	Incremento	0.6506	No		
R10mm	Días con lluvia mayor a 10mm	Sí	Incremento	0.3418	No			No		
R20mm	Días con lluvia mayor a 20mm	No			No			No		
PRCPTOT	Precipitación total	No			No			Sí	Incremento	15.4337

Tabla 5. Tipo de tendencias de 29 estaciones climatológicas.

Índice		¿Tendencia estadísticamente significativa? (Nivel de confianza de 95%)								
Código	Nombre	7015	Tipo de tendencia	Pendiente estimada	7034	Tipo de tendencia	Pendiente estimada	7035	Tipo de tendencia	Pendiente estimada
SU	Número de días de verano	Sí	Decremento	-0.8067	Sí	Decremento	-0.5796	No		
TXx	Temperatura máxima extrema	No			No			Sí	Decremento	-0.0348
TXn	Temperatura máxima más baja	Sí	Decremento	-0.0459	No			Sí	Incremento	0.0451
TNx	Temperatura mínima más alta	No			Sí	Incremento	0.0877	Sí	Decremento	-0.0465
TNn	Temperatura mínima más baja	No			Sí	Decremento	-0.0419	Sí	Incremento	0.0456
DTR	Rango diurno de temperatura	Sí	Decremento	-0.0405	No			No		
Rx1day	Precipitación máxima en un día	No			No			No		
TR	Número de noches tropicales	No			No			No		
SDII	Índice de precipitación simple	No			Sí	Incremento	0.1199	No		
CDD	Días secos consecutivos	No			No			No		
CWD	Días húmedos consecutivos	No			No			No		
R10mm	Días con lluvia mayor a 10mm	No			No			No		
R20mm	Días con lluvia mayor a 20mm	Sí	Incremento	0.1409	Sí	Incremento	0.1721	No		
PRCPTOT	Precipitación total	No			Sí	Incremento	5.6509	No		

Tabla 5. Tipo de tendencias de 29 estaciones climatológicas.

Índice		¿Tendencia estadísticamente significativa? (Nivel de confianza de 95%)								
Código	Nombre	7039	Tipo de tendencia	Pendiente estimada	7040	Tipo de tendencia	Pendiente estimada	7055	Tipo de tendencia	Pendiente estimada
SU	Número de días de verano	Sí	Incremento	0.5427	Sí	Incremento	3.3587	No		
TXx	Temperatura máxima extrema	Sí	Incremento	0.037	Sí	Incremento	0.1123	No		
TXn	Temperatura máxima más baja	Sí	Incremento	0.0703	No			No		
TNx	Temperatura mínima más alta	No			Si	Decremento	-0.0287	No		
TNn	Temperatura mínima más baja	Sí	Incremento	0.0423	Sí	Decremento	-0.0706	No		
DTR	Rango diurno de temperatura	Sí	Incremento	0.044	Sí	Incremento	0.1027	No		
Rx1day	Precipitación máxima en un día	No			No			No		
TR	Número de noches tropicales	No			----	-----	-----	-----	-----	-----
SDII	Índice de precipitación simple	Sí	Incremento	0.0421	Sí	Incremento	0.0407	No		
CDD	Días secos consecutivos	No			No			No		
CWD	Días húmedos consecutivos	No			No			No		
R10mm	Días con lluvia mayor a 10mm	Sí	Incremento	0.1479	No			No		
R20mm	Días con lluvia mayor a 20mm	No			Sí	Incremento	0.1056	No		
PRCPTOT	Precipitación total	Sí	Incremento	4.43	No					

Tabla 5. Tipo de tendencias de 29 estaciones climatológicas.

Índice		¿Tendencia estadísticamente significativa? (Nivel de confianza de 95%)								
Código	Nombre	7077	Tipo de tendencia	Pendiente estimada	7078	Tipo de tendencia	Pendiente estimada	7086	Tipo de tendencia	Pendiente estimada
SU	Número de días de verano	No			No			Sí	Decremento	-0.1277
TXx	Temperatura máxima extrema	Sí	Decremento	-0.0411	Sí	Decemento	-0.0486	Sí	Decremento	-0.0208
TXn	Temperatura máxima más baja	No			No			Sí	Decremento	-0.0576
TNx	Temperatura mínima más alta	Sí	Decremento	-0.0448	Sí	Decremento	-0.0386	Sí	Decremento	-0.0252
TNn	Temperatura mínima más baja	No			No			Sí	Incremento	0.04598
DTR	Rango diurno de temperatura	Sí	Incremento	0.0307	No			Sí	Decremento	-0.0247
Rx1day	Precipitación máxima en un día	No			----	-----	-----	No		
TR	Número de noches tropicales	Sí	Decremento	-2.5298	Sí	Decremento	-1.8042	No		
SDII	Índice de precipitación simple	Sí	Incremento	0.3561	-----	-----	-----	No		
CDD	Días secos consecutivos	Sí	Incremento	0.6129	-----	-----	-----	Sí	Decremento	-0.2065
CWD	Días húmedos consecutivos	Sí	Decremento	-0.6804	-----	-----	-----	Sí	Incremento	0.2363
R10mm	Días con lluvia mayor a 10mm	No			-----	-----	-----	Sí	Incremento	0.1315
R20mm	Días con lluvia mayor a 20mm	No			-----	-----	-----	No		
PRCPTOT	Precipitación total	Sí	Incremento	21.5154	-----	-----	-----	No		

Tabla 5. Tipo de tendencias de 29 estaciones climatológicas.

Índice		¿Tendencia estadísticamente significativa? (Nivel de confianza de 95%)								
Código	Nombre	7102	Tipo de tendencia	Pendiente estimada	7104	Tipo de tendencia	Pendiente estimada	7116	Tipo de tendencia	Pendiente estimada
SU	Número de días de verano	No			Sí	Incremento	2.0663	No		
TXx	Temperatura máxima extrema	No			Sí	Incremento	0.0644	Sí	Incremento	0.056
TXn	Temperatura máxima más baja	No			No			No		
TNx	Temperatura mínima más alta	No			No			No		
TNn	Temperatura mínima más baja	No			No			No		
DTR	Rango diurno de temperatura	No			No			No		
Rx1day	Precipitación máxima en un día	No			No			Sí	Incremento	1.8627
TR	Número de noches tropicales	No			No			Sí	Incremento	2.9442
SDII	Índice de precipitación simple	No			No			Sí	Incremento	0.3486
CDD	Días secos consecutivos	No			No			Sí	Incremento	0.8556
CWD	Días húmedos consecutivos	No			No			Sí	Decremento	-0.6413
R10mm	Días con lluvia mayor a 10mm	No			No			No		
R20mm	Días con lluvia mayor a 20mm	No			No			Sí	Incremento	0.3274
PRCPTOT	Precipitación total	No			No			Sí	Incremento	25.2297

Tabla 5. Tipo de tendencias de 29 estaciones climatológicas.

Índice		¿Tendencia estadísticamente significativa? (Nivel de confianza de 95%)								
Código	Nombre	7123	Tipo de tendencia	Pendiente estimada	7129	Tipo de tendencia	Pendiente estimada	7134	Tipo de tendencia	Pendiente estimada
SU	Número de días de verano	Sí	Decremento	-1.3394	Sí	Decremento	-0.02516	Sí	Incremento	0.1253
TXx	Temperatura máxima extrema	No			No			Sí	Incremento	0.0383
TXn	Temperatura máxima más baja	No			Sí	Decremento	-0.0449	Sí	Incremento	0.04194
TNx	Temperatura mínima más alta	Sí	Incremento	0.0338	No			No		
TNn	Temperatura mínima más baja	No			Sí	Incremento	0.0585	No		
DTR	Rango diurno de temperatura	Sí	Decremento	-0.0469	Sí	Decremento	-0.017	Sí	Incremento	0.054
Rx1day	Precipitación máxima en un día	No			No			No		
TR	Número de noches tropicales	Sí	Incremento	1.9388	Sí	Incremento	1.1087	No		
SDII	Índice de precipitación simple	No			No			No		
CDD	Días secos consecutivos	No			No			No		
CWD	Días húmedos consecutivos	Sí	Incremento	0.3177	No			No		
R10mm	Días con lluvia mayor a 10mm	Sí	Incremento	0.2014	No			Sí	Incremento	0.1291
R20mm	Días con lluvia mayor a 20mm	No			No			No		
PRCPTOT	Precipitación total	Sí	Incremento	4.91	No			Sí	Incremento	3.8846

Tabla 5. Tipo de tendencias de 29 estaciones climatológicas.

Índice		¿Tendencia estadísticamente significativa? (Nivel de confianza de 95%)								
Código	Nombre	7135	Tipo de tendencia	Pendiente estimada	7141	Tipo de tendencia	Pendiente estimada	7146	Tipo de tendencia	Pendiente estimada
SU	Número de días de verano	No			----	-----	-----	No		
TXx	Temperatura máxima extrema	No			----	-----	-----	Sí	Decremento	-0.0716
TXn	Temperatura máxima más baja	No			----	-----	-----	No		
TNx	Temperatura mínima más alta	Sí	Decremento	-0.0322	----	-----	-----	No		
TNn	Temperatura mínima más baja	Sí	Incremento	0.0772	----	-----	-----	No		
DTR	Rango diurno de temperatura	No			----	-----	-----	No		
Rx1day	Precipitación máxima en un día	Sí	Incremento	0.4938	----	-----	-----	No		
TR	Número de noches tropicales	No			No			No		
SDII	Índice de precipitación simple	No			No			No		
CDD	Días secos consecutivos	No			No			No		
CWD	Días húmedos consecutivos	No			No			No		
R10mm	Días con lluvia mayor a 10mm	No			No			No		
R20mm	Días con lluvia mayor a 20mm	No			No			No		
PRCPTOT	Precipitación total	No			No			No		

Tabla 5. Tipo de tendencias de 29 estaciones climatológicas.

