

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE  
CHIAPAS**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN GESTIÓN DE RIESGOS  
Y CAMBIO CLIMÁTICO**

**Maestría en Gestión de Riesgos y Cambio Climático  
Tesis**

**ÍNDICE DE CONCENTRACIÓN  
DE PRECIPITACIÓN Y  
UN ESCENARIO DE  
RIESGO EN CHIAPAS**

**Autor**

**Lic. Oscar Isaac Rascón López**

**Directora de Tesis**

**Gabriela Narcizo de Lima**



**Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.**

**Junio de 2023.**



**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS**  
**SECRETARÍA ACADÉMICA**  
**DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas a 31 de mayo de 2023  
Oficio No. SA/DIP/419/2023  
Asunto: Autorización de Impresión de Tesis

**C. Oscar Isaac Rascón López**  
**CVU 1239003**  
Candidato al Grado de Maestro en Gestión de Riesgos y Cambio Climático  
Instituto de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático  
UNICACH  
Presente

Con fundamento en la opinión favorable emitida por escrito por la Comisión Revisora que analizó el trabajo terminal presentado por usted, denominado **Índice de concentración de precipitación y un escenario de riesgo en Chiapas** cuya Directora de tesis es la Dra. Gabriela Narcizo de Lima (CVU 818625) quien avala el cumplimiento de los criterios metodológicos y de contenido; esta Dirección a mi cargo **autoriza** la impresión del documento en cita, para la defensa oral del mismo, en el examen que habrá de sustentar para obtener el **Grado de Maestro en Gestión de Riesgos y Cambio Climático**.

Es imprescindible observar las características normativas que debe guardar el documento impreso, así como realizar la entrega en esta Dirección de un ejemplar empastado.

**Atentamente**  
**“Por la Cultura de mi Raza”**

**Dra. Carolina Orantes García**  
**Directora**



C.c.p. Dra. Sandra Urania Moreno Andrade, Directora del Instituto de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático, UNICACH. Para su conocimiento.  
Mtra. Ana Lucía López Pimentel, Coordinadora del Posgrado, Instituto de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático, UNICACH. Para su conocimiento.  
Archivo/minutario.

RJAG/COG/eco/igpl/gtr

**2023 AÑO DE FRANCISCO VILLA**  
**EL REVOLUCIONARIO DEL PUEBLO**



Dirección de Investigación y Posgrado  
Libramiento Norte Poniente No. 1150  
Colonia Lajas Maciel C.P. 29039  
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México  
Tel:(961)6170440 EXT.4360  
investigacionyposgrado@unicach.mx

## **AGRADECIMIENTOS**

A quienes son parte de mis logros, con ustedes el éxito en mi superación personal, laboral y estudiantil existe.

A la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas; al Instituto de Investigación en Gestión de Riesgos y Cambio Climático; y al Consejo de Ciencia y Tecnología, por los conocimientos otorgados y por el apoyo incondicional en el reciente embate de la pandemia de COVID-19.

*Lo que puedas hacer, o sueños que puedes hacer, empíezalo.*

Johann Wolfgang von Goethe

## **RESUMEN**

En temas recientes se ha descrito al calentamiento global como tendencia actual del clima y del cambio climático, aunque poco se sabe del comportamiento del mismo en un futuro. Si bien no es fácil predecir el estado del tiempo en días siguientes, más complejo se hace predecir el clima; sin embargo algo se sabe: el efecto invernadero se incrementa conforme se incrementa la concentración de gases de efecto invernadero (GEI), lo cual trae consigo cambios en los patrones de lluvia en nuestro planeta. A través del índice de concentración de Gini aplicado a la precipitación (que en general nos puede indicar tendencia de aridez), se determinó el comportamiento de esta variable dentro de las temporadas de lluvias de 1981 a 2018; con ayuda de la tendencia actual del índice, se determinaron distintos escenarios para el futuro cercano 2030 y 2050, el análisis de lluvia en el período base indica variaciones acentuadas en las últimas dos décadas en cuanto a la concentración; las proyecciones de índice de concentración para la precipitación sugieren mayor concentración de lluvia en el estado de Chiapas en el futuro cercano.

**Palabras clave: Calentamiento global, cambio climático, lluvias, índice de concentración, proyecciones futuras, Chiapas.**

## **ABSTRACT**

In recent issues, global warming has been described as a current climate trend and climate change, although little is known about its behavior in the future. Although it is not easy to predict the weather in the following days, it becomes more complex to predict the climate, however something is known: the greenhouse effect increases as the concentration of greenhouse gas (GHG) increases, which brings with it changes in rainfall patterns on our planet. In the same way, through the Gini concentration index applied to precipitation (which in general can indicate an aridity trend), the behavior of this variable was analyzed within the rainy seasons from 1981 to 2018; With the help of the current trend of the index, different scenarios for the near future 2030 and 2050 were determined, the analysis of rainfall in the base period indicates marked variations in the last two decades in terms of concentration; the concentration index projections for precipitation suggest a higher concentration of rain in the state of Chiapas in the near future.

### **Keywords:**

**Global warming, climate change, rainfall, concentration index, future projections, Chiapas.**

## TABLA DE CONTENIDO

Introducción	1
<b><u>Capítulo 1</u></b>	
Marco teórico	3
Planteamiento del problema	10
Antecedentes	13
Justificación	21
Hipótesis	22
Objetivos (general y particulares)	23
<b><u>Capítulo 2</u></b>	
Materiales y Métodos	
Área de estudio	24
Metodología	32
<b><u>Capítulo 3</u></b>	
Resultados	39
<b><u>Capítulo 4</u></b>	
Discusión	58
Conclusiones	60
Anexo 1	62
Anexo 2	99
Anexo 3	119

Bibliografía	138
--------------	-----

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Ejemplo de distribución de frecuencias para la evaluación el índice de concentración de precipitación.	35
<b>Tabla 2.</b> Estaciones climatológicas convencionales de la Comisión Nacional el Agua en el estado de Chiapas	39
<b>Tabla 3.</b> Listado de estaciones climatológicas convencionales y los años con datos faltantes parciales de 1981 a 2018.	41
<b>Tabla 4.</b> Listado de estaciones climatológicas convencionales y los años con datos faltantes anuales de 1981 a 2018.	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Cambios de temperatura y precipitación en América Central y del Sur a partir de las simulaciones MMD-A1B.	8
<b>Figura 2.</b> Mapas de cambio de precipitación de 2020 a 2050	11
<b>Figura 3:</b> Vulnerabilidad por sectores en el estado de Chiapas.	17
<b>Figura 4.</b> Mapa de regiones socioeconómicas del estado de Chiapas	24
<b>Figura 5.</b> Mapa de regiones fisiográficas del estado de Chiapas	25
<b>Figura 6.</b> Mapa de regiones hidrográficas del estado de Chiapas	26
<b>Figura 7.</b> Mapa de climas en el estado de Chiapas	27
<b>Figura 8.</b> Mapa de lluvia media a nivel nacional	28



<b>Figura 9.</b> Superficie sembrada y cosechada en Chiapas en el período 2008 a 2019	<b>29</b>
<b>Figura 10.</b> Propuesta teórica de estaciones convencionales para el cálculo del índice de concentración de precipitación.	<b>32</b>
<b>Figura 11.</b> Estaciones climatológicas convencionales obtenidas para el cálculo del índice de concentración de precipitación.	<b>33</b>
<b>Figura 12.</b> Ejemplo de curva de concentración de Lorenz. Muestra la línea de equidistribución y la irregularidad de la lluvia mediante la curva.	<b>36</b>
<b>Figura 13.</b> Índice de concentración de precipitación (ICP) aplicado a la lluvia diaria dentro de las temporadas de lluvia de 1981 a 2018 en cada una de las estaciones.	<b>43</b>
<b>Figura 14.</b> Distribución temporal del índice de concentración de precipitación (ICP) aplicado a la lluvia diaria de 1981 a 2018 en el estado de Chiapas.	<b>44</b>
<b>Figura 15.</b> Distribución espacial del índice de concentración de precipitación (ICP) aplicado a la lluvia diaria dentro de las temporadas de lluvia de 1981 a 2018 en el estado de Chiapas con regiones socioeconómicas.	<b>45</b>
<b>Figura 16.</b> Media móvil de 5 años del índice de concentración de precipitación (ICP) aplicado a la lluvia diaria dentro de las temporadas de lluvia de 1981 a 2018 en el estado de Chiapas.	<b>46</b>
<b>Figura 17.</b> Media móvil de 10 años del índice de concentración de precipitación (ICP) aplicado a la lluvia diaria dentro de las temporadas de lluvia de 1981 a 2018 en el estado de Chiapas.	<b>47</b>

<b>Figura 18.</b> Distribución espacial del índice de concentración de precipitación (ICP) aplicado a la lluvia diaria dentro de las temporadas de lluvia con promedio de cada 5 años a partir de 1981 al 2000.	<b>48</b>
<b>Figura 19.</b> Distribución espacial del índice de concentración de precipitación (ICP) aplicado a la lluvia diaria dentro de las temporadas de lluvia con promedio de cada 5 años a partir del 2000 al 2018.	<b>49</b>
<b>Figura 20.</b> Distribución espacial del índice de concentración de precipitación (ICP) aplicado a la lluvia diaria con promedio de cada 10 años a partir del 1981.	<b>50</b>
<b>Figura 21.</b> Distribución espacial del índice de concentración de precipitación (ICP) aplicado a la lluvia diaria dentro de las temporadas de lluvia con promedio de 20 y 18 años a partir del 1981.	<b>51</b>
<b>Figura 22.</b> Correlación entre el promedio de los índices para cada estación de 1981 al 2000 y del 2001 al 2018.	<b>52</b>
<b>Figura 23.</b> Cambio del promedio de los índices para cada estación de 1981 a 2000 y de 2001 a 2018.	<b>52</b>
<b>Figura 24.</b> Proyección del índice de concentración de precipitación (ICP) en el estado de Chiapas del 2019 al 2050.	<b>53</b>
<b>Figura 25.</b> Proyección de índice de concentración de precipitación (ICP) en el estado de Chiapas del 2019 al 2050, bajo cuatro escenarios hipotéticos.	<b>54</b>
<b>Figura 26.</b> Distribución espacial del índice de concentración de precipitación (ICP) en el estado de Chiapas para el 2030.	<b>55</b>

---

**Figura 27.** Distribución espacial del índice de concentración de precipitación (ICP) en el estado de Chiapas para el 2050.

---

## **INTRODUCCIÓN**

Esta tesis se presenta como breve introducción a los desafíos que se pueden presentar en el estado de Chiapas ante el cambio climático, y aunque no se detallan líneas de investigación para la gestión del riesgo, puede ayudar a una pronta reacción ante la tendencia a la aridez que puede devenir en el estado, en ese sentido se ha estructurado de la siguiente forma:

Capítulo I.- Marco teórico. Se detalla en amplio panorama lo que se ha discutido sobre el cambio climático, el calentamiento global, estudios acerca de eventos extremos en el estado de Chiapas y proyecciones futuras de la temperatura y lluvia sobre el país. En este capítulo se menciona el por qué es necesario un estudio que a grandes rasgos, reduzca la incertidumbre del comportamiento que ha presentado la precipitación y cómo se puede llegar a asumir que Chiapas presenta alta vulnerabilidad ante el cambio climático en diversos sectores. Capítulo II.- Materiales y Método. Se define la zona en la cual se realizó el estudio y la metodología implementada en la investigación. En este punto del trabajo se puntualiza la utilización del Índice de Gini para el análisis de datos, el cual es habitualmente utilizado en economía, y sirve para medir cualquier forma de distribución desigual. Capítulo III.- Resultados. Se definen a través de la metodología, la cual muestra la irregularidad de la precipitación de 1981 al 2018 a través del análisis de los datos de 36 estaciones climatológicas convencionales en el estado de Chiapas, y en las que se aplicó una proyección del comportamiento del índice para identificar tanto el posible comportamiento temporal en cada una de ellas, como el comportamiento

espacial del índice sobre el estado de Chiapas para los años 2030 y 2050. Por último, Capítulo IV.- Discusión y Conclusiones. Se muestran de forma concreta los comentarios en el proceso y la irregularidad de lluvia en Chiapas.

## MARCO TEÓRICO

El clima es un regulador de la vida, sin la atmósfera y su composición actual, la vida en el planeta no existiría o fuera diferente a como hoy la conocemos. La Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2022), estimó que en 1950 la población mundial era de 2,600 millones de personas, se espera que en 2050 se alcance la cifra de 9,700 millones. Una gran cantidad de habitantes en un lugar determinado puede provocar el agotamiento de los recursos naturales por consumo desmedido y, la necesidad de emplear combustibles fósiles hasta la fecha no es reemplazable en su totalidad. Los recursos ambientales pueden ser definidos como aquellas partes de la naturaleza que pueden proveer los bienes y servicios requeridos por los seres humanos (Mather y Chapman, 1995), la explotación de los recursos naturales tuvo un incremento a raíz de la Revolución Industrial y las posteriores revoluciones tecnológicas que permitieron el surgimiento de la sociedad contemporánea.

Con diversos estudios como los de S. Arrhenius (1859-1927), T. Chamberlin (1843-1928) y Gilbert Plass (1920-2004) entre otros, ha quedado demostrada la relación entre el calentamiento global del planeta y la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), entre los que se encuentran el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) el metano ( $\text{CH}_4$ ), y el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Estos gases se desprenden mayoritariamente como consecuencia del uso de combustibles fósiles, creando una película gaseosa en la atmósfera que impide la salida de la radiación infrarroja hacia

el espacio, por ende, esta energía se queda atrapada en la atmósfera y aumenta la temperatura ambiental; a este fenómeno se le conoce como efecto invernadero (Gerendas, 2018).

La Organización Meteorológica Mundial (WMO por su siglas en inglés) en su informe sobre el estado del clima en 2019, manifiesta que el contenido calórico oceánico y la elevación del mar alcanzaron niveles sin precedentes en 2019, a lo anterior se suma la disminución del pH del agua oceánica por la disolución del CO<sub>2</sub>, lo cual viene entrelazado con un cambio en la temperatura media mundial de al menos 1.1°C con respecto a los niveles preindustriales (1850-1900) y pone en manifiesto que en la actualidad continúa el incremento de los GEI en la atmósfera (OMM, 2020). El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés), que inició su labor en la materia desde 1988, ha preparado cinco informes de evaluación de varios volúmenes y, actualmente, se encuentra en su sexto ciclo de evaluación. El reciente reporte especial del IPCC (IE15) trata sobre los impactos del calentamiento global de 1.5°C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de GEI, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza (IPCC, 2018).

La Estrategia Nacional de Cambio Climático Visión 10-20-40 (SEMARNAT, 2013), indica que México es un país altamente vulnerable al cambio climático. Para el caso específico de Chiapas se elaboró el *“Programa de Acción Ante el Cambio*

*Climático del Estado de Chiapas” (PACCCH), el cual tiene como objetivo “brindar una clara directriz para el desempeño del Gobierno del estado de Chiapas y los lineamientos para el desarrollo del marco político e institucional, a fin de coordinar e impulsar medidas para disminuir los riesgos generados por el cambio climático, mediante la reducción de emisiones y la captura de GEI y la búsqueda del bienestar de la población en el estado” (PACCCH, 2011).*

En un estudio publicado en la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, Ruiz-Corral et al. (2016), plantean nuevas técnicas para la identificación de patrones de cambio de temperatura y precipitación para los períodos 2041-2060 y 2061-2080. Con el objetivo central del estudio, se pudieron regionalizar patrones de cambio climático para la República Mexicana. De los resultados de este estudio, se destaca la regionalización de cambios en gran parte del país, en la mitad norte los cambios de temperatura se observan con poca variación y con patrones de lluvia de disminución moderado, no obstante, en la mitad sur del país, se logra identificar un escenario más problemático por presentar un calentamiento moderado a severo, con desecación moderada a severa para el año 2050. Figueroa et al. (2016), mediante la aplicación de 27 índices climáticos definidos por el Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI), constata una tendencia estadísticamente significativa en cinco índices relacionados con la temperatura del aire. En las dos estaciones (07202 y 07134) con más de 50 años de registros, se presentan tendencias al aumento de las noches tropicales, temperaturas mínimas extremas y la mayor frecuencia de noches cálidas, por otro lado, los datos muestran una tendencia negativa (disminución) en la frecuencia de noches frías y en el



indicador de duración de los períodos fríos, por lo que se puede concluir que la temperatura mínima y máxima presentan una tendencia ascendente significativa.

Según Magaña et al. (2004), los años de El Niño de 1982-1983 y 1997-1998 fueron de lo más extremos en el siglo XX. En Chiapas, El Niño de 1997 a 1998 fue el evento climático más severo del periodo 1982-2000, mismo que provocó un incremento significativo de las temperaturas máximas y el déficit de precipitación, con alteraciones en el ciclo hidrológico y, en consecuencia, de la disponibilidad de agua. De acuerdo a Martínez et al. (2017); El Niño 2015-2016 fue, junto a los de 1997-1998 y 1982-1983, uno de los más fuertes desde 1950. Afectó a millones de personas, principalmente en América Latina. Durante el 2015-2016, se experimentó una combinación inédita de El Niño, la fase cálida de la Oscilación Decadal del Pacífico y el período más cálido del planeta, desde que existen registros, uno de los impactos más significativos fue principalmente el agravamiento de las sequías en México, Centroamérica, El Caribe y al norte de Sudamérica, con eventos puntuales de precipitaciones extremas y las consecuentes inundaciones en varios países, desde el centro hasta el sur del continente.