Índice		¿Tendencia estadísticamente significativa? (Nivel de confianza de 95%)								
Código	Nombre	7156	Tipo de tendencia	Pendiente estimada	7157	Tipo de tendencia	Pendiente estimada	7172	Tipo de tendencia	Pendiente estimada
SU	Número de días de verano	No			No			Sí	Incremento	1.3317
TXx	Temperatura máxima extrema	No			No			No		
TXn	Temperatura máxima más baja	Sí	Incremento	0.0346	No			No		
TNx	Temperatura mínima más alta	Sí	Decremento	-0.0652	Sí	Incremento	0.1458	No		
TNn	Temperatura mínima más baja	Sí	Incremento	0.1076	Sí	Decremento	-0.2184	No		
DTR	Rango diurno de temperatura	No			No			No		
Rx1day	Precipitación máxima en un día	No			Sí	Decremento	-1.3892	No		
TR	Número de noches tropicales	No			Sí	Incremento	1.618	-----	-----	-----
SDII	Índice de precipitación simple	No			No			No		
CDD	Días secos consecutivos	No			No			No		
CWD	Días húmedos consecutivos	No			No			No		
R10mm	Días con lluvia mayor a 10mm	No			No			No		
R20mm	Días con lluvia mayor a 20mm	No			Sí	Decremento	-0.4043	No		
PRCPTOT	Precipitación total	No			No			No		

Tabla 5. Tipo de tendencias de 29 estaciones climatológicas.

Índice		¿Tendencia estadísticamente significativa? (Nivel de confianza de 95%)								
Código	Nombre	7175	Tipo de tendencia	Pendiente estimada	7191	Tipo de tendencia	Pendiente estimada	7200	Tipo de tendencia	Pendiente estimada
SU	Número de días de verano	-----	-----	-----	No			No		
TXx	Temperatura máxima extrema	----	-----	-----	Sí	Decremento	-0.02548	Sí	Incremento	0.03
TXn	Temperatura máxima más baja	----	-----	-----	No			No		
TNx	Temperatura mínima más alta	----	-----	-----	Sí	Decremento	-0.03037	No		
TNn	Temperatura mínima más baja	----	-----	-----	No			Sí	Incremento	0.0306
DTR	Rango diurno de temperatura	----	-----	-----	Sí	Incremento	0.02239	No	Incremento	0.0474
Rx1day	Precipitación máxima en un día	Sí	Incremento	0.8129	Sí	Incremento	1.38293	No		
TR	Número de noches tropicales				Sí	Decremento	-2.3321	No		
SDII	Índice de precipitación simple	Sí	Incremento	0.0637	Sí	Incremento	0.0683	Sí	Decremento	-0.2023
CDD	Días secos consecutivos	No			No			No		
CWD	Días húmedos consecutivos	No			No			Sí	Incremento	0.3635
R10mm	Días con lluvia mayor a 10mm	No			No			Sí	Decremento	-0.1811
R20mm	Días con lluvia mayor a 20mm	No			No			Sí	Decremento	-0.2665
PRCPTOT	Precipitación total	Sí	Incremento	6.0227	No			Sí	Decremento	-15.9673

Tabla 5. Tipo de tendencias de 29 estaciones climatológicas.

Índice		Tendencia estadísticamente significativa? (Nivel de confianza de 95%)					
Código	Nombre	7202	Tipo de tendencia	Pendiente estimada	7205	Tipo de tendencia	Pendiente estimada
SU	Número de días de verano	Sí	Decremento	-0.1811	Sí	Incremento	2.5203
TXx	Temperatura máxima extrema	No			Sí	Incremento	0.02977
TXn	Temperatura máxima más baja	No			No		
TNx	Temperatura mínima más alta	No			No		
TNn	Temperatura mínima más baja	Sí	Incremento	0.03589	Sí	Incremento	0.0343
DTR	Rango diurno de temperatura	Sí	Decremento	-0.0291	Sí	Incremento	0.0357
Rx1day	Precipitación máxima en un día	No			No		
TR	Número de noches tropicales	Sí	Incremento	0.7321			
SDII	Índice de precipitación simple	No			No		
CDD	Días secos consecutivos	No			No		
CWD	Días húmedos consecutivos	Sí	Incremento	0.2036	No		
R10mm	Días con lluvia mayor a 10mm	No			No		
R20mm	Días con lluvia mayor a 20mm	No			Sí	Incremento	0.1175
PRCPTOT	Precipitación total	No			No		

Tabla 5. Tipo de tendencias de 29 estaciones climatológicas.

4.1 Temperatura

De acuerdo a los resultados obtenidos, presentados en la tablas 5, cuyos índices relacionados con la temperatura como el índice de temperatura máxima extrema (TXX), temperatura máxima más baja (TXn), temperatura mínima más alta (TNx), temperatura mínima extrema (TNn), Rango diurno de temperatura (DTR), número de días de verano (SU), número de noches tropicales (TR); donde se obtienen tendencias positivas y negativas, es decir, que en algunas de las estaciones registran anomalías en el incremento de temperatura.

Por lo que en la tabla 6, se presenta un resumen de las estaciones que presentaron tendencia en referencia a los índices de temperatura; sí bien de las 29 estaciones climatológicas analizadas, se obtuvieron varias tendencias tanto como positivas y negativas; en el caso del índice temperatura máxima extrema (TXx), se encontraron en 13 estaciones con tendencia positiva y negativa, de las cuales 7 estaciones (, 7039, 7040, 7104, 7116, 7134, 7172 y 7205) son de tendencia positiva, es decir que hay un aumento en las temperaturas máximas registradas con promedio de 0.053 °C/año, mientras que en 6 estaciones (7002, 7035, 7077, 7078, 7146 y 7191) son de tendencia negativa con promedio de 0.044°C/año en disminución en la temperatura. (ver tabla 7).

Tabla 6. Resumen de número de estaciones con tendencia referente a la temperatura.

Tendencia	TXx	TXn	TNx	TNn	DTR	SU	TR
<i>Positiva</i>	7	4	3	9	9	7	5
<i>Negativa</i>	6	3	9	4	5	6	3
<i>Nula</i>	12	19	14	13	14	13	13
<i>Total estaciones analizadas</i>	25	26	26	26	27	26	21

Tabla 7. Promedios generales de los índices ETCCDI en referencia a la temperatura.

Promedio de pendientes estimadas	TXx	TXn	TNx	TNn	DTR	SU	TR
<i>Incremento</i>	0.053	0.048	0.089	0.053	0.051	1.628	1.668
<i>Decremento</i>	-0.045	-0.049	-0.042	-0.091	-0.032	-0.510	-2.222
<i>Promedio general</i>	(+) 0.004	(+) 0.006	(-) 0.009	(+) 0.009	(+) 0.019	(+) 0.641	(+) 0.209

Esto indica que el cambio de temperatura extrema no es uniforme ya que algunas estaciones son más propensas a registrar aumentos de temperatura extrema en las zonas del centro y norte del estado de Chiapas, mientras que en el sur se presentan disminuciones de temperatura extrema (ver anexo 1).

Para el caso del índice evaluado de temperatura mínima extrema (TNn), de las cuales se encontraron 9 estaciones (7035, 7039, 7086, 7129, 7135, 7156, 7200, 7202 y 7205) con tendencia positiva con promedio de 0.053°C/año de aumento en las temperaturas registradas, mientras que en 4 estaciones (7006, 7034, 7040 y 7157) presentan tendencias negativas de 0.091°C/año de decremento (ver tabla 7).

Por lo que para este índice (TNn) la tendencia dominante es positiva, esto quiere decir que se han registrado más casos de incrementos en temperaturas mínimas extremas, presentándose los cambios en la parte central del estado de Chiapas, mientras que en la parte sur han registrados menos casos de decremento (ver anexo 2).

Si se observa también, para el índice rango diurno de temperatura (DTR), también presenta cambios, ya que 8 estaciones (7006, 7039, 7040, 7077, 7134, 7191, 7200 y 7205) presentan tendencias de incremento de 0.051°C/año de incremento de temperatura durante el día con luz de sol, mientras que 5 estaciones (7015, 7086, 7123, 7129 y 7202) presentan 0.032°C/año de disminución durante el día con luz de sol, por lo que la mayor parte de las estaciones con tendencia de incremento se presentan en zona central del estado.

Para el índice de temperatura máxima más baja (TXn), presentan en 4 estaciones (7035, 7039, 7134 y 7156) una tendencia al incremento con promedio 0.048 °C/año, mientras que en 4 estaciones (7015, 7086 y 7129) registran un decremento con 0.049 °C/año.

En el caso del índice temperatura mínima más alta (TNx), en 3 estaciones (7034, 7123 y 7157) se observan incrementos con promedio de 0.089 °C/año, mientras que en 9 estaciones (7006, 7035, 7040, 7077, 7078, 7086, 7135, 7156 y 7191) se observan decrementos de 0.042 °C/año.

Para el índice de días de verano (SU), se observaron que en 7 estaciones (7006, 7039, 7040, 7104, 7134, 7172 y 7205) tienen una tendencia positiva con un promedio de 1.628 días/año, lo que representa que cada año hay un aumento en la cantidad de días que se presenta temperaturas mayores a 25 °C durante la estación de verano, mientras que en 6 estaciones () presentan una tendencia negativa con un promedio 0.510 °C/año.

En el índice Noches tropicales (TR), en donde se observaron que en 5 estaciones (7116, 7123, 7129, 7157 y 7202) presentan un promedio 1.668 días/año, es decir que hay un aumento de días que se presentan temperaturas mayores a 20°C en noches tropicales, mientras que en 3 estaciones (7077, 7078 y 7191) presentan un

promedio de 2.222 días/año de decremento en la presentación de días con temperaturas mayores de 20°C.

4.2 Precipitación.

Dado los resultados obtenidos en el análisis de índices relacionados con la precipitación como la precipitación máxima en un día (Rx1day), índice simple de intensidad diaria (SDII), días con lluvia mayor a 10 mm, días con lluvia mayor a 20 mm (R20mm), precipitación total (PRCPTOT), días secos consecutivos (CDD) y días húmedos consecutivos (CWD), donde también se obtuvieron tendencias tanto positivas como negativas; en la tabla 8 se muestra un resumen el número de las estaciones identificadas.

Tabla 8. Resumen de número de estaciones con tendencia referente a la precipitación

Tendencia	Rx1day	SDII	PRCPTOT	R10mm	R20mm	CDD	CWD
<i>Positiva</i>	4	8	8	5	5	2	6
<i>Negativa</i>	2	1	1	1	2	2	2
<i>Nula</i>	21	19	18	22	21	24	20
<i>Total estaciones analizadas</i>	27	28	27	28	28	28	28

Tabla 9. Promedios generales de los índices ETCCDI en referencia a la precipitación.

Promedio de pendientes estimadas	Rx1day	SDII	PRCPTOT	R10mm	R20mm	CDD	CWD
<i>Incremento</i>	1.138	0.138	10.885	0.190	0.173	0.734	0.366
<i>Decremento</i>	-0.960	-0.202	-15.967	-0.181	-0.335	-0.543	-0.661
<i>Promedio general</i>	(+) 0.439	(+) 0.101	(+) 7.901	(+) 0.128	(+) 0.028	(+) 0.095	(+) 0.109

Para el caso del índice de precipitación máxima en un día (Rx1day), en donde se presentan en 4 estaciones (7116, 7135, 7175 y 7191) climatológicas donde muestran una tendencia positiva, es decir, que se tiene incremento promedio 1.138 mm/añual (ver tabla 9) de precipitaciones máximas en un día, mientras que en 2 estaciones (7006 y 7157) muestran tendencias negativas, con un promedio de 0.96 mm/añual (ver tabla 9) de decremento de precipitaciones en un día.

Por lo que las tendencias del índice Rx1day, tienen mayor presencia en la zona sur del estado dominando el incremento de precipitaciones máximas en un día, mientras que el resto de las estaciones, se tienen tendencias negativas presenciado un decremento de las precipitaciones de precipitaciones (ver anexo 4).

Sí observa para el índice simple de intensidad diaria (SDII), puesto que en 8 estaciones (7012, 7034, 7039, 7040, 7077, 7116, 7175 y 7191) tienen tendencia positiva (ver tabla 8), es decir, presentan un promedio de incremento de 0.138 mm/días/añal mayores a 1 mm y solo en una estación (7200) presenta una tendencia negativa (ver tabla 9).

Para los índices de días con lluvia mayor a 10 y 20 mm se observan cambios en los registros de las precipitaciones, para el caso del índice días con lluvia mayores a 10mm (R10), se obtiene en 5 estaciones (7002, 7039, 7086, 7123 y 7134) una tendencia positiva con promedio de 0.19 mm/añal de incremento al año; mientras que 1 estación (7200) registra un decremento de 0.181 mm/año de días de lluvia mayores de 10 mm.

Para el índice de días con lluvia mayor a 20 mm (R20) se observan en 5 estaciones (7015, 7034, 7040, 7116 y 7205) con tendencia de un promedio 0.173 mm/añal mayores a 20mm de precipitación, por otra parte en 2 estaciones (7157 y 7200) se observan con tendencia negativa con un promedio de 0.335 mm/año lo que indica un decremento de los días de precipitaciones mayores a 20 mm, por lo que en este índice, los cambios de tendencia positiva se presentan en la parte central del estado, mientras que en la zona sur se presenta las tendencias de decremento (ver anexo 5).

En el índice de precipitación total anual en días mayores que 1 mm (PRCPTOT), también muestra cambios en 9 estaciones, de las cuales 8 estaciones (7012, 7034, 7039, 7077, 7116, 7123, 7134 y 7175) presentan un promedio de 10.885 mm/añal de tendencia positiva en los registros de lluvias anuales mayores a 1 mm, las cuales se presentan en las regiones centrales y sur del estado de Chiapas (ver anexo 6).

Si se observa también para el índice de días húmedos consecutivos (CWD), muestran resultados con tendencia positiva promedio de 0.734 días/añal en 6 estaciones (7002, 7006, 7086, 7123, 7200 y 7202) localizadas en la zona central del estado de Chiapas, mientras que dos estaciones (7077 y 7116) presentan tendencia negativa de 0.661 días/añal al año localizadas en la zona sur (ver anexo 3).

Finalmente, para el índice de días secos consecutivos (CDD), se muestran en dos estaciones (7077 y 7116) una tendencia positiva en cuanto a los días secos consecutivos con un promedio de 0.734 días/añal, mientras que en 2 estaciones (7006 y 7086) presentan una tendencia negativa de 0.543 días/añal.

4.3 Conclusión

Se tiene entonces, que en el estudio de los registros de datos de 29 estaciones climatológicas mediante los índices ETCCDI, estudiados en un período de 50 años a partir del período 1966 a 2015, se observan cambios notorios en algunos índices analizados como el índice de temperatura máxima extrema (TXx), temperatura mínima extrema (TNn), días de verano (SU) y precipitación total (PRCPTOT).

En el caso de la temperatura, tomando como referencia el índice TXx, en donde las estaciones siguientes: 7039 (El Boquerón), 7040 (El Burrero), 7104 (Las Margaritas), 7116 (Medio Monte), 7134 (Puente colgante), 7200 (Tapachula) y 7205 (Comitán), de las cuales se obtienen una tendencia ascendente significativa en la temperatura con un promedio de 0.053 °C/año ubicadas en las regiones de Grijalva-Tuxtla, Grijalva-La Concordia, Lacantún, Suchiate, Huixtla; mientras que las estaciones 7002 (Abelardo L. Rodríguez), 7035 (Chicoasén), 7077 (Huixtla), 7078 (Ignacio López Rayón), 7086 (La Angustura), 7146 (San Jerónimo) y 7191 (Malpaso), muestran una tendencia descendente de 0.045 °C/año, presentándose en las regiones de Suchiate y Huixtla (ver anexo 7)

En el índice (TNn) analizadas de las siguientes estaciones: 7035 (Chicoasén), 7039 (El Boquerón), 7086 (La Angustura), 7129 (Pijijiapan), 7135 (Puente Concordia), 7156 (Santa María), 7200 (Tapachula), 7202 (Tuxtla Gutiérrez) y 7205 (Comitán), donde se observaron tendencias ascendentes de 0.053 °C/año, mayormente ubicadas en las regiones de Grijalva-Tuxtla Gutiérrez, Grijalva-La Concordia y Pijijiapan; mientras que en las estaciones 7006 (Altamirano), 7034 (Villa de Chiapilla), 7040 (El Burrero), 7157 (Santo Domingo), muestran un decremento de temperatura mínima con un promedio 0.091 °C/año dadas en las cuencas Grijalva-Tuxtla Gutiérrez, Lacantún y Suchiate (ver anexo 8).

Si se observa para el índice SU, en donde las estaciones 7006 (Altamirano), 7039 (El boquerón), 7040 (El burrero), 7104 (Las Margaritas), 7123 (Ocozocoautla), 7134 (Puente colgante), 7172 (Unión Juárez) y 7205 (Comitán), muestran incrementos de 1.628 días/año en la frecuencia de días de verano mayores a 25 °C. en las regiones de Grijalva-Tuxtla Gutiérrez, Lacantún, Pijijiapan y Suchiate (ver anexo 9).

En el caso de precipitación, tomando como referencia al índice PRCPTOT, donde las estaciones: 7012 (Finca Argovia), 7034 (Puente Colgante), 7039 (El Boquerón), 7077 (Huixtla), 7116 (Medio monte), 7123 (Ocozocoautla), 7134 (Puente colgante) y 7175 (Villa Flores), de las cuales muestran un incremento de 10.885 mm/anual de precipitaciones mayormente dada en las regiones de Grijalva-Tuxtla, Huixtla y Suchiate (ver anexo 10).

Por lo que, con el análisis de los índices mencionados, indican que en las temperaturas mínimas y máximas presentan un aumento significativo, ya que en los dos índices TXx y TNn muestran incrementos de 0.053 °C/año, además del aumento de frecuencias de días que éstas ocurren anualmente, las cuales se presentan en

las regiones de Grijalva-Tuxtla Gutiérrez, Grijalva-La Concordia, y parte de Suchiate; por lo que indican puede indicar un riesgo por sequía para los suelos, mantos freáticos, cuerpos de agua, además de provocar desabastecimiento de agua, lo que disminuiría la disponibilidad de agua (ver anexo 11).

En cuanto a las precipitaciones también se identificaron cambios notorios, aunque en menor medida, puesto que, en algunas de las estaciones climatológicas mencionadas, el aumento significativo de lluvias y de las frecuencias con que éstas ocurren principalmente en las regiones de Grijalva-Tuxtla Gutiérrez y Suchiate, lo cual indica que existe cierto grado de peligro por inundación por éstas zonas de acuerdo con el mapa de grado de riesgos por inundación elaborado por CENAPRED (2015), ver anexo12.

Cabe mencionar que las tendencias climáticas obtenidas no se presentan de manera uniforme para el estado de Chiapas, ya que algunas regiones como las cuencas Grijalva-Villa Hermosa, Lacantún, no se encontraron tendencias de las estaciones climatológicas analizadas y en algunos casos como las cuencas de Mar muerto, Chixoy y Usumacinta, no pudieron ser analizadas por falta de datos, debido a que por estas regiones las estaciones climatológicas se encuentran suspendidas.

Finalmente, se puede concluir que en efecto existe un cambio climático para el estado de Chiapas, sobre todo en el incremento de temperatura tanto como máximas y mínimas anuales, lo que permite entender que la dinámica de los ecosistemas ambientales propias del estado, están cambiando, lo que conllevaría la limitación del aprovechamiento de los recursos naturales, como el suelo, el agua y el aire entre otros, por lo que es necesario elaborar escenarios regionales que permitan visualizar el comportamiento a futuro de la temperatura y precipitación para el estado de Chiapas.

Bibliografía

Albo, A., & Ordaz Díaz, J. L. (2011). *Migración y Cambio Climático. El caso mexicano*. Ciudad de México: Servicio de Estudios Económicos del Grupo BBVA.

Alexandersson, H. (1986). A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climatol.* 80. 661-675.

Bailey, D., Callerr, S., Jackson, R. & Shaftel, H. (13 de Noviembre 2020). Cambio climático: ¿cómo lo sabemos?. NASA. Recuperado de: <https://climate.nasa.gov/evidence/>

Bautista, F., Pacheco, A., & Ayala, A. (2006). *Indicadores de cambio climático con datos diarios (ICC)*. Ciudad de México: Skiu, Scientific Knowledge In Use.

CENAPRED. (11 de 02 de 2015). Grado de peligro por sequía por municipio. Ciudad de México, Ciudad de México, México.

CENAPRED. (26 de 02 de 2015). Grado de riesgo por inundaciones por municipio. Ciudad de México, Ciudad de México, México.

CIIFEN. (25 de marzo 2021). *EUROCLIMA+ Taller de Control de calidad, homogeneización y relleno de datos climáticos - I Parte*. [Archivo de video].

<https://www.youtube.com/watch?v=pwJ4oUm0klk&t=4163s>

CONAGUA. (2015). [PROGRAMA HIDRICO ESTATAL 2014-2018 DEL ESTADO DE CHIAPAS].

Recuperado el 27 de octubre de 2021 de

http://www.igh.com.mx/programa_hidrico_chiapas/

Chervenkov, H., & Spiridonov, V. (2020). Bias Correcting of Selected ETCCDI Climate Indices for Projected Future Climate. *Springer Nature Switzerland*, 292–299.