Los desastres son problemáticas socio-ambientales con características temporales complejas, son el producto de procesos de transformación y crecimiento de la sociedad de una manera desigual; pueden mostrar una inadecuada relación con el ambiente natural. Las inundaciones son sucesos complejos, causadas por una serie de vulnerabilidades humanas – y de diferentes sistemas -, así como por una planificación de desarrollo inapropiada y por la variabilidad climática. Las

inundaciones son predecibles en gran medida, con la excepción de las inundaciones repentinas, cuya escala y naturaleza son muchas veces más inciertas (ADPC, 2005, como se citó en Khurshid, 2010). Estos fenómenos son una de las causas más importantes de pérdida de vidas humanas y de recursos materiales en el mundo y constituyen los desastres a los que se dedica la mayor cantidad de recursos económicos, incluso por encima de sismos o epidemias, por ejemplo. Los factores que contribuyen a las avenidas pueden clasificarse como meteorológicos, hidrológicos y humanos, siendo éstos últimos los mayormente controlables. El riesgo a inundaciones no puede explicarse sin el factor de la vulnerabilidad, la severidad y el grado de exposición (Aparicio, 2013).

El manejo de los recursos hídricos es un gran reto en un mundo de cambios globales. El crecimiento de la demanda de agua, su contaminación, un clima cambiante y las alteraciones en los ecosistemas que regulan el ciclo hidrológico son algunos de los factores que han llevado a una crisis hídrica a nivel mundial. Es en este contexto que la sequía meteorológica (entendida como la condición en que las lluvias acumuladas en una estación o en un periodo más largo están significativamente por debajo de lo normal) se vuelve un peligro climático que puede tener grandes costos sociales, ambientales y económicos. A pesar de ello, en la mayor parte del mundo solo se atienden los impactos, más que prevenirlos. Así, la sequía meteorológica resulta, con frecuencia, en desastre, es decir, en sequía agrícola, hidrológica o socioeconómica (Wilhite y Glantz, 1985, como fue citado en Magaña et al., 2018).

De acuerdo con Christensen et al. (2007), la predicción de modelos globales del clima a partir de las simulaciones MMD-A1B, muestra que la precipitación media por área en América Central en los escenarios 2080-2099, disminuye en la mayoría de los modelos sobre las estaciones invierno y verano. Sólo en algunas partes del noreste México y sobre el Pacífico oriental se observaban aumentos en la precipitación de verano (Figura 1).

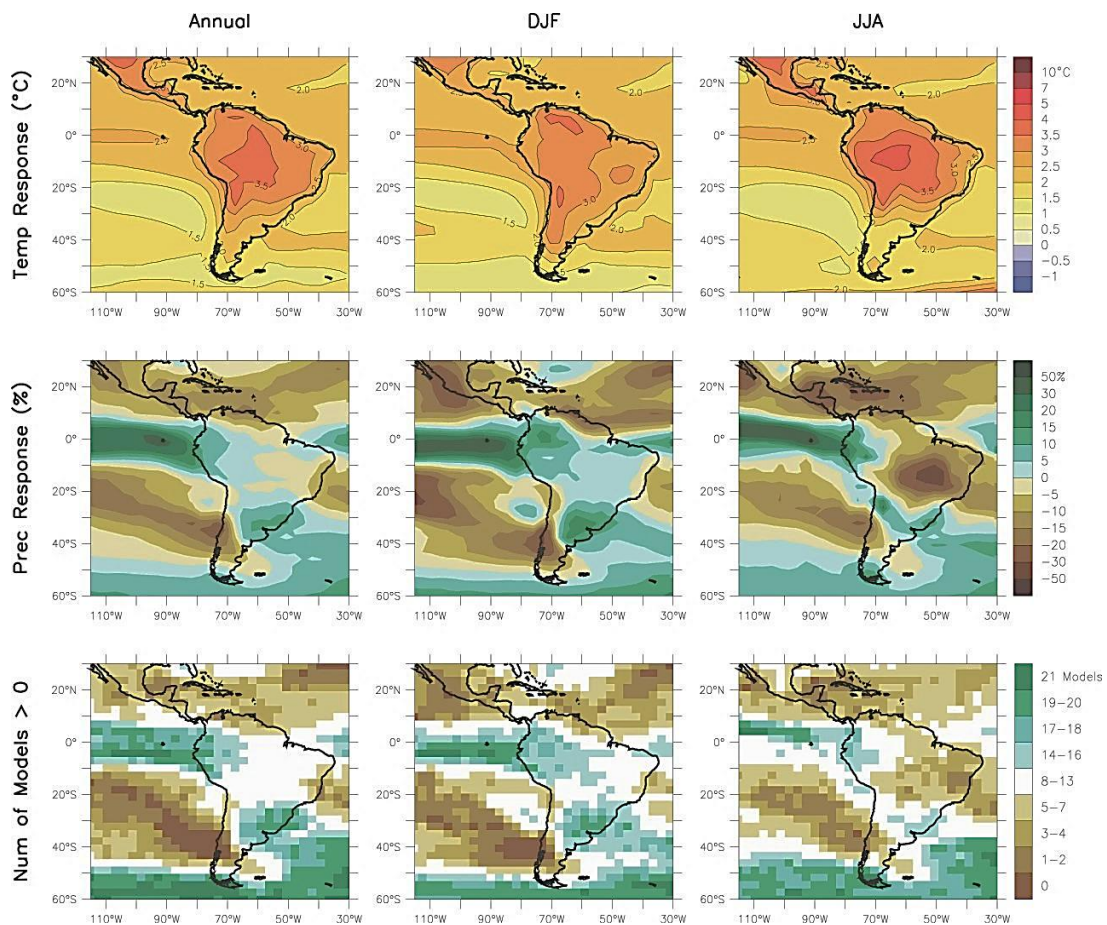


Figura 1. Cambios de temperatura y precipitación en América Central y del Sur a partir de las simulaciones MMD-A1B entre 1980 a 1999 y 2080 a 2099 en las temporadas diciembre-febrero (DJF) y junio-agosto (JJA). Primera fila, temperatura media anual; segunda, cambios fraccionarios en la precipitación; y tercera, número de modelos de 21 que proyectan aumentos en la precipitación. Fuente: Christensen et al. (2007).

Sin embargo, dado que las tormentas tropicales pueden contribuir con una fracción significativa de lluvia en la temporada de huracanes en la zona del Pacífico oriental ecuatorial, estas conclusiones podrían ser modificadas por la posibilidad de un aumento de las precipitaciones en tormentas y que no son bien asimiladas por los modelos globales para la zona ecuatorial.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En su Quinto Informe de Evaluación (IPCC, 2014) el IPCC empleó cuatro trayectorias para la modelización del clima que describen diferentes futuros climáticos (RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 y RCP 8.5), todos los cuales se consideran posibles dependiendo del volumen de GEI emitidos en los próximos años. Los RCPs generalmente se refieren a la parte de la ruta de concentración que se extiende hasta 2100, para la cual los Modelos de Evaluación Integrada utilizados por el IPCC, produjeron los escenarios de emisión correspondientes (IPCC, 2018 a). Entre las cuatro trayectorias presentadas por el informe, se consideran las RCP4.5 y RCP6.0 como vías intermedias en las que el forzamiento radiativo se estabilizará en aproximadamente  $4.5 \text{ W m}^{-2}$  y  $6.0 \text{ W m}^{-2}$  después de 2100 (IPCC, 2018 b).

En la figura 2 se observa el pronóstico de diferencia de lluvia para el futuro cercano (de 2020 a 2050) según el RCP4.5 en tres períodos; inicio de temporada de lluvias (mayo-junio), el intermedio (agosto y septiembre) y el final de la temporada (octubre-noviembre), mediante el Climate Change Atlas, (Royal Netherlands Meteorological Institute, 2020).

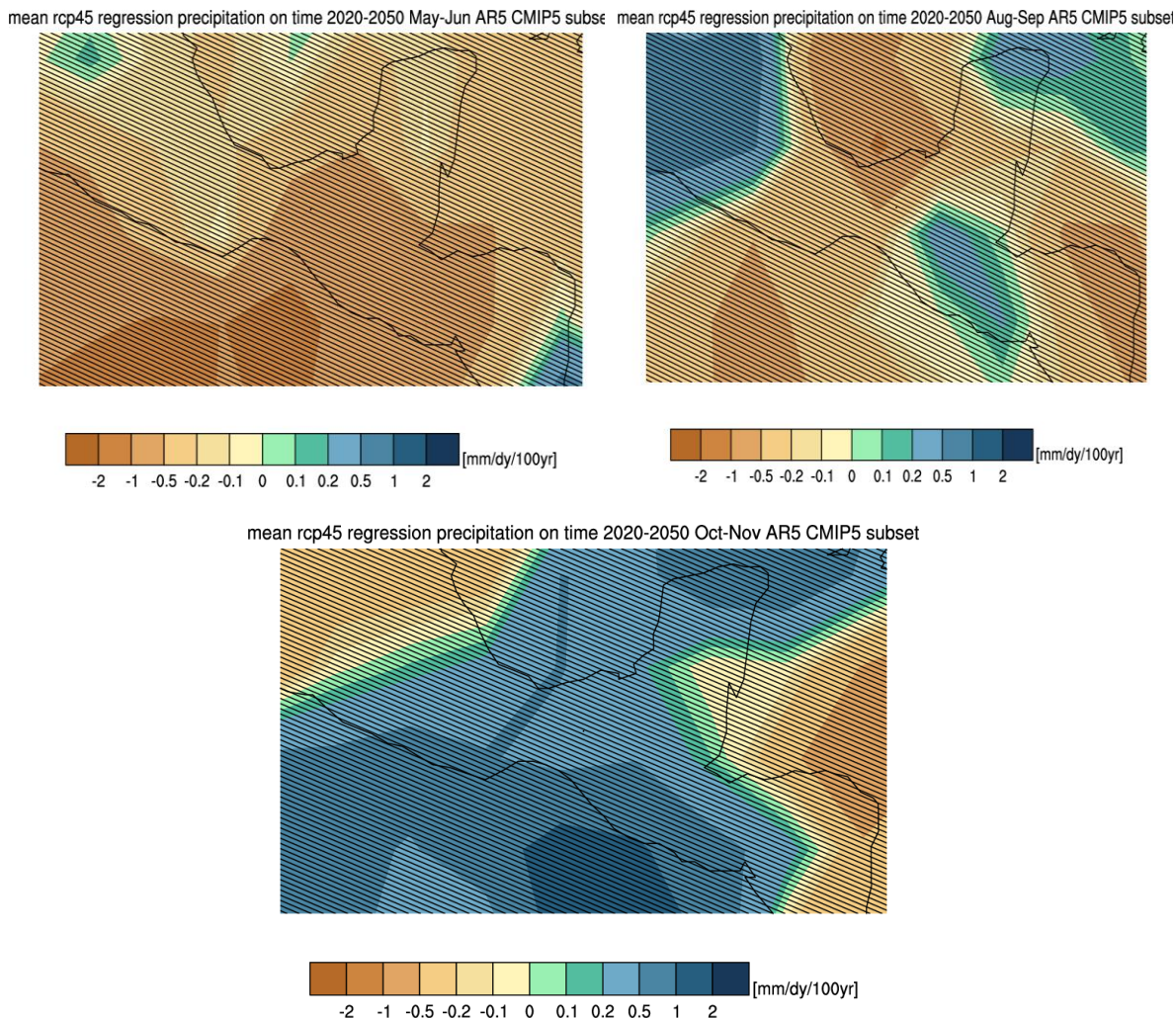


Figura 2. Mapas de cambio de precipitación de 2020 a 2050 para los meses de mayo-junio, agosto-septiembre y octubre-noviembre. Fuente: Royal Netherlands Meteorological Institute (2020).

Los períodos pronosticados de precipitación en 2050 (Figura 2), se observan con déficit para los meses iniciales de la temporada de lluvias mayo-junio, por su parte, en los meses intermedios agosto-septiembre sugieren tanto un déficit como un superávit; aunque el superávit de lluvia se observa de forma acentuada en los meses de fin de temporada octubre-noviembre, es posible que se deban a la temporada de transición verano-otoño, en dicho período es habitual la interacción de sistemas invernales como frentes fríos y sistemas tropicales como ondas

tropicales y huracanes. Si bien es sabido que el calentamiento global puede generar deshielo de los casquetes polares, este efecto puede disminuir la temperatura de latitudes medias en algunos períodos, en tal situación, los intercambios de energía entre ambos sistemas pueden llegar a ser más frecuentes, y sobre todo pueden provocar violentos fenómenos hidrometeorológicos con tal magnitud que hasta el momento no hemos observado.

## ANTECEDENTES

La variabilidad climática, que en lo habitual se observa como los cambios en los patrones de lluvia y temperatura, puede ser atendida desde diferentes puntos de vista, por ejemplo: Pascual et al. (2001), analizan la concentración de lluvias anuales y mensuales a través de 234 estaciones meteorológicas de la comunidad Valenciana y sus alrededores en España. Mediante métodos geo estadísticos obtienen la regionalización del índice de Concentración de las precipitaciones de Olive (PCI), posteriormente desarrollan índices para analizar la variabilidad mensual y luego, con el índice modificado de Fournier (MFI), realizan la evaluación de la agresividad climática. Los resultados indican que con la aplicación del PCI se puede obtener asignaciones que indican la uniformidad de las concentraciones de precipitación, sin reflejar adecuadamente la variabilidad e irregularidad temporal y por extensión espacial, que caracterizan a las lluvias mediterráneas. Por lo que se refiere a los resultados del método del MFI, podría deducirse que en la práctica, en la totalidad del territorio, la erosividad no es en realidad un problema cuando se utilizan única y exclusivamente valores promedios de precipitación. Puesto que existe una estrecha relación entre las formulaciones del PCI y el MFI, la excesiva generalización de este último se matizaría con la aplicación de un método alternativo, similar al índice de concentración de precipitación mensual (IPCm), que contemple las diferencias mensuales. La gran ventaja de estos índices es su sencillez de cálculo, sin embargo, su aplicación en zonas relativamente homogéneas infravalora los contrastes y resultados obtenidos, debiéndose acudir a estudios de mayor detalle.



Martín-Vide (2003), establece una metodología para cuantificar la concentración de precipitación en la península Ibérica mediante las curvas de Lorentz y el índice de Gini; con ello pudo regionalizar la península Ibérica con zonas de alta y baja concentración de lluvia diaria según el índice resultante. Lo anterior le permitió identificar que la cuenca del Mediterráneo acentúa la irregularidad o la concentración de la lluvia diaria, mientras que las precipitaciones de origen atlántico, aun pudiendo ser más copiosas, son, en conjunto, más regulares en sus valores diarios.

Con la metodología del índice de concentración de Gini, Ochoa (2006), cuantificó la concentración de precipitación en el centro del estado de Veracruz. El estudio se realizó a través de 18 estaciones climatológicas y confirmó también que la concentración de precipitación es mayor en los lugares que tienen mayor distancia al mar, en este sentido destacaron las estaciones Martínez de la Torre y Las Minas, con un índice de concentración de 0.79 máxima en la serie de datos (1961-2000); por otra parte, las estaciones que resultaron con menor concentración de precipitación fueron Rinconada y Camelpo, con valores de concentración de 0.07 y 0.2 respectivamente.

De acuerdo a la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2011), en épocas recientes, se han presentado fenómenos meteorológicos con una intensidad inusual, que han dejado una huella imborrable en las personas que los vivieron de cerca, por los destrozos provocados. El huracán "Gilberto", que con intensas lluvias generó grandes avenidas en la zona Noreste del país, principalmente en el estado

de Nuevo León; o “Pauline”, que descargó más de 400 mm en unas cuantas horas en la Costa Grande de Guerrero y parte de Oaxaca, o también las inundaciones en el año 2007 en el estado de Tabasco. En el estado de Chiapas un evento reciente que provocó serias inundaciones en la zona costera, fue el huracán Stan en el año 2005. De acuerdo a Oswald (2012) en este estado, aproximadamente el 40% de la vegetación natural de la Sierra Madre de Chiapas fue destruida por este evento. El huracán también generó daños en 31.2% de la infraestructura económica, 22.5% del sector productivo y destruyó 168,000 hectáreas de bosques chiapanecos. Adicionalmente, un tercio de las familias impactadas tuvieron que ser reubicadas por estar asentadas en zonas de alto riesgo: 11% de las casas de estas familias fueron destruidas, 16.3% parcialmente dañadas y el resto tuvo afectaciones menores. Los costos totales del huracán Stan equivalían al 5% del PIB del estado de Chiapas.

Roblero et al. (2018), realizaron la evaluación del índice de concentración de precipitación diaria en 34 estaciones climatológicas en la cuenca del Río Grande de Morelia en el período de 1934 a 2015, los resultados del índice de concentración permitieron conocer la torrencialidad de la lluvia diaria en la región distinguiéndose cuatro grados de torrencialidad: bajo torrencial, medio torrencial, torrencial y altamente torrencial, con el fin de dar un sentido físico al índice de concentración para la cuenca. Con este procedimiento pretenden contribuir al análisis hidrológico de las cuencas susceptibles a inundaciones en el país.

Quiroz (2011) indica que, a través de los años en el estado de Chiapas, el

régimen de precipitación ha sido influenciado por diversos fenómenos climatológicos que son responsables de la variabilidad climática a nivel global, muchos de ellos están bien identificados como por ejemplo el fenómeno de El Niño/Oscilación del Sur, que es una muestra de la relación Océano-Atmósfera; la Oscilación Decadal del Pacífico y la Oscilación del Pacífico Norte, entre otros. Todos estos sistemas son parte de la circulación general de la atmósfera y de la circulación de las corrientes marinas, las cuales son las encargadas también de regular climas fríos con aguas cálidas tropicales.