Cifuentes Jara, M. (2010). *ABC del cambio climático en Mesoamérica*. Turrialba, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

Conde, C. (2011). *México y el cambio climático global*. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). www.semarnat.gob.mx

Cuervo Robayo, A. P., Ureta, C., Gómez Albores, M. A., Meneses Mosquera, A. K., Téllez Valdés, O., & Martínez Meyer, E. (27 de 08 de 2019). Temperatura máxima mensual. Ciudad de México, Ciudad de México, México.

Cuervo Robayo, A. P., Ureta, C., Gómez Albores, M. A., Meneses Mosquera, A. K., Téllez Valdés, O., & Martínez Meyer, E. (27 de 08 de 2019). Temperatura mínima mensual. Ciudad de México, Ciudad de México, México.

- Cuervo-Robayo, A. P., Ureta, C., Gómez Albores, M. A., Meneses Mosquera, O., Téllez Valdés, E., & Martínez Meyer, E. (27 de 08 de 2019). Precipitación mensual. Ciudad de México, Ciudad de México, México.
- Dietzsch, F., Andersson, A., Ziese, M., Schröder, M., Raykova, K., Schamm, K., & Becker, A. (2017). A Global ETCCDI-Based Precipitation Climatology from Satellite and Rain Gauge Measurements. *Climate*, 1-14.
- DiNezio, P. N., Tierney, J. E., Otto-Bliesner, B. L., Timmermann, A., Bhattacharya, T., Rosenbloom, N., & Brady, E. (2018). Glacial changes in tropical climate amplified by the Indian Ocean. *SCIENCE ADVANCES*, 1-11.
- Donat, M., Alexander, L., Yang, H., Durre, I., Vose, R., & Dunn, R. (2013). Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset. *ADVANCING EARTH AND SPACE SCIENCE*, 2098-2118.
- Farmer, G. y Cook, J. (2012). *Climate Change Science: A Modern Synthesis*. Springer. 1. 1-15
- Feliu Torres, E., García Blanco, G., Gutierrez García, L., Abajo Alda, B., Mendizabal Zubeldia, M., Tapia García, C., . . . Andrés Alonso, J. (2015). *Guía para la elaboración de Planes Locales de Adaptación al Cambio Climático*. Madrid: Tecnalia.
- Fernández Eguíarte, A., Zavala Hidalgo, J., Romero Centeno, R., Conde Álvarez, A., & Trejo Vázquez, R. (26 de Febrero de 2015). *Actualización de los escenarios de cambio climático oara estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación en México y Centroamérica*. Obtenido de Actualización de los escenarios de cambio climático oara estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación en México y Centroamérica: https://atlasclimatico.unam.mx/inecc/Atlas_2_190215_documentacion.pdf
- Figueroa Gallegos, J. A. (2016). ÍNDICES DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CUENCA DEL RÍO SABINAL, CHIAPAS, MEXICO. *Aqua-Lac*, 36-41.
- Figueroa Gallegos, J. A. (2017). Índices de cambio climático en la cuenca del Río. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 137-143.
- France 24 Español. (17 de diciembre de 2020). *¿Qué es el Acuerdo de París?*. [Archivo de video]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=wwKG9CX8tGM>
- González F. (2020). ¿Existe en América del Sur una brecha de consenso sobre el cambio climático? Evidencia a partir del análisis de percepción en redes sociales. *Ecología Austral*. 1 (30). 260-267. <https://doi.org/10.25260/EA.20.30.2.0.1050>
- Grupo Intergubernamental de Expertos en Detección e índices de Cambio Climático. (s.f.). Climate Change Indices. <http://etccdi.pacificclimate.org/indices.shtml>

Guijarro, J. A. (2018). *Homogeneización de series climáticas con Climatol*. Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). http://www.climatol.eu/homog_climatol-en.pdf

Hong, Y., & Ying, S. (2019). Characteristics of extreme temperature and precipitation in China in 2017 based on ETCCDI indices. *CHINESE ROOTS GLOBAL IMPACT*, 218-226.

INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMATICO. (05 de 30 de 2021). *México ante cambio climático*. Obtenido de México ante cambio climático: <https://cambioclimatico.gob.mx/>

Instituto de Tecnologías Educativas. (2012). *Balance de radiación neta*. Ministerio de Educación. https://fiferrer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion02/5_balance_de_radiacin_neta.html

IPCC. (2013). *En: Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I*. (S. Planton, Ed.) Francia: IPCC.

IPCC. (2014). *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Ginebra, Suiza: IPCC.

López Díaz, F. (2012). Analysis of indices of extreme temperature events at Apizaco, Tlaxcala, Mexico: 1952-2003. *Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM*, 349-358.

López Pérez, D.C. (2011). INDICADORES HIDROLÓGICOS EN EL CAMBIO CLIMÁTICO, EN LA CUENCA DEL RÍO PILÓN (MÉXICO). [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León]. <https://cd.dgb.uanl.mx/handle/201504211/5194>

Magaña, O. V. (2008). *Mapas elaborados para los escenarios A2 y A1B, propuestos por el IPCC, que muestran proyecciones para las climatologías 2020, 2050 y 2080*. Ciudad de México: Instituto de Ciencias de la Atmósfera UNAM.

Martínez, A., & Piliopro, F. (2012). *Adaptación al cambio climático: efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México: Volumen IV*. Jiutepec, Morelos: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Mendoza Uribe, I., & Vázquez Zavaleta, M. (2017). Detección de extremos climáticos de precipitación y temperatura en el estado de Guerrero. *Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma Yucatán*, 13-30.

México ante el Cambio Climático. (2021). *Impactos del Cambio Climático en México*. Sistema Nacional del Cambio Climático (SINACC). <https://cambioclimatico.gob.mx/>

MILENIO. (7 de junio de 2017). Trump saca a E.U. del acuerdo de París. [Archivo video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=6MsK0qq5JOk>

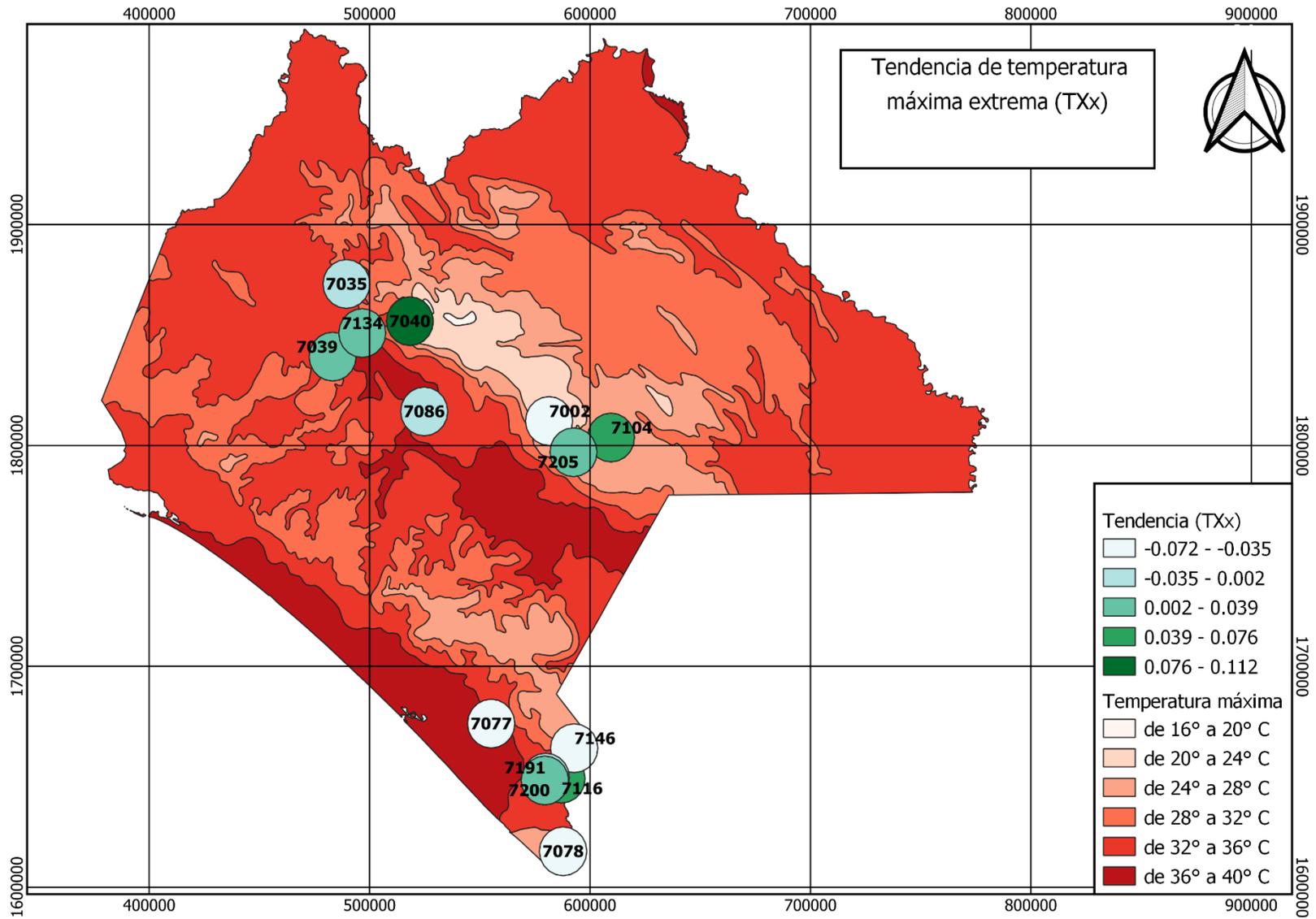
- Montero, M. y Pita, O. (2018). Homogenización de datos y cálculo de índices de cambio climático en el río Apatlaco. En G. A. Martínez Ocampo (Ed.), *Impacto del cambio climático para la gestión integral de la cuenca hidrológica del río Apatlaco*. (pp.109-143). Instituto Mexicano de Tecnología del agua. <http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/2161>
- Mora Orozco, C., Ruíz Corral, J., Flores López, H., Zarazúa Villaseñor, P., Ramírez Ojeda, G., Medina García, G., . . . Chávez Durán, Á. (2016). Índices de cambio climático en el estado de Chiapas, México, en el período 1960-2009. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2523-2534.
- NASA's Jet Propulsion Laboratory. (17 de abril de 2020). *GLOBAL CLIMATE CHANGE. VITAL SIGNS OF THE PLANET*. Obtenido de NASA: <https://climate.nasa.gov/evidencia/>
- Organización Meteorológica Mundial [OMM]. (2018). *Guía de prácticas climatológicas*. OMM. <https://public.wmo.int/es>
- Pacheco, C., Carrillo, U., Castellarini, F., & Balvenera, P. (16 de 10 de 2008). Consumo de agua urbano. Ciudad de México, Ciudad de México, México.
- Panda, D., Panigrahi, P., Mohanty, S., Mohanty, R., & Sethi, R. (2016). The 20th century transitions in basic and extreme monsoon rainfall indices in India: Comparison of the ETCCDI indices. *ELSEVIER*, 220-235.
- Paradigma Noticias. (27 de septiembre de 2019). ¿Libre activista o títere publicitario? la polémica detrás de Greta Thunberg. [Archivo video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=erOtb4I58kg>
- Paulhus, J.L.H. y Kohler M.A. (1952). Interpolation of missing precipitation records month. *Revista Weath.* 80. 129-133.
- Pérez, E. (2017). El cambio climático, ¿ficción o realidad?, una percepción desde la comunidad internacional. *Revista Geográfica Venezolana*. 58(1). 198-213. <https://www.redalyc.org/journal/3477/347753792013/html/>
- Pita Díaz, O. (2018). Detección de cambio climático en la cuenca del río Conchos, mediante índices climáticos. [Tesis de Maestría. Instituto Mexicano de Tecnología de Agua]. <http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/2161>
- Pita, O. y Ortega, D. (2020). Analysis of Anomalies and Trends of climate Change Indices in Zacatecas, México. *Climate*. 8(5). 1-33. www.mdpi.com/journal/climate
- Rojas, E., Arce, B., Peña, A., Boshell, F., & Ayarza, M. (2010). Cuantificación e interpolación de tendencias locales de temperatura y precipitación en zonas alto andinas de Cundinamarca y Boyacá (Colombia). *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 173-182.
- Santiago-Lastra, J., López-Carmona, M., & López-Mendoza, S. (2008). TENDENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL Y LOS EVENTOS EXTREMOS ASOCIADOS. *Ra Ximhai*, 625-633.
- Sarricolea, P., Meseguer Ruiz, O., & Romero-Aravena, H. (2017). TENDENCIAS DE LA PRECIPITACIÓN EN EL NORTE GRANDE DE CHILE Y SU RELACIÓN CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO. *Diálogo Andino*, 41-50.

Serrano Vincenti, S., Zuleta, D., Moscoso, V., Jácome, P., Palacios, E., & Villacís, M. (2012). ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS METEOROLÓGICOS MENSUALES Y DIARIOS PARA LA DETERMINACIÓN DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y CAMBIO CLIMÁTICO EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO. *La granja, ciencias de la vida*, 23-47.

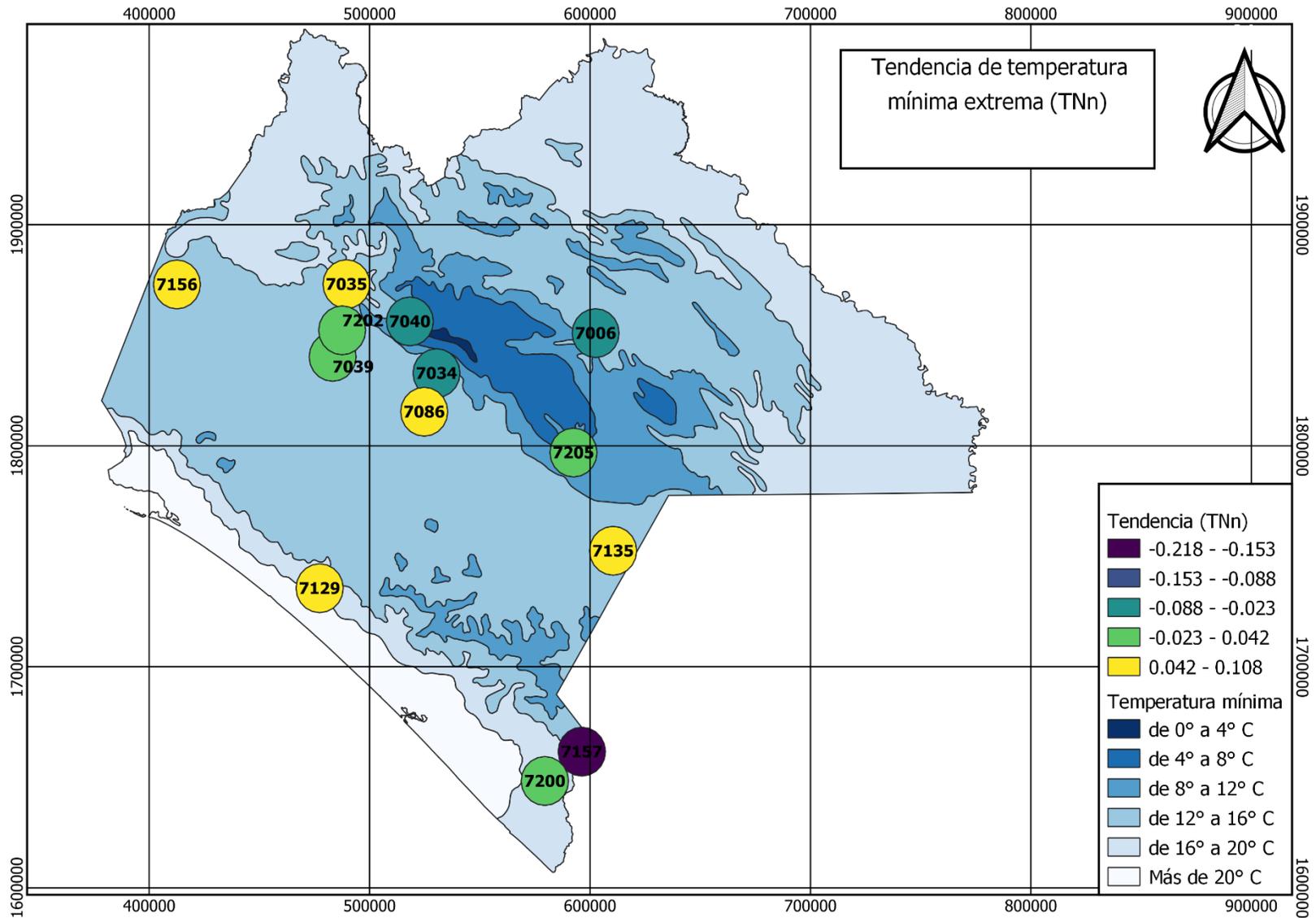
UPM. (5 de septiembre de 2019). MOOC Cambio climático.1.3. Los negacionistas. [Archivo video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=ZZaxFYdNTPg>

Anexo

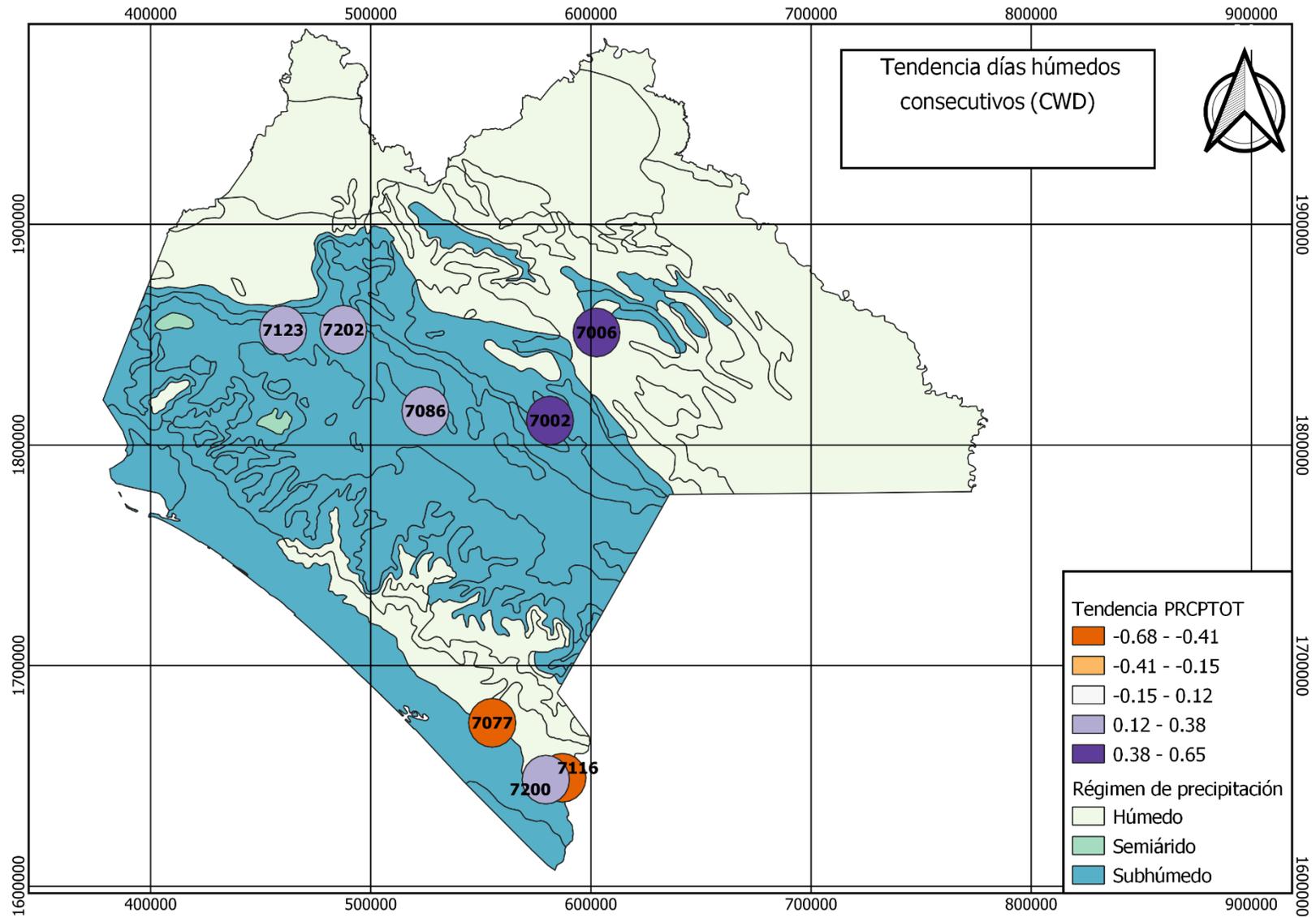
Anexo 1. Mapa de tendencias de temperatura máxima extrema (TXx)