Escalante y Amores (2014), en su estudio de análisis de tendencias de las variable hidroclimatológicas de la Costa de Chiapas a través de la prueba de Mann-Kendal, muestran que, de 51 estaciones seleccionadas para esta región, doce de ellas presentan disminución de precipitación para el período 1960-2010 en la temporada agrícola, primavera-verano y otoño-invierno, principalmente en la región del Soconusco; asimismo armonizan que el factor que ha incrementado el potencial destructivo de la tendencia negativa es la degradación sistemática de las cuencas, de igual forma asocian las tendencias positivas de temperatura máxima y evapotranspiración con la disminución de rendimientos de cultivos de café cereza, caña de azúcar, mango y plátano de la región.

Monterroso et al. (2014), consideran la evaluación de la vulnerabilidad del sector hídrico, biodiversidad, agricultura, ganadería y bosques para el país. En primera instancia los autores consideraron el índice de pluviosidad de Lang (1915) como el adecuado para reflejar la vulnerabilidad en disposición de recursos hídricos

en el país. En el estudio para Chiapas determinan que la alta vulnerabilidad se debe a la frecuente exposición al estrés climático, en donde las causas principales son las lluvias intensas e inundaciones. Además, existe alta sensibilidad en los grupos vulnerables como los hogares con jefatura femenina, las comunidades indígenas y la alta población en pobreza alimentaria. Según los autores, la mayoría de los sectores del estado de Chiapas presenta vulnerabilidad media o alta ante el cambio climático (Figura 3).

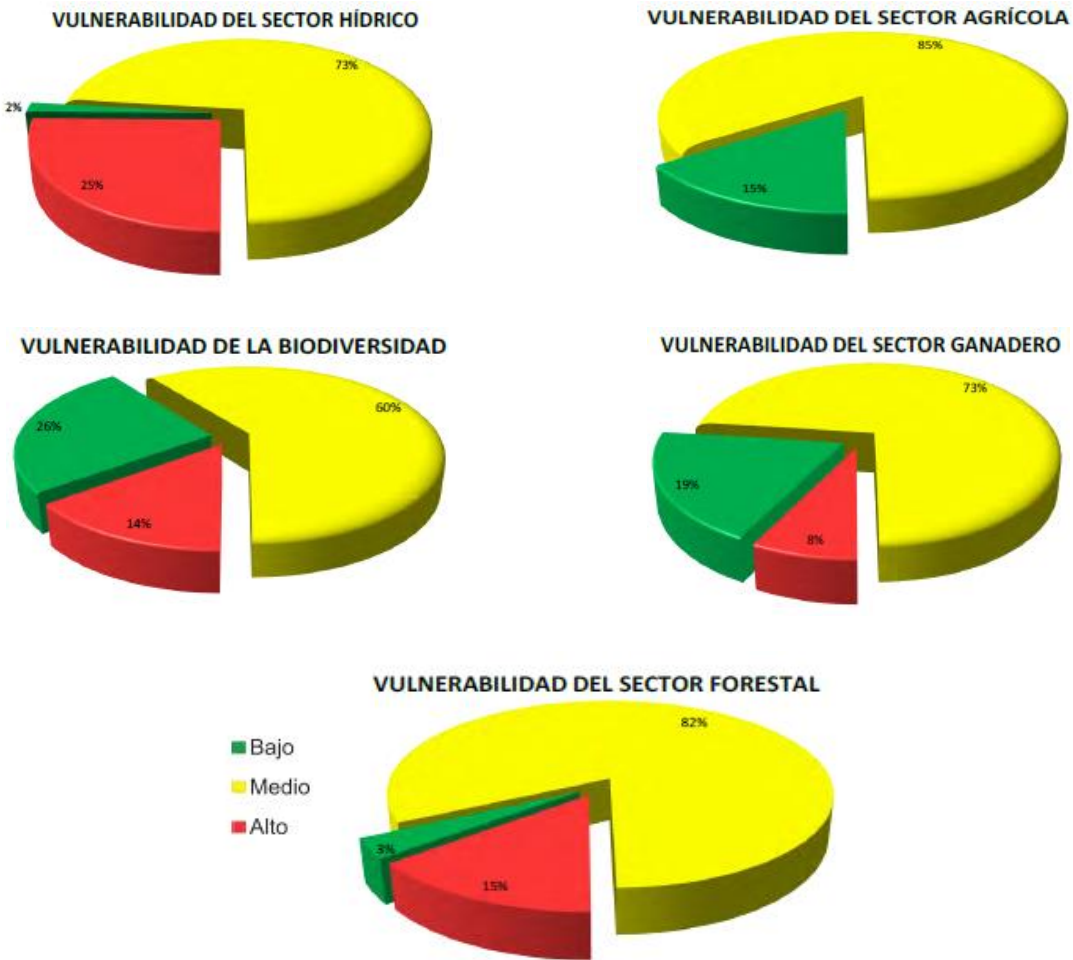


Figura 3: Vulnerabilidad por sectores en el estado de Chiapas. Fuente: Monterroso et, al. 2014.

Soares y García (2014), identificaron que los pobladores en comunidades de la cuenca de Jovel, perciben que las lluvias están empezando más tarde, concentrándose principalmente en septiembre y octubre. Los pobladores de la región también indican lluvias significativas cercanas a 300 mm en 24 horas, las cuales, combinadas con otros factores, elevan el potencial de riesgos para la población por derrumbes, deslaves e inundaciones de las partes bajas de las cuencas, lo que genera la pérdida de cultivos establecidos, siendo que estos últimos también son afectados por heladas que aparecen en período inusuales.

De acuerdo con Nigenda (2015), los resultados del Inventario Estatal de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (IEEGEI), las emisiones de GEI del estado de Chiapas al 2010, totalizaron 17,237.06 toneladas de CO<sub>2</sub>e (bióxido de carbono equivalente) en los sectores Energía, Procesos Industriales, Agricultura, USCUS y Desechos, de los cuales se identifica al sector Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura (USCUS) como la mayor fuente de emisión de GEI en el estado; dentro de esta categoría se identificó que los cambios de bosques y selva hacia los usos ganadero y agrícola contribuye en gran medida a las emisiones de GEI en el estado; aunado a lo anterior, se reconoció que la extracción de madera en rollo para uso comercial y consumo de leña, originan otra aportación considerable de emisiones de GEI para la región.

Orozco et al., (2016), investigan Índices de cambio climático en Chiapas en el período 1960-2009. A través de los datos de 16 estaciones climáticas distribuidas por el estado y con base a ocho índices climáticos establecidos con variables de

temperatura y precipitación, concluyen que la mayoría de los índices analizados presentaron tendencias al incremento, siendo de mayor importancia los cambios en la temperatura máxima extrema, rango diurno de temperatura, temperatura máxima más baja, y noches tropicales. Por su parte, no observaron una tendencia clara en cuanto a la precipitación, puesto que identificaron tendencias tanto positivas como negativas del índice de número de días consecutivos de lluvia. En general todos los índices basados en las temperaturas mostraron patrones de comportamiento similares y consistentes con tendencia al calentamiento.

Barrasa (2017), analizó las percepciones socioculturales de tres comunidades campesinas en la Reserva de la Biosfera La Encrucijada, en la Costa de Chiapas, México, acerca de su percepción de los cambios en el clima producidos en la región en las últimas décadas, y cómo estos cambios están afectando a sus modos de vida. Se realizaron entrevistas semiestructuradas a los adultos mayores de las comunidades de estudio para obtener información respecto a la percepción sobre el cambio climático. La apreciación generalizada es que el clima ha cambiado: hace más calor y ha cambiado el patrón de lluvias, retrasándose el inicio de la temporada, lo que afecta a las prácticas tradicionales de cultivo. A su vez, el autor hace mención de diversos estudios similares en los cuales indica que, en comunidades indígenas campesinas, tanto en la región de la selva como en los Altos, hay una percepción generalizada respecto al aumento en la temperatura y al cambio en el patrón de lluvias, con las inmediatas consecuencias sobre las actividades agrícolas.

Durante la segunda parte de la temporada de lluvias del 2020 CONAGUA, señaló tres eventos casi consecutivos que afectaron el sureste mexicano, el primero ocurrió a finales de septiembre y principio de octubre por el desarrollo de la tormenta tropical Gamma y su interacción con el frente frío 5; el segundo evento fue por el frente frío 9 al final de octubre y el consecutivo fue en los primeros días de noviembre por la interacción del huracán Eta con el frente frío 11. Con estos fenómenos, en Tabasco y en el norte de Chiapas se presentaron serias inundaciones, se registró una lluvia máxima de 450 mm en Villahermosa, Tabasco el 29 de octubre y de 304 mm en Tecpatán, Chiapas el 6 de noviembre.

Como es de observarse, todos estos estudios de muestran que Chiapas es situado en una zona susceptible ante los riesgos por fenómenos naturales, principalmente en la precipitación, por lo que es de suma importancia continuar con estudios de precipitación y la forma en cómo afectan al estado y a la población en general, en el caso de esta tesis se pretende identificar el posible comportamiento de la concentración de lluvia en los siguientes años.

## JUSTIFICACIÓN

Bajo la perspectiva del calentamiento global, el problema de la escasez de agua tiende a empeorar en aquellas regiones en las que ya se presenta déficit, sea por la tendencia de reducción de los niveles de precipitación o por el aumento de los niveles de evaporación y transpiración. (ONU-FAO, 2013). Chiapas se encuentra ubicado en la región productora de maíz y frijol en el sur de México, región que está habitada en gran parte por comunidades indígenas. Históricamente, el tamaño reducido de las fincas y la falta de capacidad productiva han ocasionado una extensa pobreza y grave degradación de la tierra en muchas regiones.

De acuerdo con CONAGUA (2019), la lluvia media anual en Chiapas son 2,024 mm aproximadamente, pero en los últimos cinco años, se han observado registros de lluvia inferiores a esa cantidad y esta situación comienza a repercutir en el abastecimiento de los mantos freáticos del estado y en los niveles hídricos en los embalses que provén de manera sustancial agua a diversas localidades del estado.

Por tal motivo, la identificación de zonas de alta concentración de lluvia y la realización de una proyección en el futuro inmediato al año 2050, pueden emplearse como herramientas que permitan 1) conocer lugares con tendencia a la aridez, puesto que la disminución de precipitación y de los mantos freáticos conlleva a estrés hídrico y en consecuencia, a la ausencia de la seguridad alimentaria; y 2) determinar zonas potenciales de captación de agua y de producción de alimentos.



## **HIPÓTESIS**

El estado de Chiapas presenta diferencias significativas en características orográficas tales como elevación, pendiente y orientación, las cuales pueden influir en la distribución espacial de lluvia; diferentes concentraciones de precipitación pueden establecerse de acuerdo a las características geomorfológicas y geográficas del estado, de igual forma se tiene conocimiento que la temporada lluviosa en el estado se presenta durante los meses de mayo a noviembre y que su variación a lo largo de los años no es homogénea, por lo anterior se plantea la siguiente hipótesis a demostrar:

“El índice de concentración de precipitación presenta variación distintiva a lo largo de los años dentro de las temporadas de lluvia”.

En caso de ser afirmativa la hipótesis se identificarían zonas con tendencia a estrés hídrico en las temporadas de lluvia, puesto que una mayor concentración de precipitación en solo unos meses causaría déficit de precipitación el resto del año, en caso contrario mayor dispersión de lluvia distribuida eliminaría la tendencia de aridez en el estado.

## **OBJETIVOS**

El objetivo de este trabajo es:

-Realizar el cálculo del índice de concentración de precipitación para generar proyección espacial y temporal hacia el futuro cercano 2050.

### **Objetivos específicos**

-Realizar una selección de estaciones climatológicas en el estado de Chiapas para organizar una base de datos de lluvia diaria de 1981 al 2018.

-Calcular el índice de concentración de precipitación para cada estación y en cada temporada de lluvia de 1981 a 2018.

-Determinar la concentración de precipitación con zonas de alta y de baja concentración de lluvia en el estado de Chiapas.

-Analizar el índice de concentración de forma temporal para realizar la proyección de concentración de precipitación en el futuro cercano 2050.

## ÁREA DE ESTUDIO

El presente trabajo tiene como fin calcular y presentar el índice de concentración de precipitación en Chiapas, que es un estado situado en el sureste mexicano entre los meridianos 90 y 95° W, así como entre las latitudes 14 y 17°N. Chiapas colinda al Norte con Tabasco al Oeste con Oaxaca y parte de Veracruz, al Sur con el océano Pacífico y al Este con la República de Guatemala. Tiene una extensión territorial de 74,415 km<sup>2</sup>, en donde se incluyen 124 municipios en 15 regiones socio-económicas, las cuales se muestran en la figura 4.

### Chiapas



Figura 4. Mapa de regiones socioeconómicas del estado de Chiapas. Fuente: CEIEG (2020).

De igual forma el estado se divide en siete regiones fisiográficas (Figura 5), que se definen por las formas del relieve, identificadas y definidas a partir del análisis integral de la información topográfica, geológica, hidrológica y edafológica, para formar unidades relativamente homogéneas.

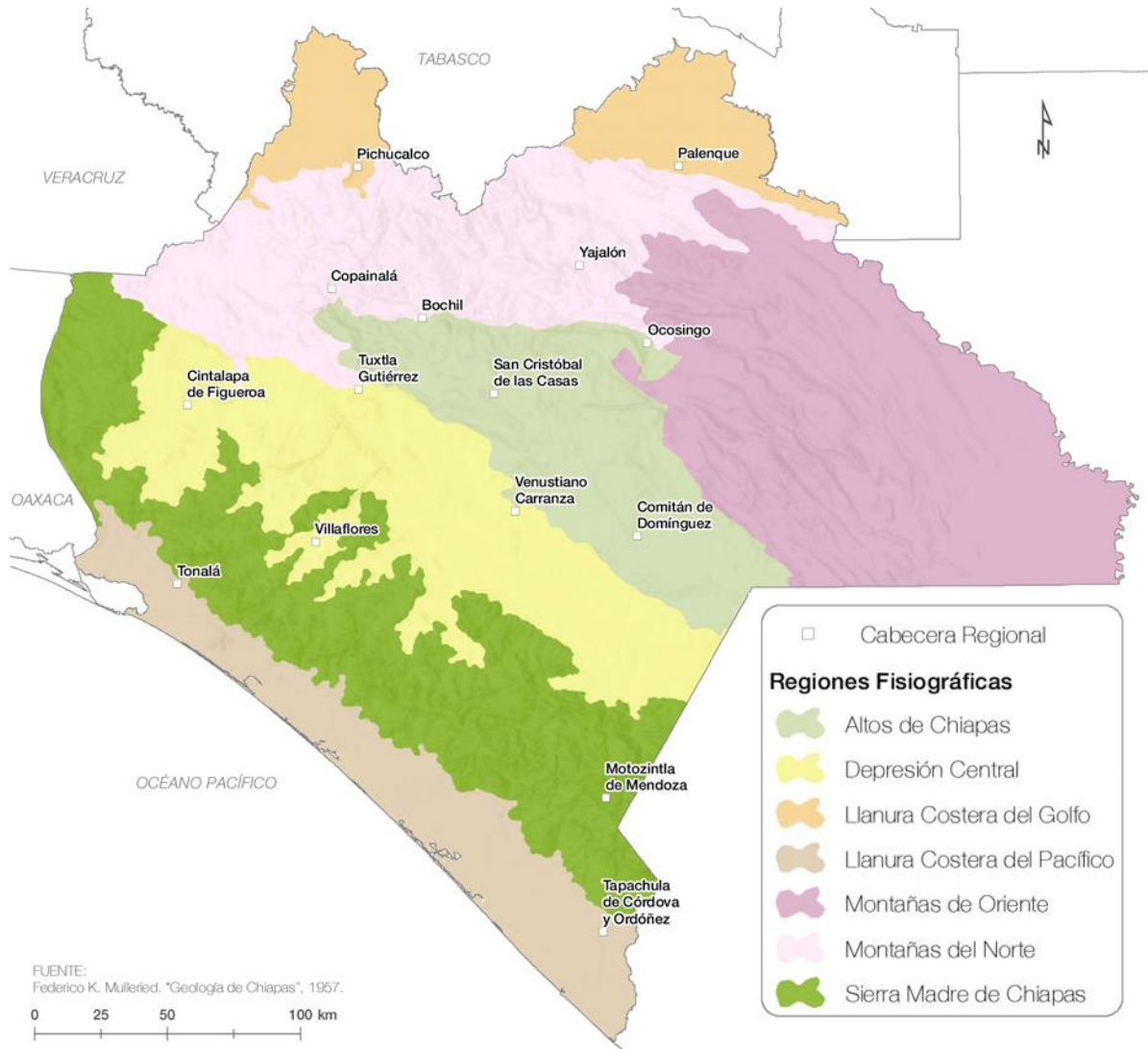


Figura 5. Mapa de regiones fisiográficas del estado de Chiapas. Fuente: CEIEG (2020).

La división hidrográfica del estado de Chiapas se encuentra establecida por las regiones hidrológicas (Figura 6): Costa de Chiapas, que comprende las cuencas

Mar Muerto, Pijijiapan y otros, Huixtla y otros, así como Suchiate y otros. Por su parte la cuenca Grijalva-Usumacinta comprende las cuencas Grijalva - La Concordia, Grijalva -Tuxtla Gutiérrez, Grijalva - Villahermosa, Usumacinta, Chixoy y Lacantún; en total, en ambas cuencas hidrológicas se contemplan 57 ríos de mayor importancia para el estado (CIGECH, 2020).