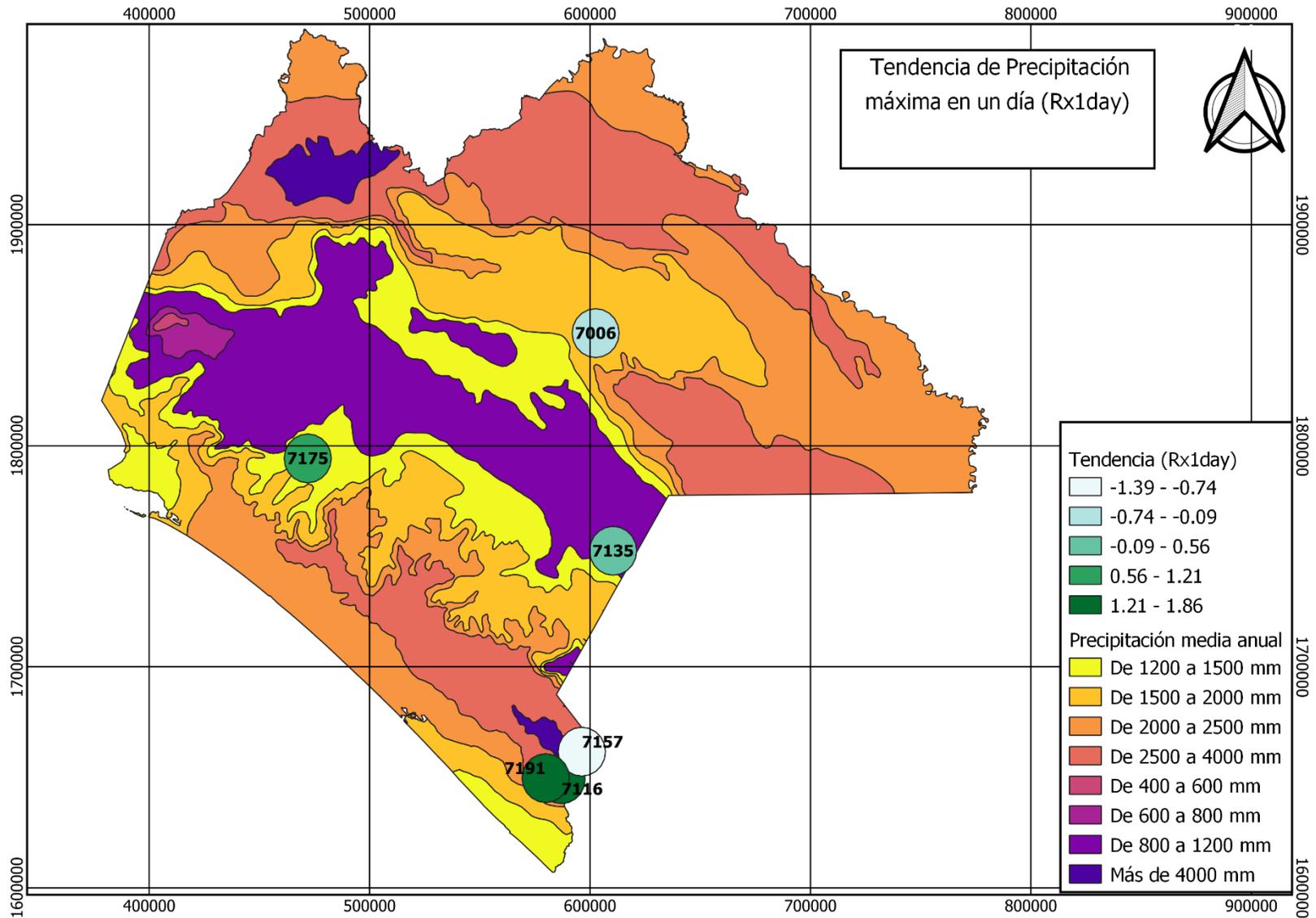
Anexo 2. Mapa de tendencias de temperatura mínima extrema (TNn)



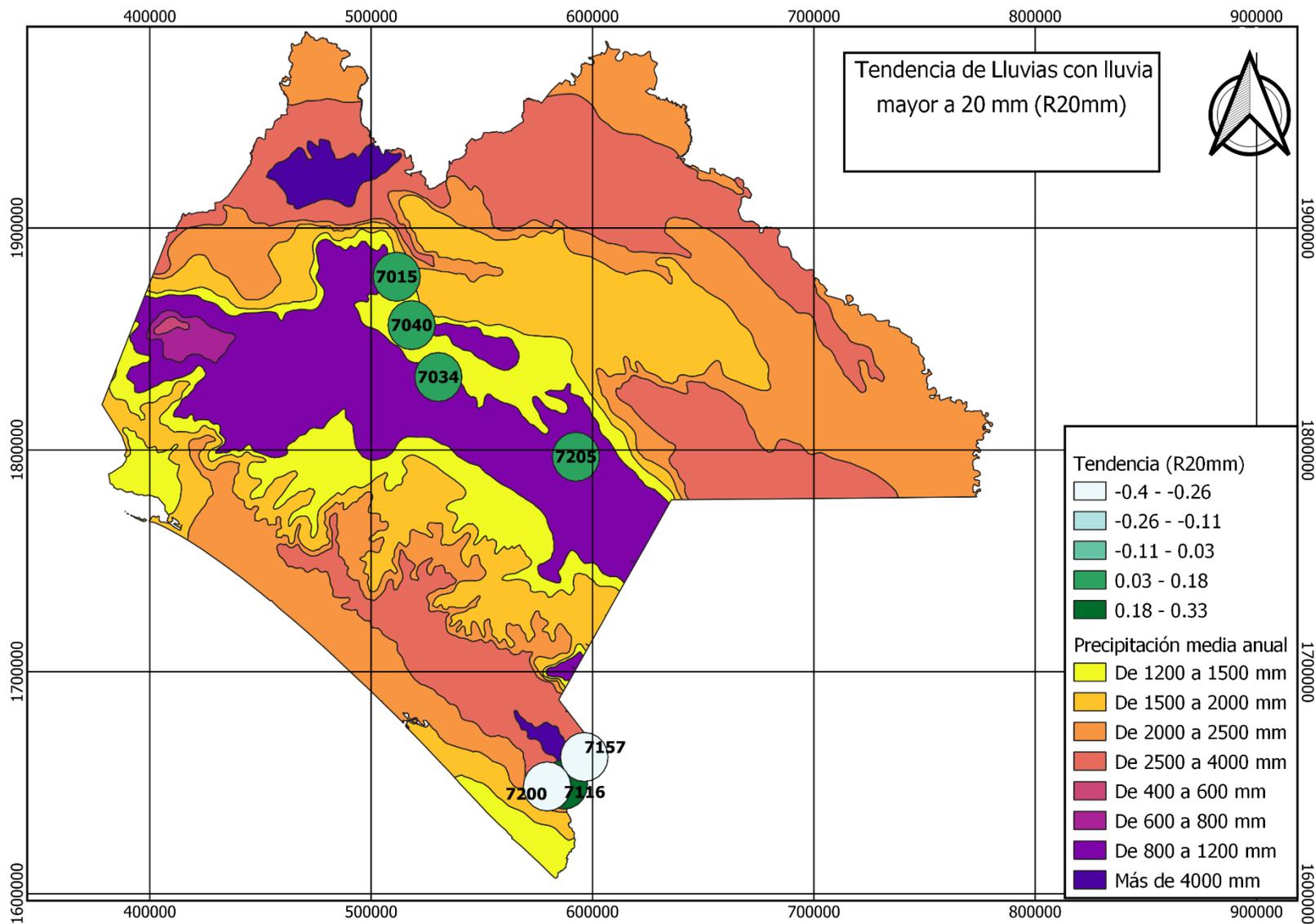
Anexo 3. Mapa de tendencias días húmedos consecutivos (CWD)



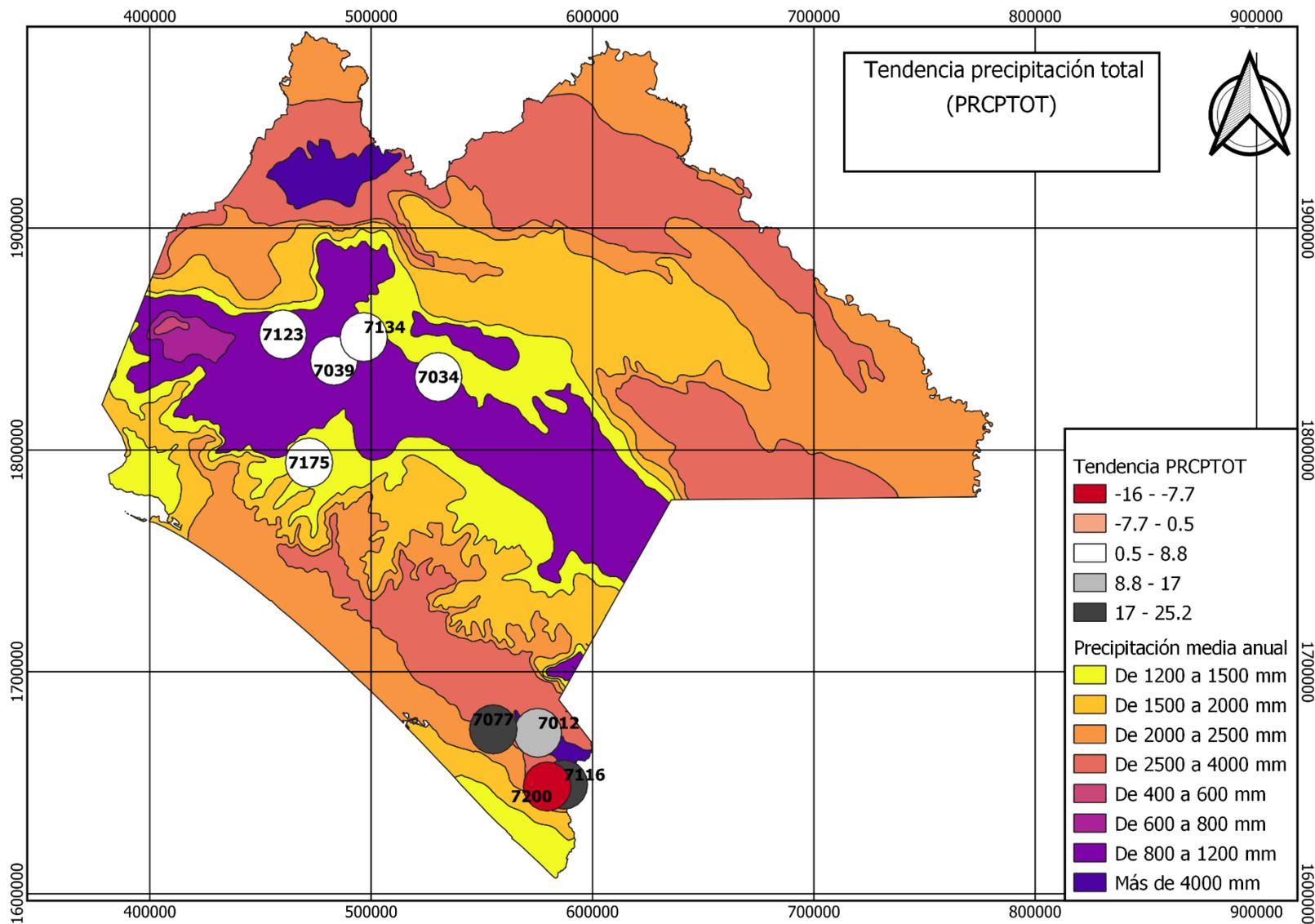
Anexo 4. Mapa de tendencias de precipitación máxima en un día (Rx1day)