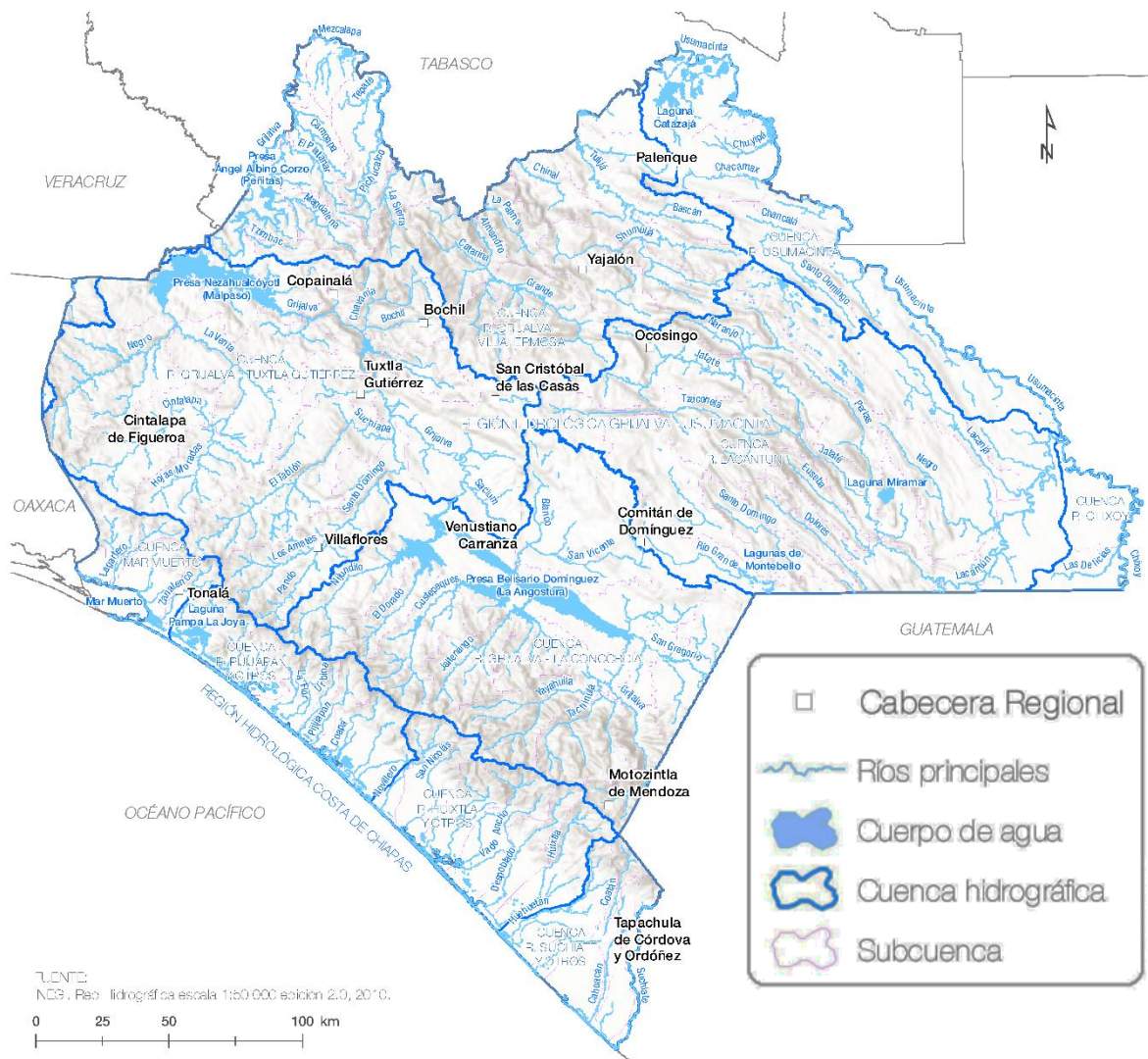


Figura 6. Mapa de regiones hidrográficas del estado de Chiapas. Fuente: CEIEG (2020).

De acuerdo con CIGECH (2020), el clima preponderante en el estado es cálido húmedo con lluvias todo el año para la zona norte y lluvia abundante en verano para el oriente y sur, asimismo en la zona central se observan parámetros de lluvia en verano; en el resto de las regiones predominan climas semicálidos húmedos y subhúmedos, así como templados húmedos y subhúmedos con lluvias en verano (figura 7).

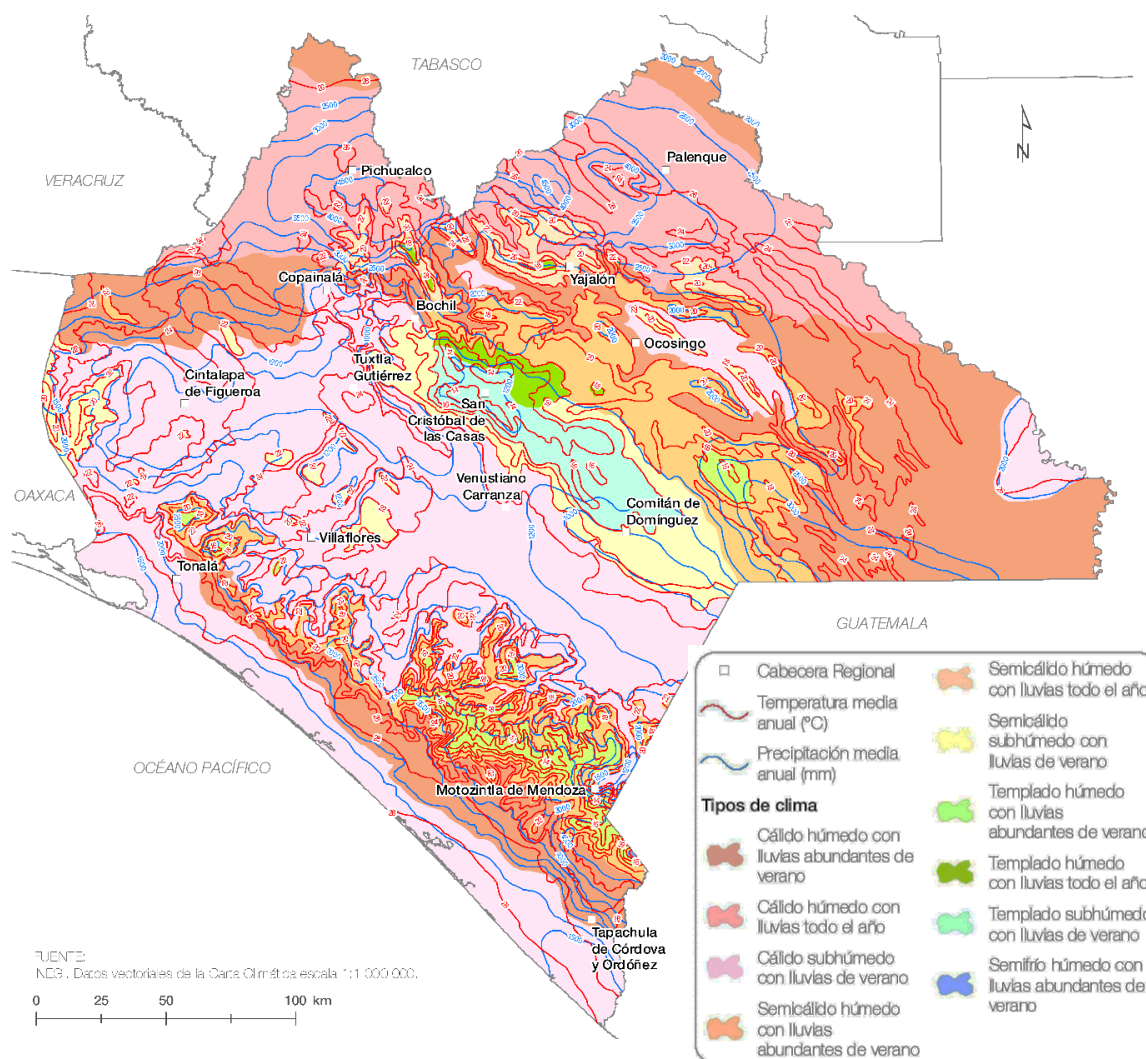


Figura 7. Mapa de climas en el estado de Chiapas. Fuente: CEIEG (2020).

La precipitación total anual con base en información de Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2021), muestra que Chiapas como uno de los lugares más lluviosos de nuestro país, compartiendo posiciones con Tabasco, norte de Oaxaca y sur de Veracruz.

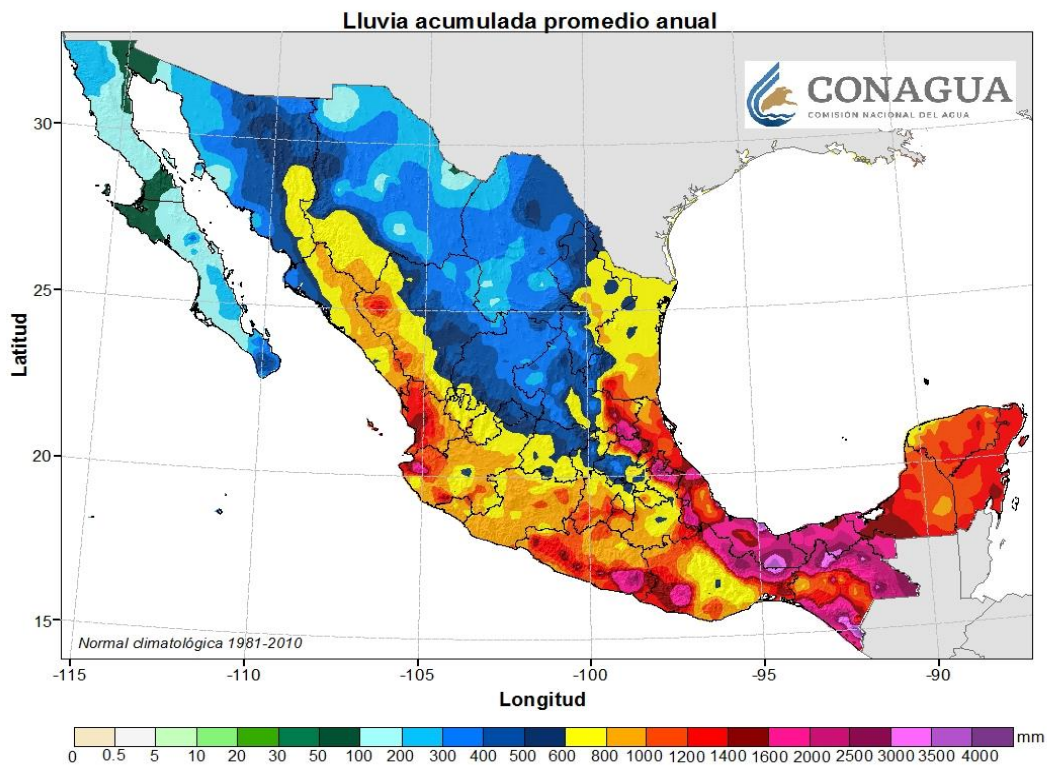


Figura 8. Mapa de lluvia normal climatológica de 1981 a 2010. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional (2021).

La precipitación en el estado oscila entre 800 mm a 4,000 mm (Figura 8), en gran parte del estado la lluvia media anual rebasa los 2,500 mm, siendo que en la franja central del estado, existen mínimos de lluvia media anual con valores de 800 a 1,200 mm, los máximos de lluvia entre 3,000 y 4,000 mm se observan para las zonas Istmo-Costa, Soconusco, Sierra, de forma aislada en Selva y Maya, así como también de forma relativamente dispersa en Bosques y Norte, aunque en estos dos

últimos lugares la climatología establece lluvia la mayor parte del año, en el resto de las regiones se presentan lluvias de verano.

Durante 2019 la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, mediante el Sistema de Información Agroalimentario y Pesquero (SIAP) a través del CEIEG (2021), reportó 1,360,320 hectáreas sembradas con 60 cultivos genéricos, dicha extensión corresponde aproximadamente al 18% del territorio estatal con una cosecha de 1,308,287 hectáreas en ese año; entre 2012 y 2019, la superficie sembrada se redujo 5.7% y la cosechada 6.8% (Figura 9).

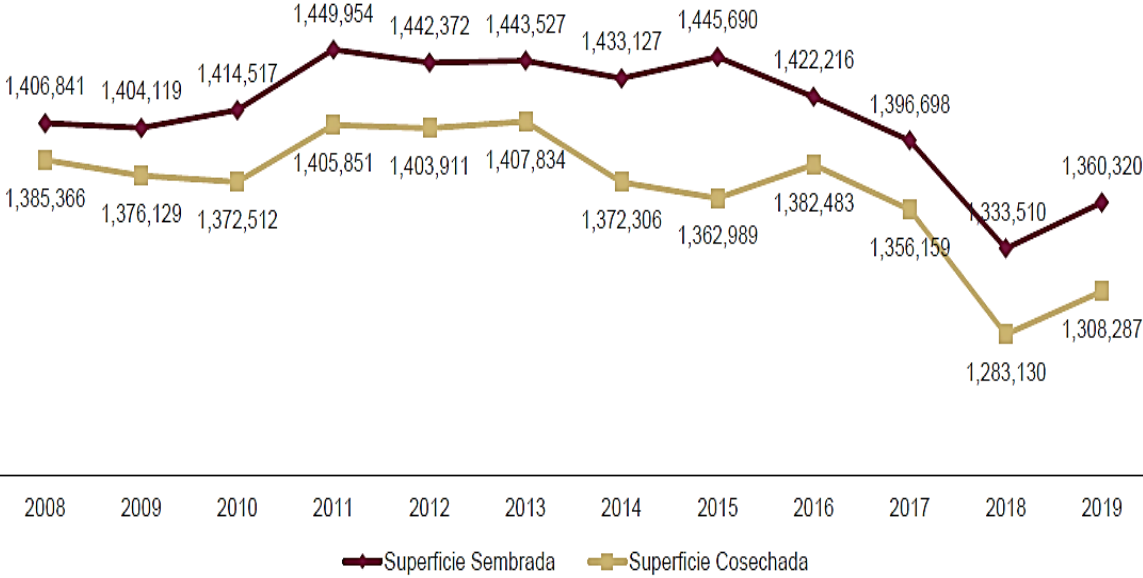


Figura 9. Superficie sembrada y cosechada en Chiapas en el período 2008 a 2019. Fuente: CEIEG (2021).

En ese mismo sentido, CEIEG (2021) indica que la producción agrícola en Chiapas se constituye en su mayoría de cultivos de maíz de grano, caña de azúcar, café cereza, plátano, pastos y praderas, mango, frijol, palma africana y de aceite,



papaya, tomate rojo, cacao y aguacate. Los tres principales cultivos de árboles frutales, plátano, mango y papaya, ocupan 4.7% de la superficie sembrada y aportan 21.1% del valor de la producción. La caña de azúcar con 13.8% es el cultivo con destino industrial que mayor valor aporta, ocupando 2.5% del total de la superficie sembrada. La producción de pastos y praderas aporta 4.8% del valor de la producción ocupando 4.8% de la superficie sembrada, mientras el maíz aporta el 25.7% del valor de producción ocupando 50.1% de la superficie sembrada.

Los servicios comunales, sociales y personales son importantes en el Estado y representan el 31.8% del PIB estatal; predominan micro y pequeñas industrias dedicadas a ensamblar partes automotrices, producción refresquera, empaques de frutas, procesamiento de café y cacao, elaboración de embutidos, maquila de productos textiles y producción de artesanías. Entre las grandes industrias con presencia en la entidad, destacan las plantas hidroeléctricas de la Comisión Federal de Electricidad, y la producción y refinación de hidrocarburos por parte de Petróleos Mexicanos, no obstante que la electricidad, el gas y el agua aportan el 8.9 % al PIB Estatal, no es considerada como un recurso para el ingreso estatal por su carácter de industria federal. (SAGARPA, 2010).

La vulnerabilidad es un proceso histórico y social, los factores externos cambian constantemente en el tiempo y espacio debido a acciones de múltiples atributos de los actores sociales (Ruiz et al., 2017). En todas las esferas antes descritas el Estado de Chiapas se encuentra expuesto ante variaciones por cuestiones climáticas, es decir, con la diversidad ambiental, el grado de marginación

y pobreza extrema, el cambio climático amenaza la seguridad alimentaria, social y biológica en el Estado.

## METODOLOGÍA

### 1. Selección de estaciones.

Con base en información de lluvia diaria del período de 1981 a 2018 de estaciones climatológicas convencionales pertenecientes a CONAGUA, se calculó el índice de concentración de Gini, el cual es una medida de la irregularidad de lluvia en una región en particular. Inicialmente se realizó una propuesta basada en distribuir estaciones con un espaciamiento entre cada una de ellas de 40 a 50 km con la intención de que los cálculos del índice pudieran ser representativos del estado (Figura 10).

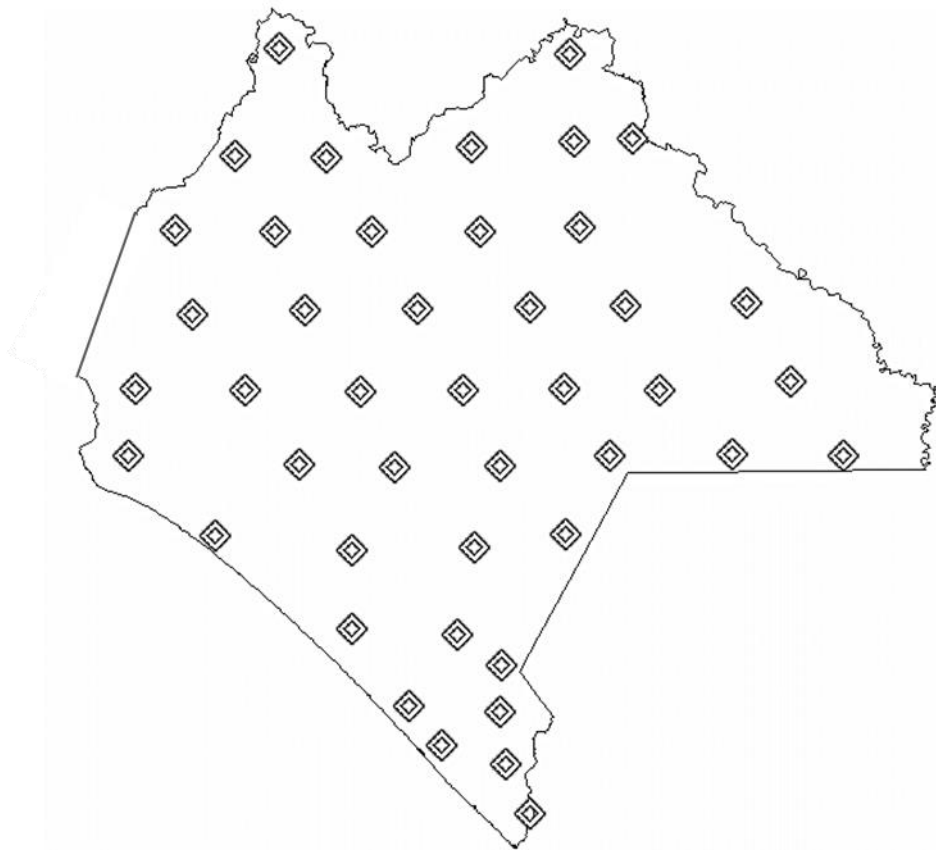


Figura 10. Propuesta teórica de estaciones convencionales para el cálculo del índice de concentración de precipitación. Fuente: Elaboración propia

A través de la CONAGUA se obtuvo información de lluvia diaria en el período 1981 al 2018 de 36 estaciones climatológicas convencionales (Figura 11), las cuales fueron seleccionadas de acuerdo a la propuesta teórica de estaciones y de acuerdo a la cantidad de datos para el período.

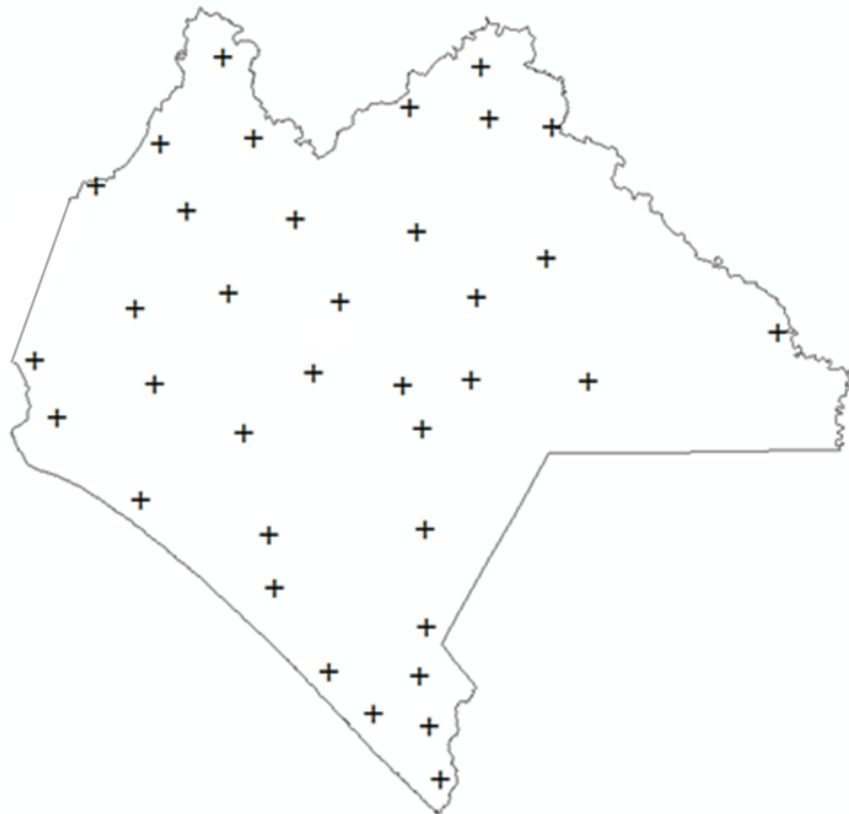


Figura 11. Estaciones climatológicas convencionales obtenidas para el cálculo del índice de concentración de precipitación. Fuente: Elaboración propia con base en la distribución de estaciones climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional de la CONAGUA.

Las zonas carentes de estaciones que se observa en la figura 11 resultaron de la falta de estaciones climatológicas convencionales en lugares de difícil acceso tanto físico como social y de la ausencia de datos de lluvia en distintos períodos,

necesarios para este estudio. El estudio se enfocó en la temporada de lluvias exclusivamente, es decir, se calculó el índice de concentración de precipitación anualmente para el período de mayo a noviembre para cada estación. Los resultados se interpolaron para representarlos gráficamente en el estado de Chiapas a través del sistema de información geográfica ArcGIS 10.3.

### 1.1 Análisis de datos.

De la recopilación de información de lluvia diaria, se analizaron los datos faltantes de las estaciones climatológicas convencionales. En caso de que alguna estación contara con períodos faltantes de registros esta se descartó o sustituyó por alguna otra estación cercana que presentara valores en los segmentos de análisis.

## 2. Índice de Gini

El índice de Gini, utilizado comúnmente en economía, es una medida de desigualdad de los ingresos de una población con un valor numérico que se encuentra entre 0 y 1, donde el 0 corresponde a la perfecta igualdad y el 1 corresponde a la perfecta desigualdad (Gastwirth, 1972; Kuan, 2003- como fue citado en Martín-Vide, 2003). De acuerdo con Martín (2003), este índice también puede ser utilizado para medir la concentración de la precipitación a partir de datos de lluvia y lo evalúa en un intervalo de 0 (cuando es uniformemente distribuida a lo largo del año) y 1 (precipitación anual acumulada en solo unos días); así pues, los valores cercanos a cero indican lluvia presente en la mayoría de los días y de forma contraria, valores cercanos a 1 indicarían lluvia presente en la minoría de los días.

## 2.1 Tablas de distribución.

Para evaluar el índice de Gini fue necesario realizar tablas de distribución de frecuencias, frecuencias relativas acumuladas y porcentajes acumulados de la cantidad de precipitación diaria como la que se muestra en la Tabla 1, la cual se realizó por cada estación y por cada temporada de registro.

Tabla 1. Ejemplo de distribución de frecuencias para la evaluación el índice de concentración de precipitación.

Clase	Marca de clase	N	$\Sigma N$	P	$\Sigma P$	$\Sigma N (\%)$ X	$\Sigma P (\%)$ Y
$X_1 \leq X < X_2$	$M_1$	$N_1$	$N_i$	$P_1$	$P_1$	$(\Sigma N_1 / N_n) \times 100$	$(\Sigma P_1 / P_n) \times 100$
$X_2 \leq X < X_3$	$M_2$	$N_2$	$N_1+N_2$	$P_2$	$P_1+P_2$	$(\Sigma N_2 / N_n) \times 100$	$(\Sigma P_2 / P_n) \times 100$
$X_3 \leq X < X_4$	$M_3$	$N_3$	$N_2+N_3$	$P_3$	$P_2+P_3$	$(\Sigma N_3 / N_n) \times 100$	$(\Sigma P_3 / P_n) \times 100$
:	:	:	:	:	:	:	:
:	:	:	:	:	:	:	:
$X_{n-1} \leq X < X_n$	$M_n$	$N_n$	$N_{n-1}+N_n$	$P_n$	$P_{n-1}+P_n$	$(\Sigma N_n / N_n) \times 100$	$(\Sigma P_n / P_n) \times 100$

Fuente: Elaboración propia.

En la primera columna de la Tabla 1, se presentan las clases ordenadas de manera creciente; en la segunda columna se muestra la marca de clase (M). La columna encabezada por N, muestra el número de días de precipitación con la cantidad dentro de cada intervalo, es decir, la frecuencia absoluta. La cuarta columna es la frecuencia acumulada ( $\Sigma N$ ) para los días con precipitación, obtenida de la suma de las clases inferiores hasta la considerada. Para obtener la columna P, que es el aporte pluviométrico total de cada clase, se realiza el producto de la segunda por la tercera columna, para cada clase. La sexta columna ( $\Sigma P$ ) es la frecuencia acumulada del aporte pluviométrico, es decir, la acumulación progresiva

de la columna anterior, obteniendo así, para la última clase, la cantidad total de precipitación registrada durante el período de estudio. Las columnas séptima (X) y octava (Y) son los porcentajes obtenidos de las columnas cuarta y sexta, respectivamente.

## 2.2 Curva de concentración de Lorenz.

En función del número de días de precipitación acumulados ( $\sum Ni$ ) en %, frente a la cantidad de precipitación acumulada ( $\sum Pi$ ) en % que se obtuvieron en la tabla de distribución (columnas 7 y 8), se pudo obtener para cada estación una curva de concentración de Lorenz. La curva de concentración de Lorenz es una curva poligonal, la cual es unida en sus extremos por un segmento de recta que es supuesta o ideal y representa una equidistribución (Figura 12).

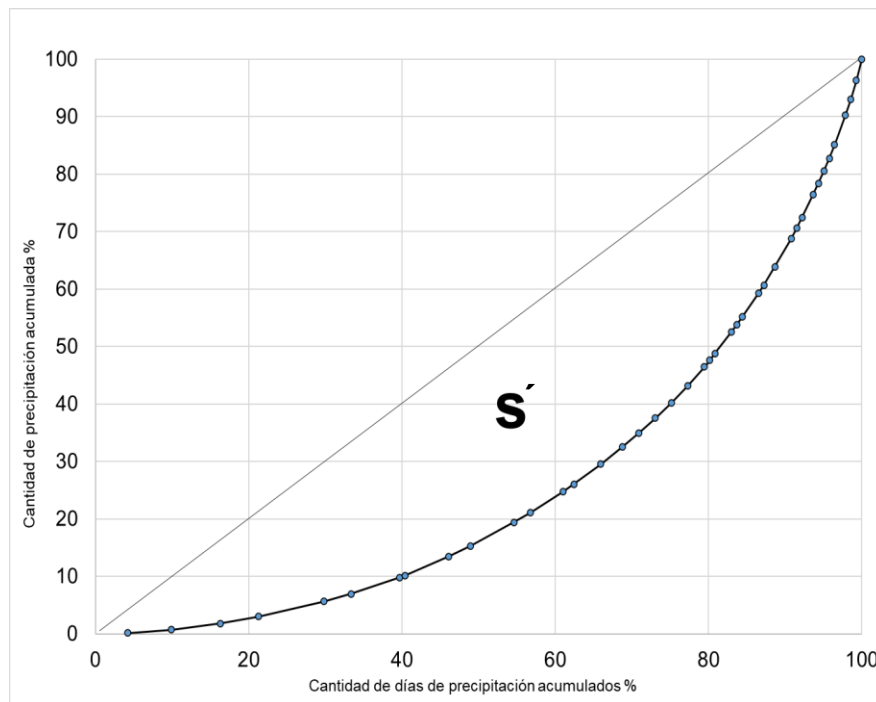


Figura 12. Ejemplo de curva de concentración de Lorenz. El parámetro  $S'$  indica la irregularidad.

Fuente. Elaboración propia. Adaptado de: El tiempo y el clima. Martín-Vide 2003.

En el caso que la precipitación a lo largo del período de estudio fuera idéntica todos los días, se formaría una recta de equidistribución, en donde el 50% de los días representaría el 50% de la lluvia acumulada al año, sin embargo, en la realidad la lluvia se distribuye en el tiempo de diferentes formas, entonces, en un ejemplo, es posible que en algún momento el 70% de los días con lluvia solo representen el 20 o 40 % del acumulado anual, con ello se observaría una distribución de lluvia que se aleja de la recta de equidistribución como lo muestra la figura 12, dicha separación es lo que se conoce como irregularidad, como lo explica Martín-Vide (2003), “el área que se encuentra en el segmento supuesto y la curva de concentración, determina una medida de la irregularidad”.

### 2.3 Índice de Gini aplicado a la precipitación.

Una vez obtenida la irregularidad, para cuantificarla se utilizó el índice de Gini, que es determinado a partir de la ecuación:

$$\text{Índice} = \frac{2S'}{10000} \quad \text{Ecuación (1)}$$

En donde  $S'$  es el área real de la figura (Figura 12).

La ecuación anterior se pudo mejorar al sustituir las poligonales por curvas exponenciales que se ajustaron de mejor manera:

$$y = AXe^{bx} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde  $X$  es la variable independiente de la curva “ $y$ ”, mientras que  $A$  y  $b$  son constantes de ajuste en la curva, que se determinan por el método de mínimos cuadrados.



$$\ln A = \frac{\sum X_i^2 \sum \ln Y_i + \sum X_i \sum X_i \ln X_i - \sum X_i^2 \sum \ln X_i - \sum X_i \sum X_i \ln Y_i}{N * \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad \text{Ecuación (3)}$$

$$b = \frac{N * \sum X_i \ln Y_i + \sum X_i \sum \ln X_i - N * \sum X_i \ln X_i - \sum X_i \sum \ln Y_i}{N * \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2} \quad \text{Ecuación (4)}$$

Después de obtener los valores de las constantes A y b, la integral definida de la curva exponencial entre 0 y 100, equivale a:

$$y = \frac{A}{b} \left[ e^{100b} \left( 100 - \frac{1}{b} \right) + \frac{1}{b} \right] \quad \text{Ecuación (5)}$$

El área del triángulo hipotético es 5000, al restarle el área “y” resulta S’, con el valor S’ se definió el índice de concentración de precipitación cuya expresión es:

$$I = \frac{S'}{5000} \quad \text{Ecuación (6)}$$

El índice mostrado en la ecuación 6 está establecido para un intervalo entre 0 y 1, que indican parámetros de perfecta igualdad o desigualdad respectivamente.

Una vez calculado el índice de concentración de Gini (que se puede establecer como índice de concentración de precipitación, ICP) de cada estación en las temporadas de lluvia del período de 1981 a 2018, se realizó un análisis de los parámetros obtenidos con ayuda de métodos gráficos y de información geográfica, asimismo se identificaron tendencias, distribuciones espaciales y temporales del índice de concentración.

## RESULTADOS

En la tabla 2 se detallan las estaciones climatológicas convencionales de la CONAGUA que fueron seleccionadas para el estudio.

**Tabla 2.** Estaciones climatológicas convencionales de la Comisión Nacional el Agua en el estado de Chiapas.

Clave	Nombre	Municipio	Lat. N			Long. O			Altitud (msnmm)
			°	'	"	°	'	"	
7006	ALTAMIRANO (SMN)	ALTAMIRANO	16	44	25	92	2	14	1249
7012	FINCA ARGOVIA	TAPACHULA	15	7	34	92	17	54	611
7022	PLAYAS DE CATAZAJÁ	CATAZAJÁ	17	43	41	92	1	0	6
7028	CHACAMAX	PALENQUE	17	28	21	91	42	10	6
7037	FINCA CUXTEPEQUES	LA CONCORDIA	15	43	51	92	57	55	997
7045	EL DORADO	SUCHIATE	14	40	49	92	12	32	20
7055	FINCA CHAYABE	LAS MARGARITAS	16	23	2	91	32	48	1410
7065	FINCA OCOTLÁN	VILLAFLORES	16	22	17	93	28	27	650
7085	PALENQUE (SMN)	PALENQUE	17	30	33	91	58	56	60
7086	LA ANGOSTURA (CFE)	ACALA	16	25	11	92	46	4	500
7087	LA CABAÑA	SAN CRISTÓBAL DE LAS CASAS	16	43	32	92	38	59	2118
7094	LA MESILLA	TZIMOL	16	11	3	92	17	5	630
7102	LAS FLORES	JIQUIPILAS	16	41	45	93	33	40	491
7106	LAS PEÑITAS	OSTUACÁN	17	24	3	93	27	0	110
7112	MALPASO PRESA	TECPATÁN	17	13	25	93	44	13	124
7114	YAQUINTELA	OCOSINGO	16	54	35	91	43	44	610
7141	SALTO DE AGUA (DGE)	SALTO DE AGUA	17	33	30	92	20	0	10
7153	SANTA CRUZ	REFORMA	17	46	26	93	10	9	41
7178	YAMONHÓ	TECPÁN	17	7	0	93	19	50	280
7182	ARRIAGA (DGE)	ARRIAGA	16	13	53	93	54	16	64
7200	TAPACHULA (DGE)	TAPACHULA	14	54	29	92	15	38	170
7202	TUXTLA GUTIÉRREZ (DGE)	TUXTLA GUTIÉRREZ	16	45	47	93	8	50	577
7208	NOVILLERO	MAPASTEPEC	15	30	5	92	56	34	72
7217	SOLOSUCHIAPA	SOLOSUCHIAPA	17	25	44	93	2	0	175
7224	CHICOMUSELO	CHICOMUSELO	15	45	6	92	16	25	550

**Tabla 2.** Continuación.

Clave	Nombre	Municipio	Lat. N			Long. O			Altitud (msnmm)
			°	'	"	°	'	"	
7228	TRES PICOS	TONALÁ	15	52	36	93	32	0	22
7236	REVOLUCIÓN MEXICANA	VILLA CORZO	16	9	47	93	4	35	540
7320	SALVACIÓN	VILLA COMALTITLÁN	15	8	42	92	42	6	8
7331	VILLA LAS ROSAS	LAS ROSAS	16	22	5	92	22	11	1320
7333	BUENOS AIRES	MOTOZINTLA	15	20	1	92	16	4	1831
7336	PLAN DE IGUALA	HUEHUETÁN	14	57	35	92	30	14	16
7337	LACANTÚN (CFE)	OCOSINGO	16	34	51	90	42	8	120
7355	UNIÓN ZARAGOZA	JITOTOL	17	4	53	92	50	47	1727
7362	ROSENDO SALAZAR	CINTALAPA	16	28	20	94	0	16	725
7389	SITALÁ	SITALÁ	17	1	22	92	18	27	1100
7391	YASHA	LAS MARGARITAS	16	23	29	92	4	4	1751

De la sección de estaciones convencionales climatológicas se consideró una escala diaria de lluvia como lo indica el método, se realizó el análisis de datos faltantes en cada año de registro, los años que presentaron dos o más meses con huecos en la temporada de lluvias se designaron como “total”, no obstante, en los años en los que solo faltó un mes dentro de la temporada de lluvia se denominaron como “parcial”, ya que puede reducirse el error durante la temporada en observación.