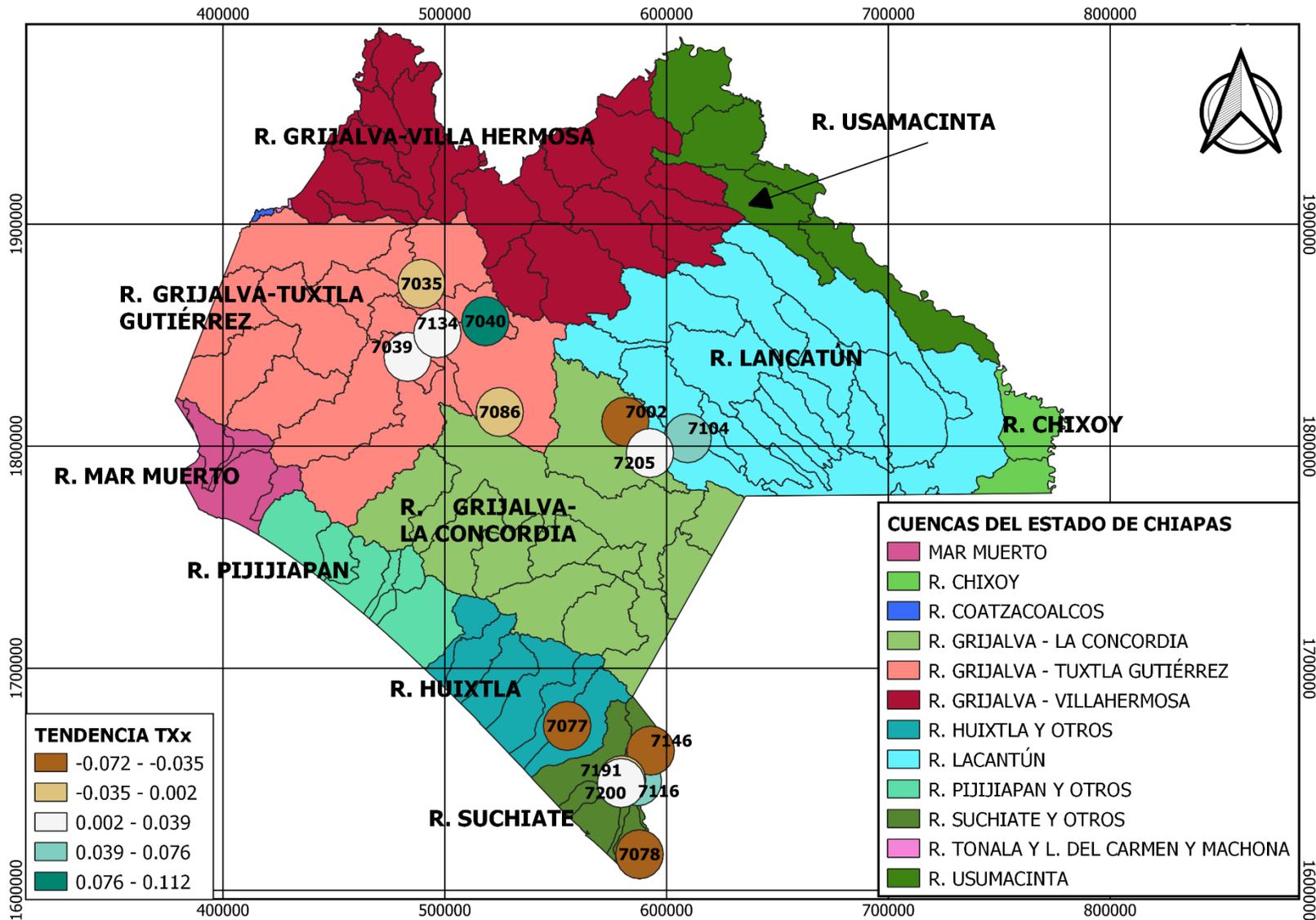
Anexo 5. Mapa de tendencias de días con lluvias mayores a 20mm (R20mm)



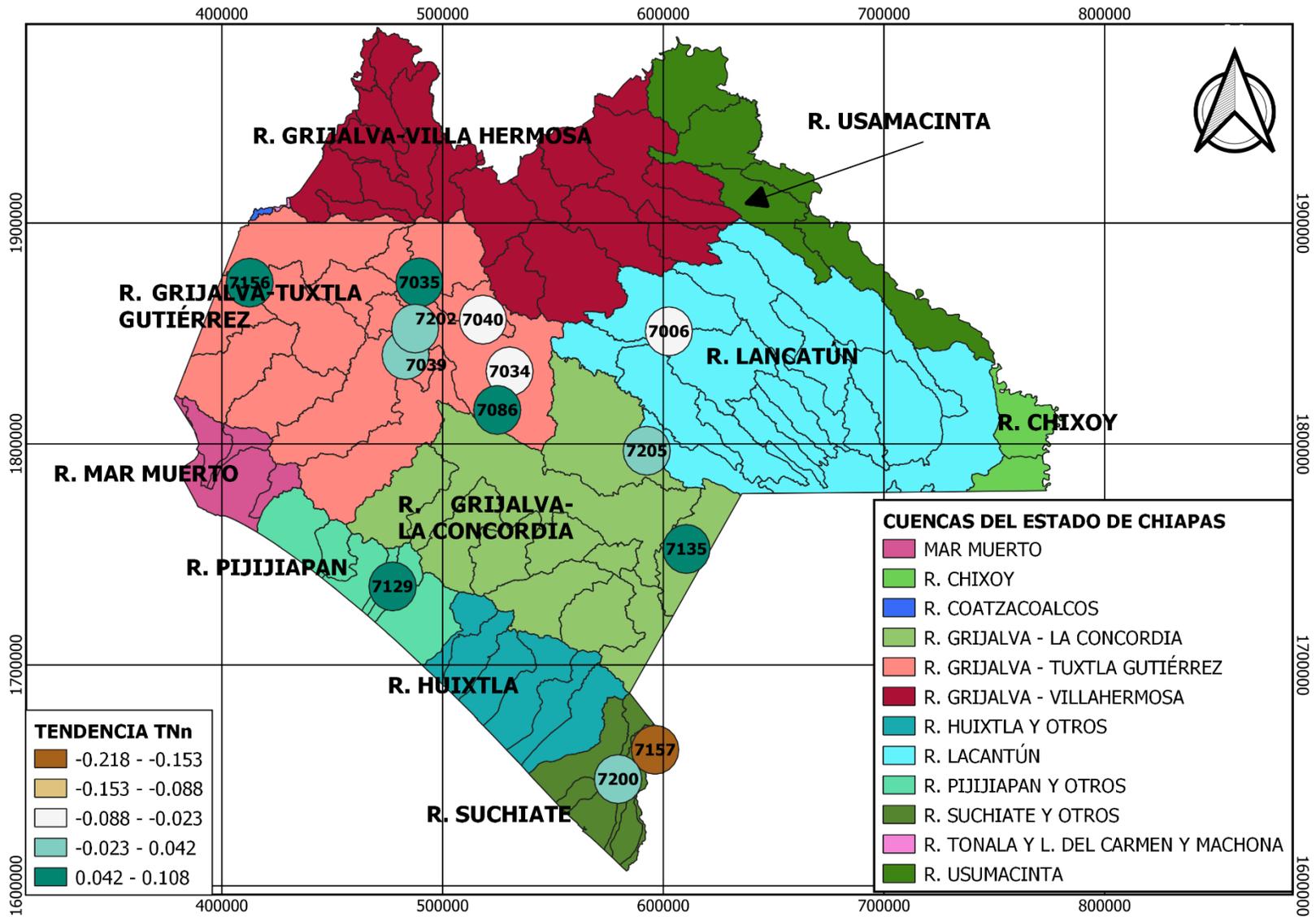
Anexo 6. Mapa de tendencias precipitación total (PRCPTOT)