Derivado del análisis, se observa que la mayoría de las estaciones cuentan con al menos un parcial, aunque, tres estaciones (7045, 7200 y 7391) presentan el período completo. Por su parte el año 1983 cuenta con once estaciones con parciales y la estación con mayor número de parciales fue la estación 7037, con once casos (Tabla 3).

Tabla 3. Listado de estaciones climatológicas convencionales con datos parciales de 1981 a 2018.

CLAVE CLICOM	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	TOTAL	
7006																																				X			1	
7012																																				X			1	
7022	X				X				X					X																				X				5		
7028		X	X		X				X							X																			X				6	
7037						X			X								X			X	X	X				X			X		X	X	X					11		
7045																																							0	
7055																		X							X													2		
7065			X	X			X		X									X	X							X													6	
7085																				X										X									2	
7086									X											X																			2	
7087			X		X		X			X														X		X													6	
7094	X		X			X																		X		X									X				4	
7102				X															X												X								3	
7106		X	X																																				2	
7112			X															X																					2	
7114		X										X							X									X											4	
7141				X				X																															2	
7153	X		X					X						X					X				X								X		X						8	
7178								X										X		X																			3	
7182			X							X					X																									3
7200																																								0
7202																							X																1	
7208			X																																					1
7217				X														X					X																3	
7224																											X									X	X			3
7228																			X																				1	
7236				X										X		X																							3	
7320				X		X				X								X	X															X					6	
7331			X									X															X												X	4
7333	X								X		X												X				X											X	6	
7336			X	X		X												X																			X	X		7
7337								X			X							X	X	X																			5	
7355				X	X	X																									X				X				5	
7362		X	X																												X				X		X		6	
7389											X	X	X	X	X																X								6	
7391																																								0
TOTAL	4	4	11	5	7	3	5	2	7	2	2	5	2	3	3	2	3	7	6	6	2	2	2	1	1	5	1	0	1	7	1	3	3	3	1	5	1	2		

Nota. El símbolo “X”, representa el año en el que se presentó un dato parcial.

En cuanto a los años con totales (Tabla 4), se destaca el año 1986, en el que se tienen datos totales en once estaciones; por otro lado, la estación 7085 presentó once años totales.

Tabla 4. Listado de estaciones climatológicas convencionales y los años con datos faltantes anuales de 1981 a 2018.

CLAVE CLICOM	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	TOTAL	
7006					X																																	2		
7012																																	X	X					2	
7022						X									X																								2	
7028						X																												X	X	X	X		5	
7037																																							0	
7045																																X	X	X	X			X	X	6
7055																			X																				1	
7065					X																						X							X		X			4	
7085	X	X	X		X	X			X																X										X	X	X	X	11	
7086																																							0	
7087																																							0	
7094				X																				X															2	
7102																																							0	
7106				X	X	X	X						X									X																	6	
7112						X									X			X	X	X																	X		6	
7114		X	X											X			X																						4	
7141						X																																	1	
7153				X	X			X												X	X	X																	6	
7178																																							0	
7182	X																											X	X										3	
7200																																							0	
7202																																							0	
7208									X					X	X																								3	
7217										X										X					X											X			4	
7224		X	X				X	X	X	X	X	X	X					X		X	X	X				X														10
7228																			X	X	X	X	X																	5
7236								X			X											X																		4
7320		X												X																							X	X	4	
7331													X					X																		X	X		4	
7333						X																X																X	3	
7336																									X															2
7337			X	X	X	X	X	X																																5
7355	X																																						1	
7362	X																																				X	X	3	
7389	X	X	X	X																																				4
7391	X	X	X	X	X	X	X																																	7
TOTAL	5	4	6	7	6	11	3	3	3	2	2	0	4	2	2	1	4	2	4	3	6	3	2	1	2	0	2	1	0	0	1	3	3	4	2	5	6	5		

Nota. El símbolo "X", representa el año en el que se presentó un dato total.

De los resultados del análisis de datos faltantes, resultó la estación 7153 Santa Cruz, Reforma, como la estación con 14 años de datos faltantes tanto parciales como anuales, le precedieron las estaciones 7085 y 7224 con 13 años.

Hasta el momento, de acuerdo al análisis espacial de las estaciones climatológicas convencionales y debido a la resolución diaria que se empleará en el estudio, es conveniente dejar los espacios en blanco para el cálculo del índice, es decir, en los años faltantes se representará como espacio en blanco, puesto que cada estación presenta características particulares como altitud, situación geográfica y topográfica. A través de los cálculos del método, se obtuvo un índice de concentración de precipitación (ICP) para cada estación (Figura 13).

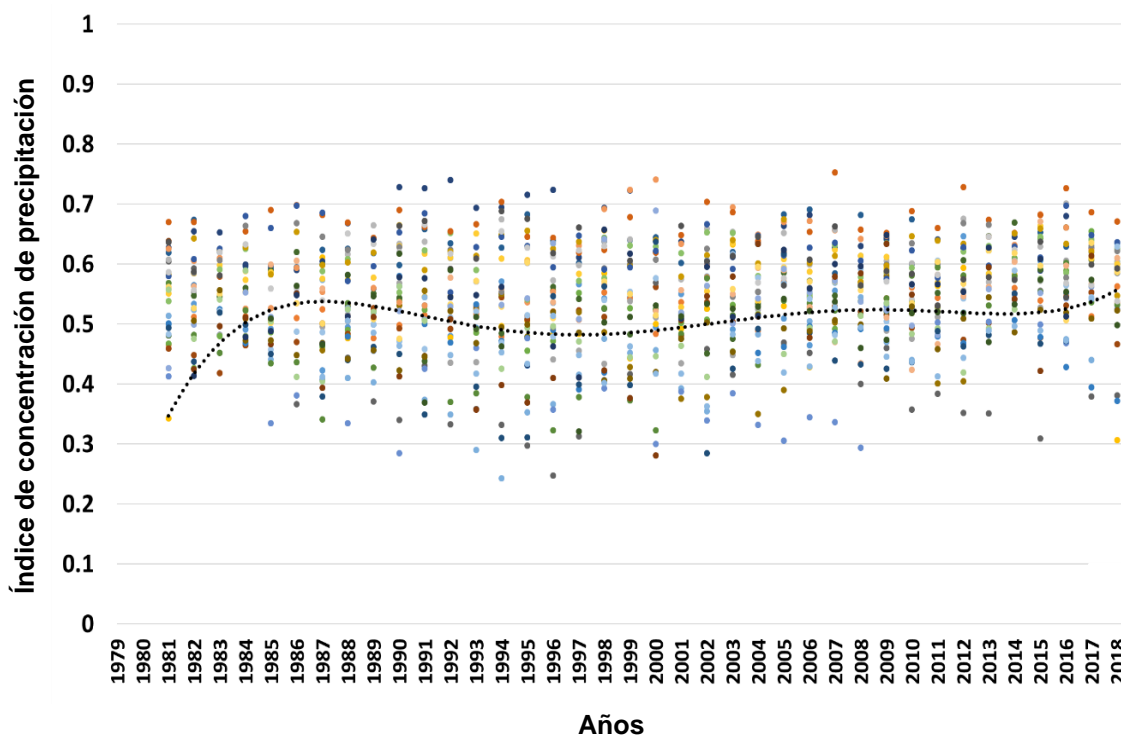


Figura 13. Índice de concentración de precipitación (ICP) aplicado a la lluvia diaria dentro de las temporadas de lluvia de 1981 a 2018 en cada una de las estaciones de estudio. (Cada punto representa una estación en un año en particular y el valor correspondiente es el índice de concentración para ese año).

El cálculo del índice de concentración de precipitación se realizó para cada estación climatológica y para cada año del período 1981 a 2018, luego para cada

año se determinó el índice de concentración en Chiapas mediante la ponderación de los índices de concentración de precipitación con el objetivo de asumir un solo valor de concentración de lluvia; y poder identificar la distribución temporal del índice en el estado (Figura 14).

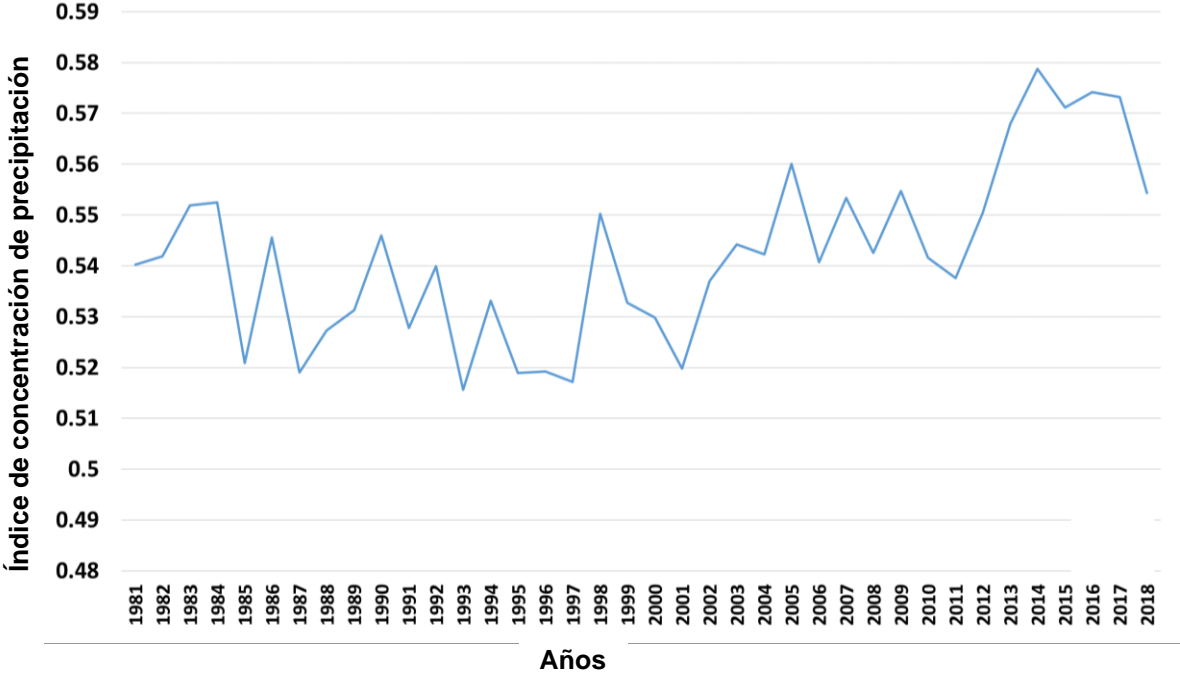


Figura 14. Distribución temporal del índice de concentración de precipitación (ICP) aplicado a la lluvia diaria dentro de las temporadas de lluvia de 1981 a 2018 en el estado de Chiapas.

En la figura 14 se observa que en el período de 1981 a 1996 el índice de concentración de lluvia para el estado de Chiapas oscila entre los valores 0.55 y 0.51 con una tendencia de disminución; por su parte de 1997 a 2018 se observa una tendencia de incremento con oscilación ente 0.52 y 0.57. En valor numérico, el índice de concentración de precipitación en las temporadas de lluvia en Chiapas resulta con una concentración de 0.54 en la serie temporal. La distribución espacial

del índice muestra valores altos de concentración de lluvia sobre la mitad occidental del estado, así como en el extremo oriente y sur; en el resto del estado se observan zonas de baja concentración de lluvia dentro de la temporada (Figura 15).

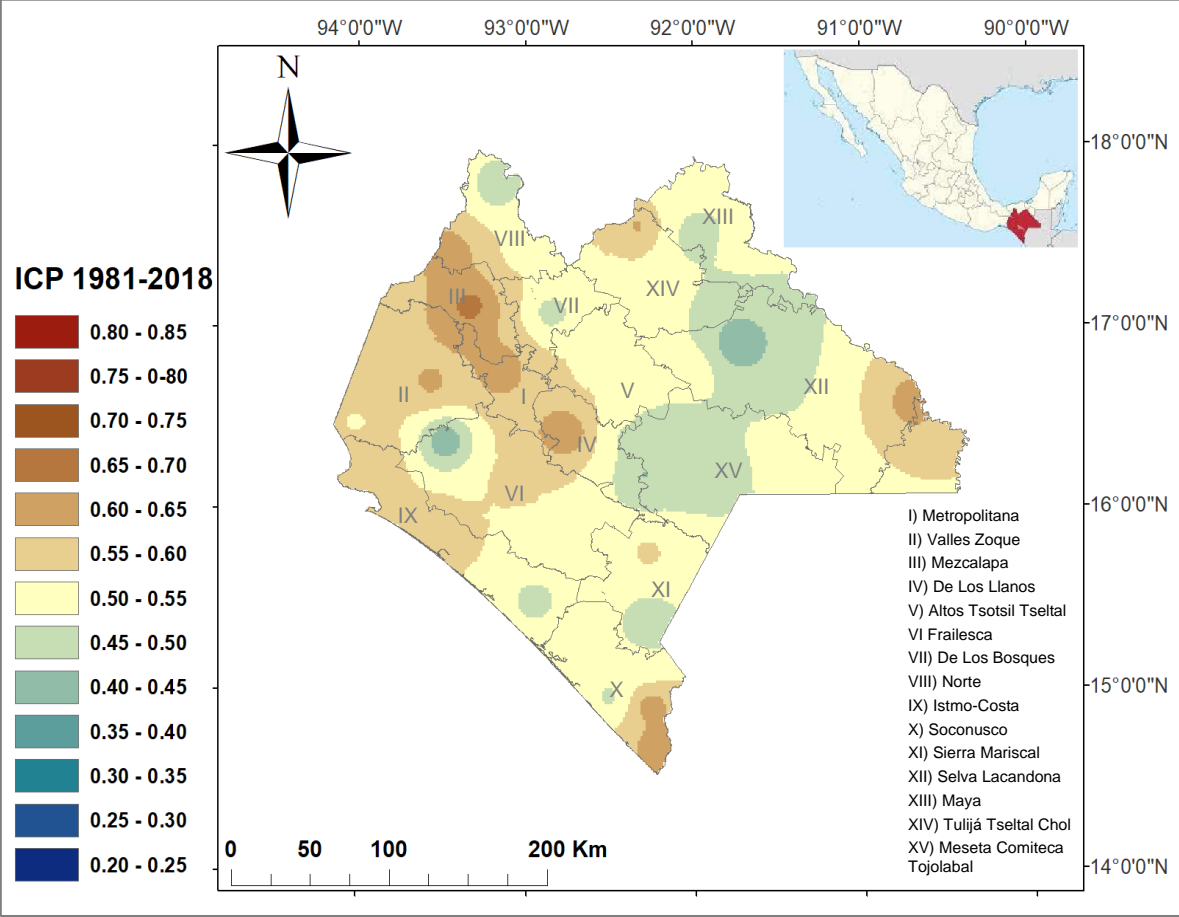


Figura 15. Distribución espacial del índice de concentración de precipitación (ICP) aplicado a la lluvia diaria de las temporadas de lluvia de 1981 a 2018 en el estado de Chiapas con regiones socioeconómicas.

El índice de concentración en la figura 15, se observa con distribución desigual en el estado de Chiapas de forma temporal de 1981 a 2018; de igual forma se identifican concentraciones entre 0.55 y 0.70 sobre Valle Zoque, Mezcalapa,



Metropolitana, Llanos, Istmo-Costa, Soconusco y Selva; en tanto que, las zonas con valores mínimos de 0.40 a 0.50 se observan con menos predominio sobre Meseta Comiteca, Selva, Maya y Tulijá, así como de forma aislada en Frailesca; en general el predominio del índice en el estado es de 0.50 a 0.55, lo que indica ligera concentración de lluvia en la temporada de mayo a noviembre sobre el período de 1981 a 2018.

Una vez obtenida la serie de datos para el índice de concentración, se realizó un análisis del índice de concentración con medias móviles de 5 y 10 años (Figuras 16 y 17).

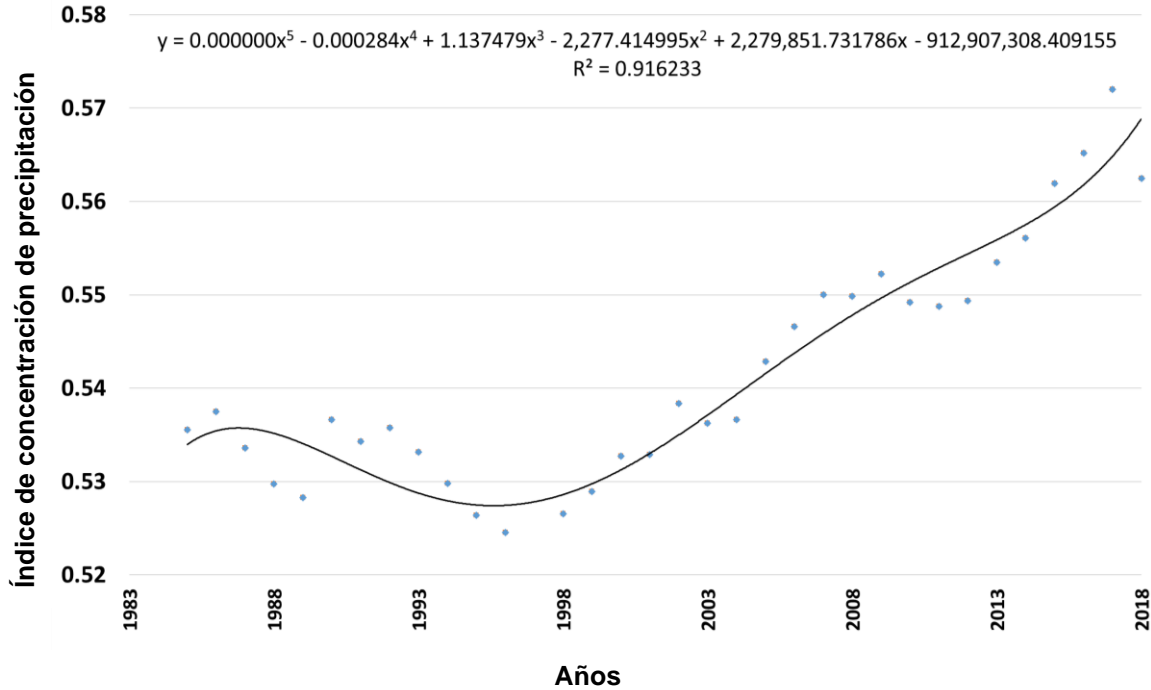


Figura 16. Media móvil de 5 años del índice de concentración de precipitación (ICP) aplicado a la lluvia diaria dentro de las temporadas de lluvia de 1981 a 2018 en el estado de Chiapas.

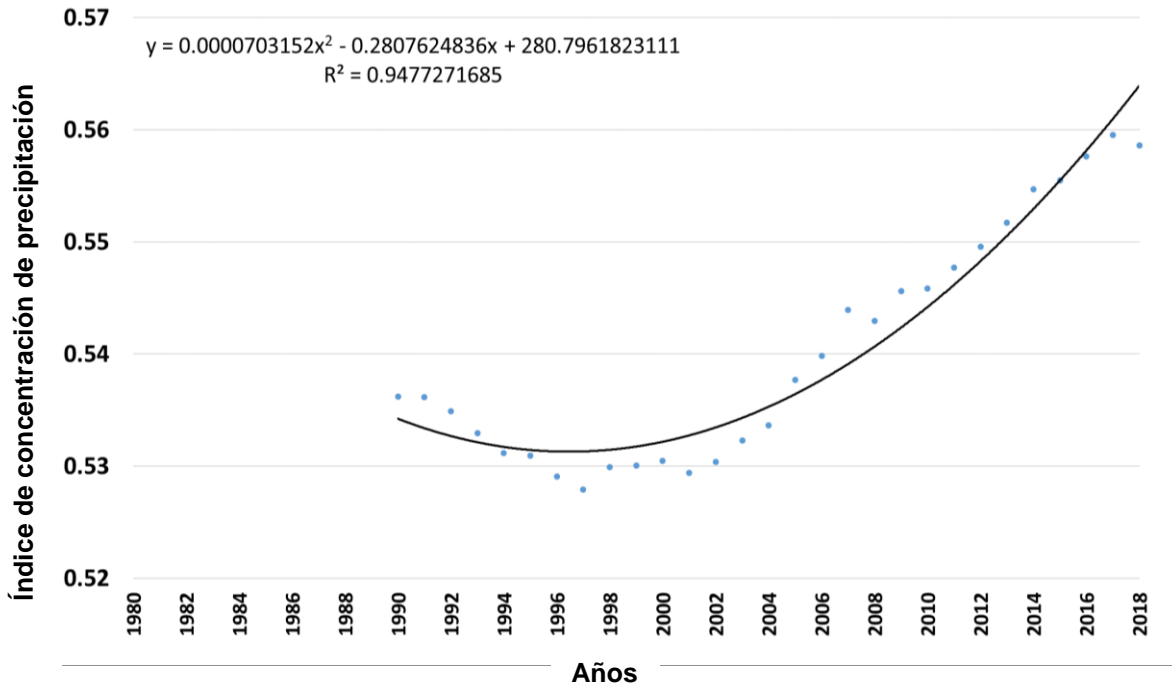
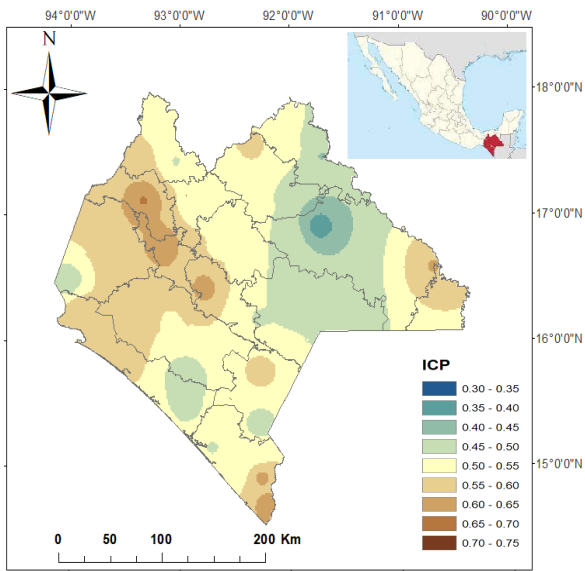


Figura 17. Media móvil de 10 años del índice de concentración de precipitación (ICP) aplicado a la lluvia diaria dentro de las temporadas de lluvia de 1981 a 2018 en el estado de Chiapas.

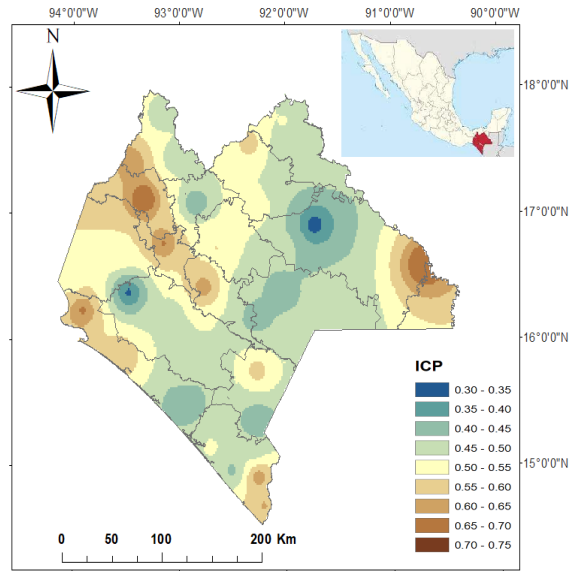
De acuerdo a la irregularidad del comportamiento del índice de concentración, el empleo de medias móviles facilitó identificar la tendencia del índice. De los análisis resultantes, las medias móviles de 5 y 10 períodos mostraron un comportamiento exponencial en el índice, lo que facilitó la proyección en períodos posteriores a 2018 (Figura 17).

A continuación, se presentan los mapas de Chiapas con el índice de concentración en promedios de 5 y 10 años, en los cuales se pueden identificar los cambios en la distribución espacial de las concentraciones de lluvia en diferentes períodos (Figuras 18 a 20).

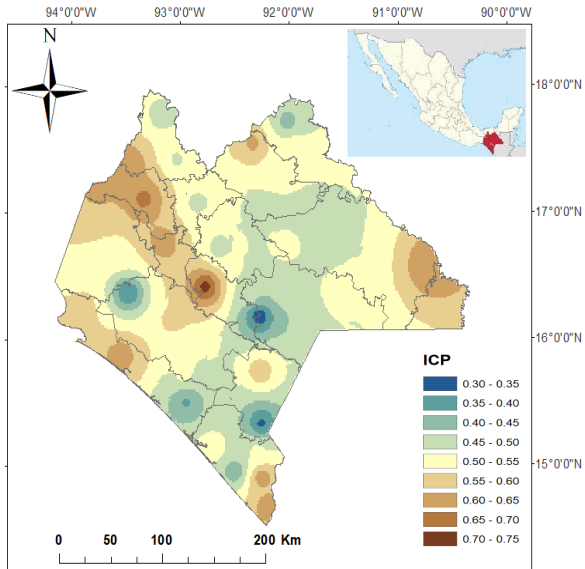
1981-1985



1986-1990



1991-1995



1996-2000

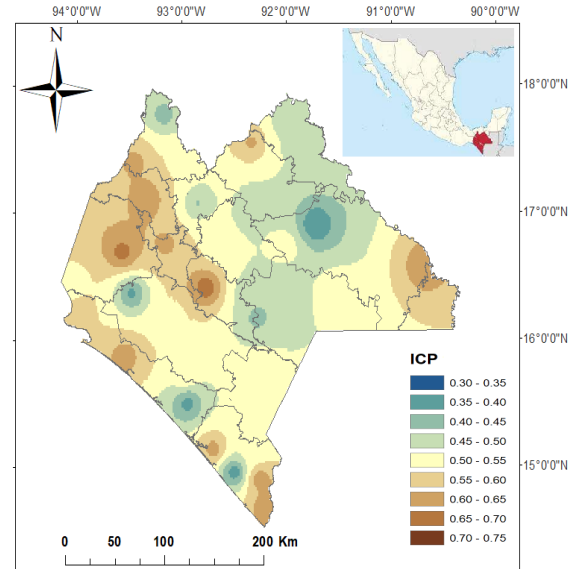
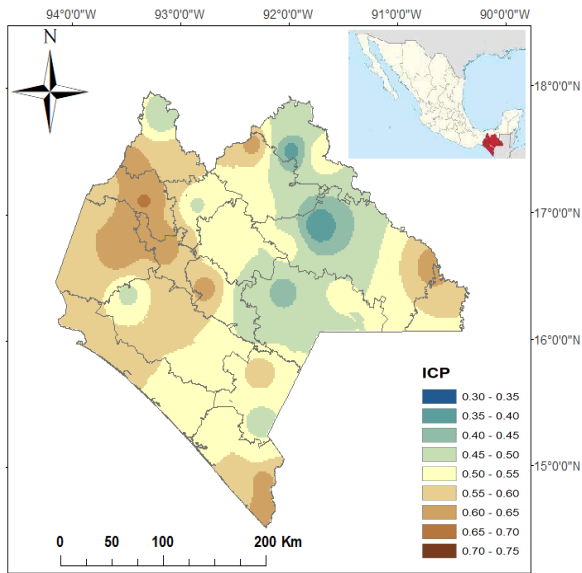
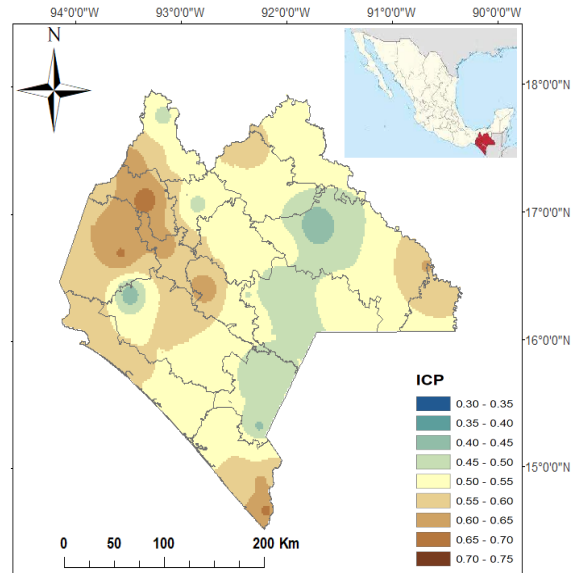


Figura 18. Distribución espacial del índice de concentración de precipitación (ICP) aplicado a la lluvia diaria dentro de las temporadas de lluvia con promedios de 5 años en el período de 1981 a 2000.

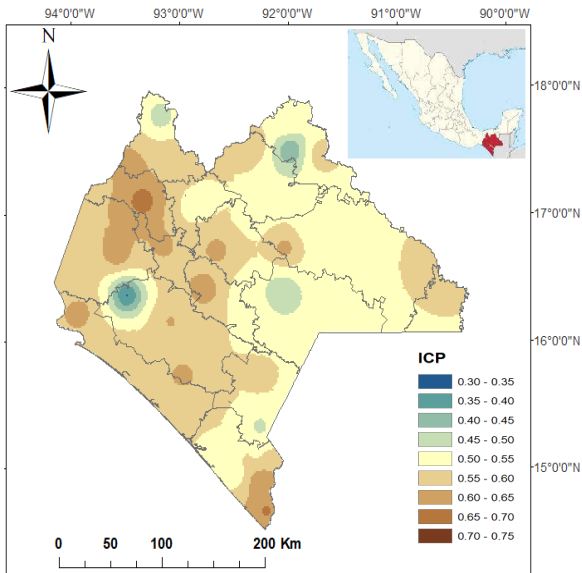
2001-2005



2006-2010



2011-2015



2016-2018

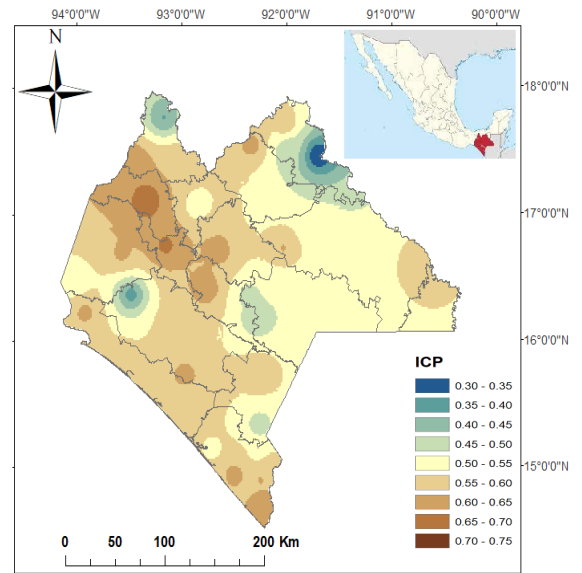
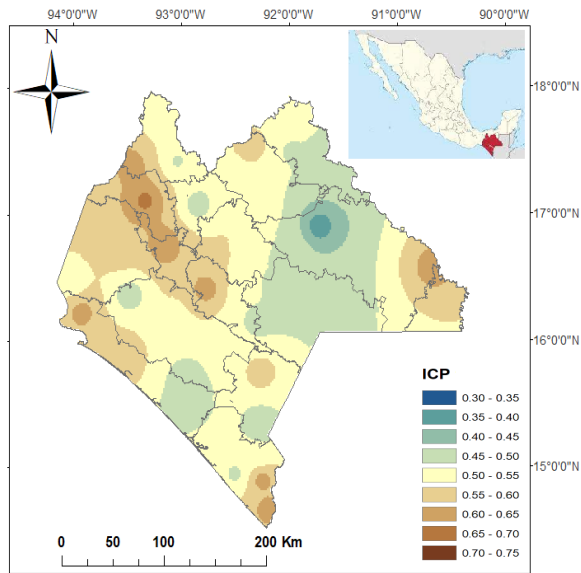
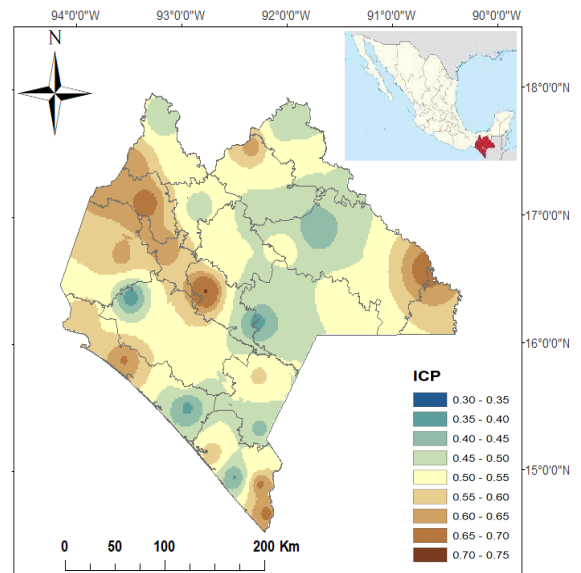


Figura 19. Distribución espacial del índice de concentración de precipitación (ICP) aplicado a la lluvia diaria dentro de las temporadas de lluvia con promedios de 5 años en el período de 2000 a 2018.