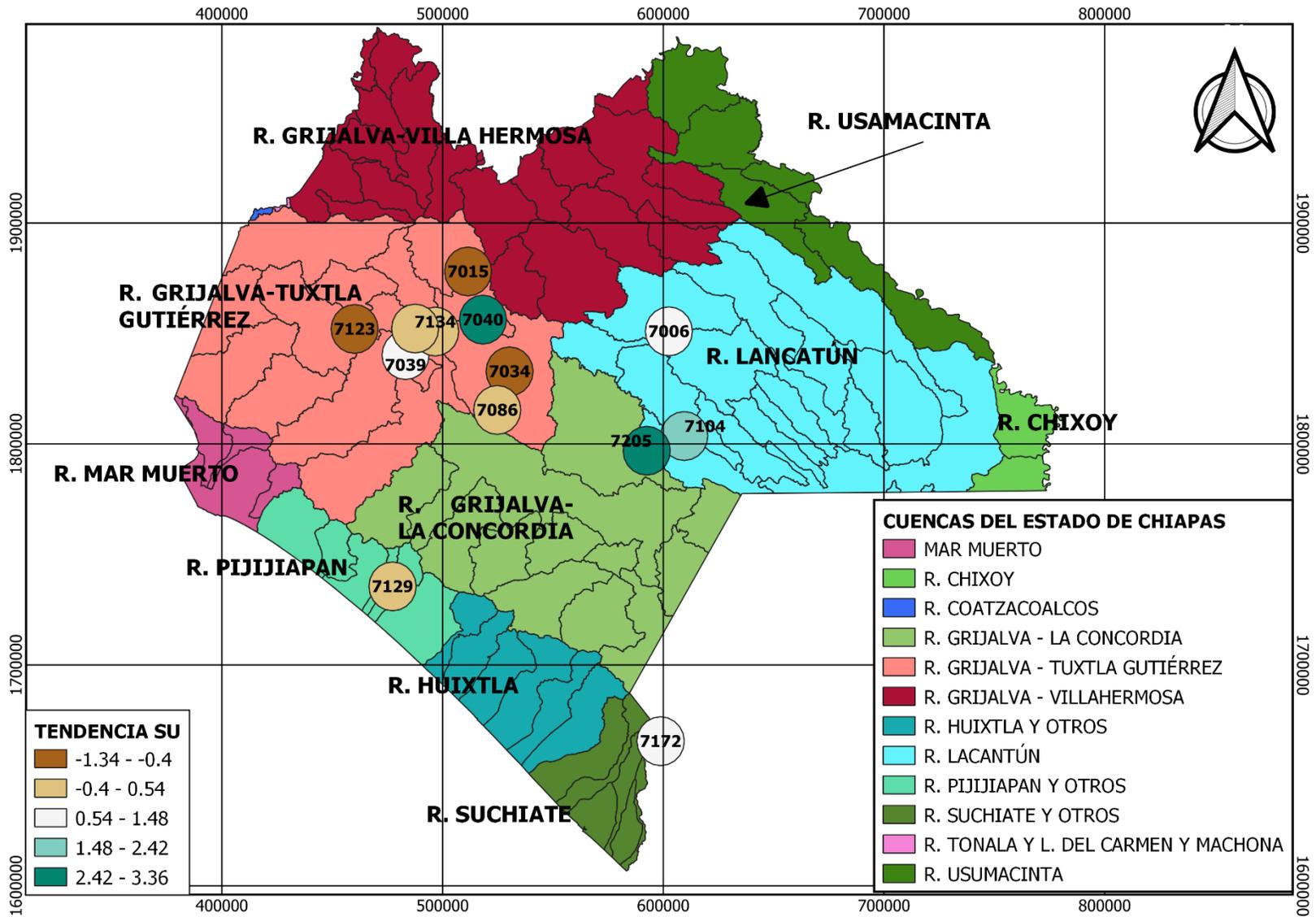
Anexo 7. Mapa de cuencas regionales del estado de Chiapas-tendencia TXx



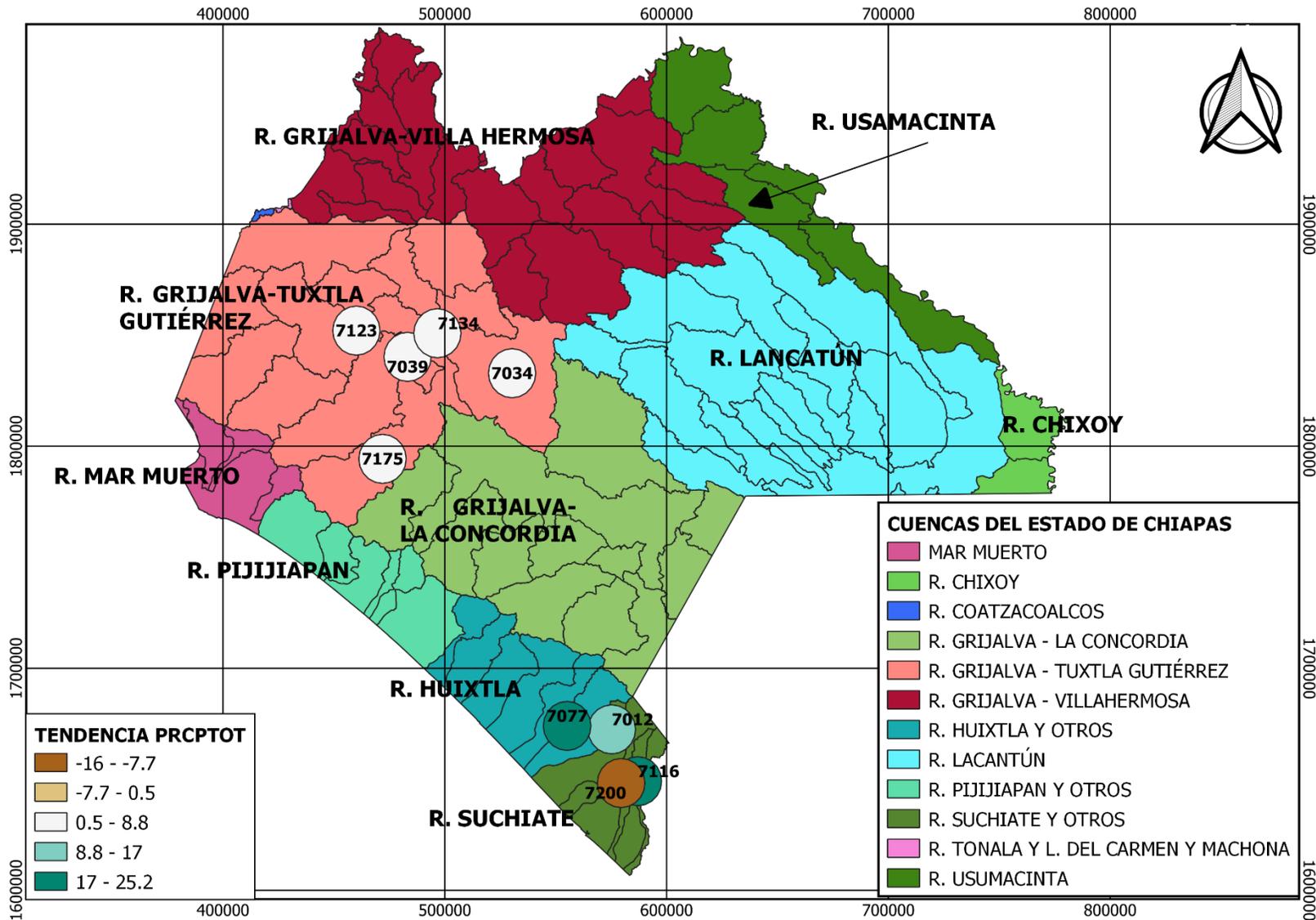
Anexo 8. Mapa de cuencas regionales del estado de Chiapas-tendencia TNn



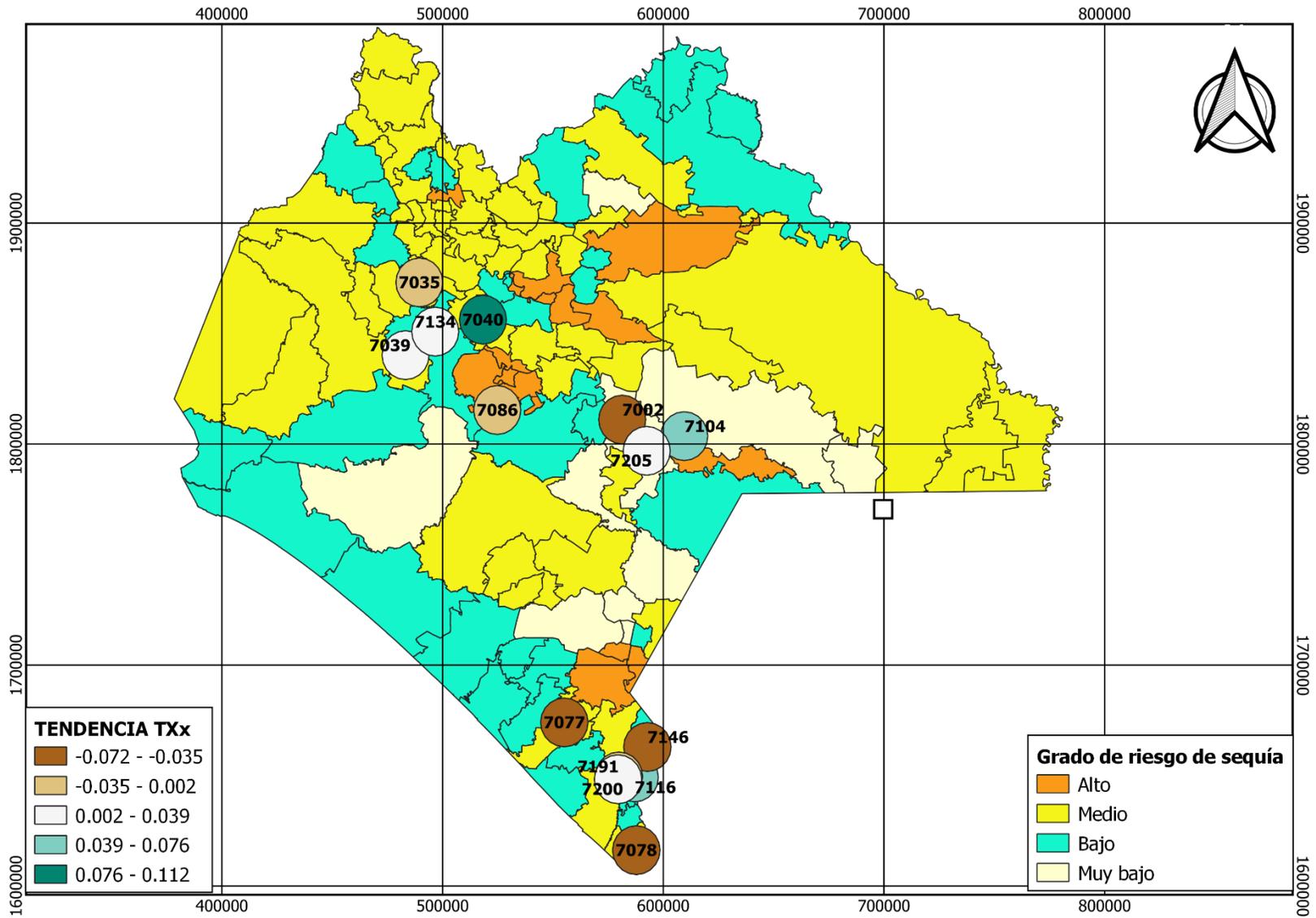
Anexo 9. Mapa de cuencas regionales del estado de Chiapas-tendencia SU



Anexo 10. Mapa de cuencas regionales del estado de Chiapas-tendencia PRCPTOT



Anexo 11. Mapa de grado de riesgo por sequía CENAPRED (2015) con estaciones de tendencia TXx



Anexo 12. Mapa de grado de riesgo por inundación CENAPRED (2015) con estaciones de tendencia PRCPTOT