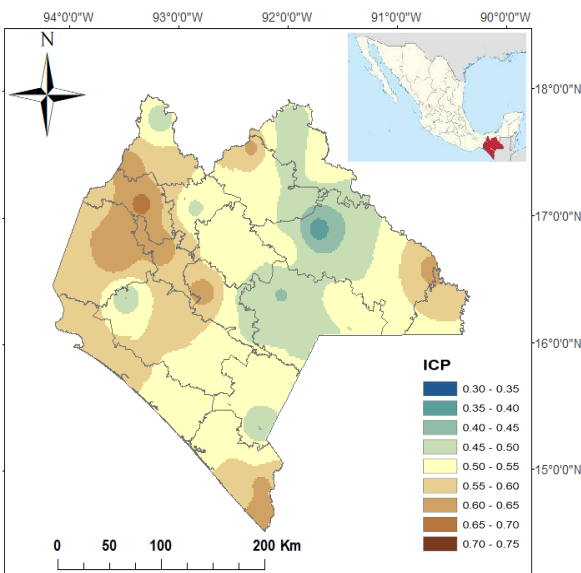
1981-1990



1991-2000



2001-2010



2011-2018

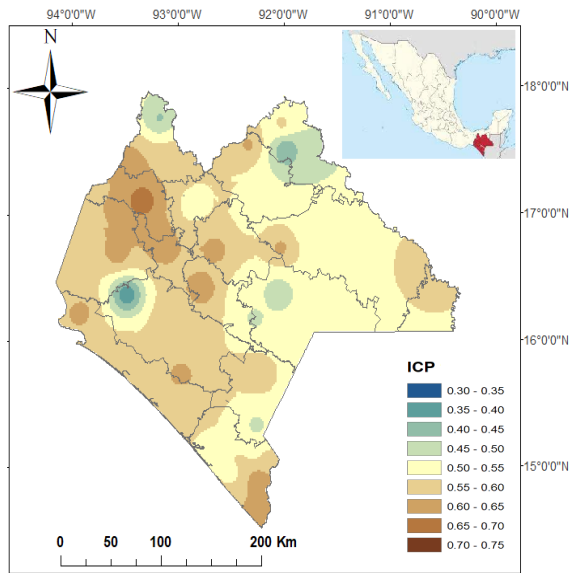


Figura 20. Distribución espacial del índice de concentración de precipitación (ICP) aplicado a la lluvia diaria dentro de las temporadas de lluvia con promedios de 10 años en el período de 1981 a 2018.

De manera complementaria, se realizó el promedio de los primeros 20 años del período de estudio y, consecutivamente, se promediaron 18 años del 2001 a 2018. Los resultados se observan en la figura 21.

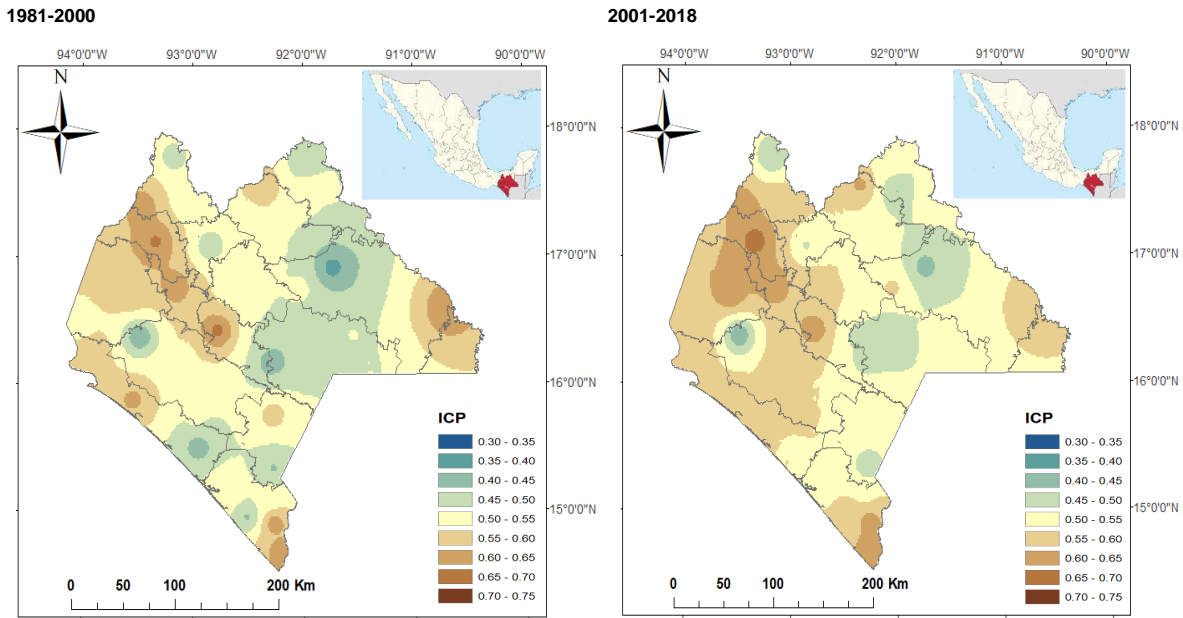


Figura 21. Distribución espacial del índice de concentración de precipitación (ICP) aplicado a la lluvia diaria dentro de las temporadas de lluvia con promedios de 20 y 18 años a partir de 1981 a 2018.

Los cambios en la tendencia del índice de concentración de precipitación se observan mejor en los promedios de 20 y 18 años, es decir, de 1981 a 2000 y de 2001 a 2018, con ello resultaron las figuras 22 y 23.

La figura 22 muestra la correlación de los índices entre el primer y segundo período con promedios de 20 y 18 años. Se observa una dispersión entre los valores de cada estación; el factor de error es de cerca de 28%, lo cual sugiere la diferencia entre uno y otro período. La variación se puede identificar al realizar la resta de los índices del 2001-2018 y de 1981-2000, con ello se obtiene la figura 23.

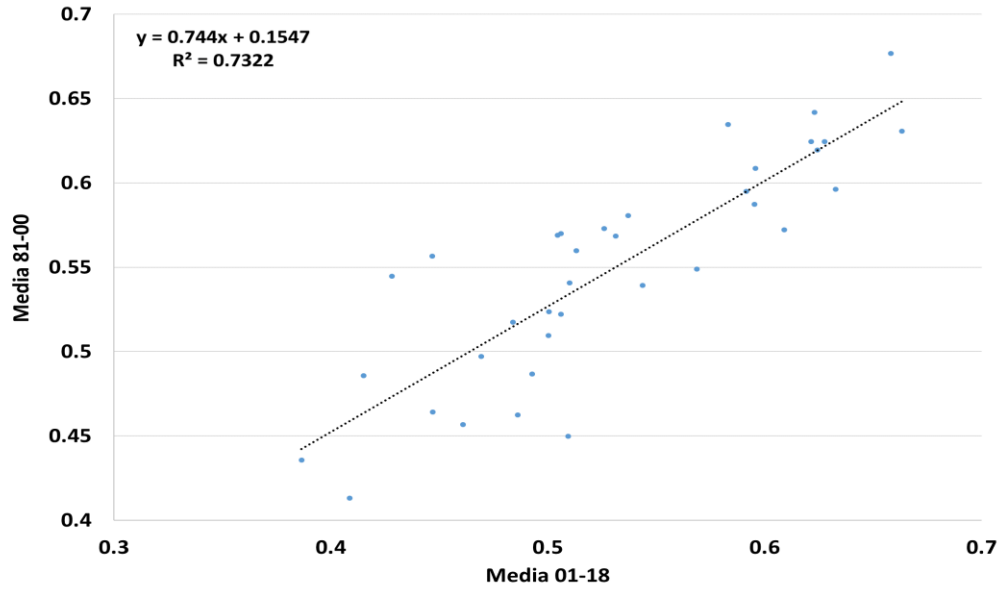


Figura 22. Correlación entre el promedio de los índices para cada estación de 1981 al 2000 y del 2001 al 2018.

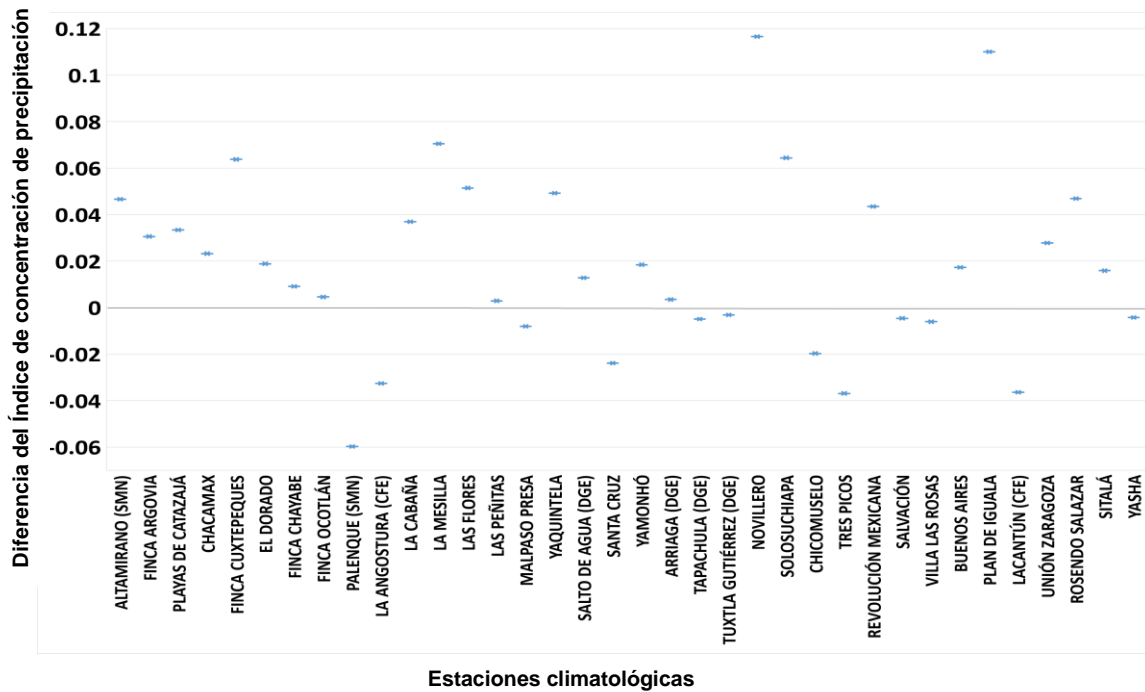


Figura 23. Cambio del promedio de los índices para cada estación de 1981 a 2000 y de 2001 a 2018.

En la figura 23 se destaca el aumento de concentración en 24 estaciones,

siendo los mayores incrementos entre 0.10 y 0.12; en tanto que en 12 estaciones se observa la disminución del índice, con valores máximos de 0.03 y 0.05. Con base en lo anterior, se identifica que la tendencia positiva del índice ocurre en la mayoría de las estaciones de análisis. El incremento de la concentración de precipitación en el último período, corresponde al 66.7% de las estaciones, de forma contraria, solo 33.3% de las estaciones muestran tendencia de disminución en el índice; es decir, la precipitación en el estado de Chiapas dentro de la temporada de lluvia presenta tendencia a concentrarse en algunos meses de la temporada

La proyección temporal del índice de concentración en promedio para el estado de Chiapas en el futuro cercano al 2050; se determinó con la ecuación obtenida en el promedio móvil de 10 años (Figura 24).

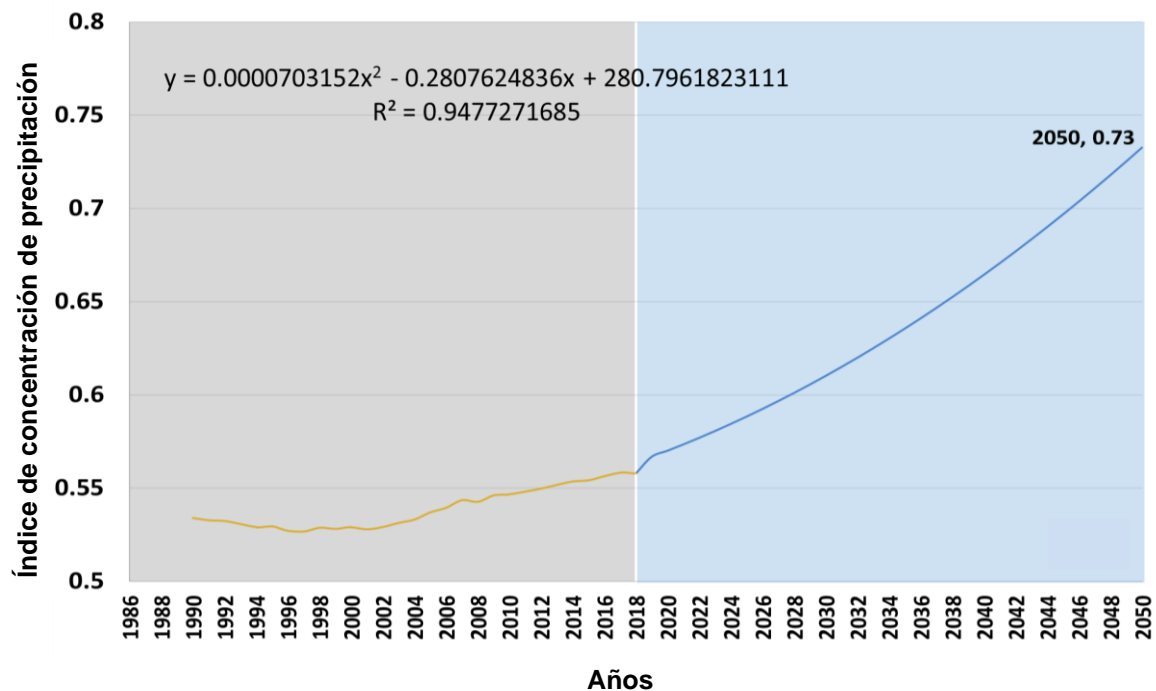


Figura 24. Proyección de índice de concentración de precipitación (ICP) en el estado de Chiapas del 2019 al 2050.



De acuerdo con la figura 24, la tendencia del índice de concentración de precipitación presenta un incremento en la proyección para el 2050, de forma general el índice de concentración podrá situarse cerca de 0.73, sin embargo, debido al error de 0.053 que indica la ecuación, a la misma proyección se le sumó y se restó la cantidad del error resultante para obtener dos muestras más de datos, con las cuales también se determinaron los valores a para el 2050 como se indica en la figura 25.

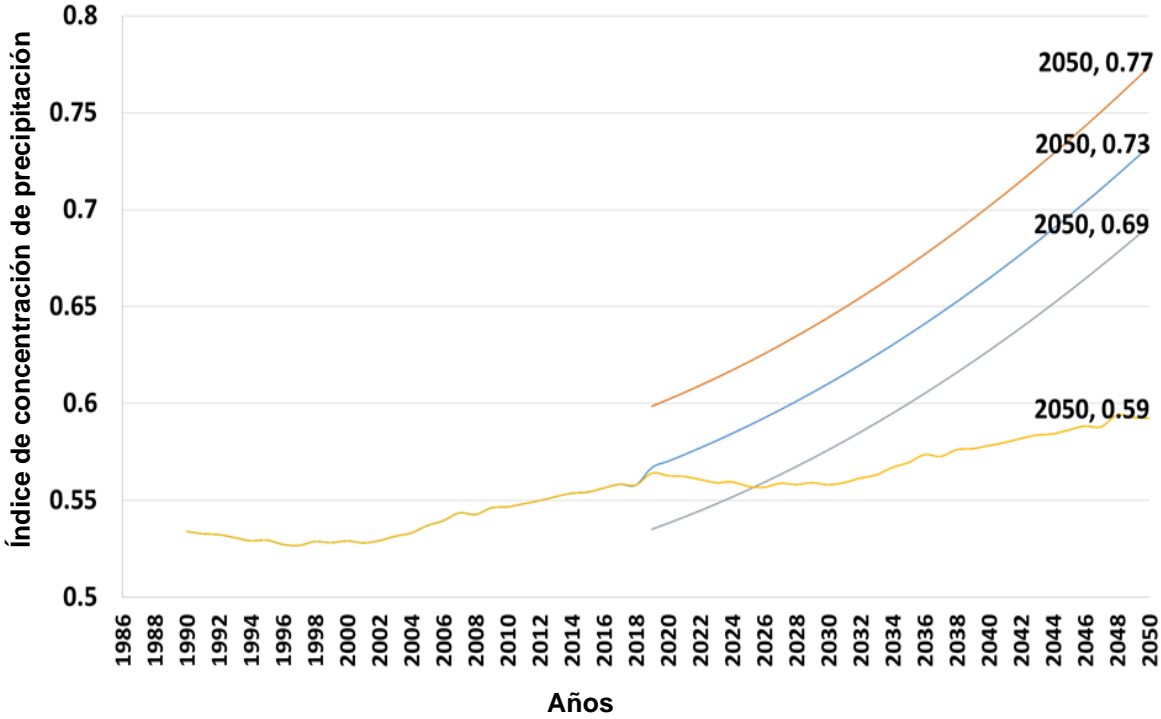


Figura 25. Proyección de índice de concentración de precipitación (ICP) en el estado de Chiapas del 2019 al 2050, bajo cuatro escenarios hipotéticos.

Además, se determinó la diferencia entre el mínimo y el máximo de la serie de media móvil de 10 años de 1991 a 2018; y el resultado fue de 0.03, esta cantidad se sumó al comportamiento de índice de 1981 a 2018 con el fin de dar continuidad

a la serie y con ello se produjo otro escenario hipotético de 2019 a 2047; posteriormente, a los datos hipotéticos de 2019, 2010 y 2021 también se les aplicó el mismo método para obtener los valores hipotéticos de 2048, 2049 y 2050, esta última proyección también se incluyó en la figura 25. En este último escenario se obtuvo un valor de concentración de 0.54 en 2030 y de 0.59 en 2050. En antecedente, de forma puntual se han registrado máximos de concentración de 0.72 en 2012 en la estación Yamonhó, Tecpatán, y máximo promedio en el estado de 0.57 en 2014, los valores proyectados del índice para 2030 y 2050 se encuentran en los parámetros ocurridos en el estado.

En las figuras 26 y 27, se muestra la distribución espacial de índice de concentración obtenido a través de la tendencia de cada estación para 2030 y 2050 de forma respectiva.

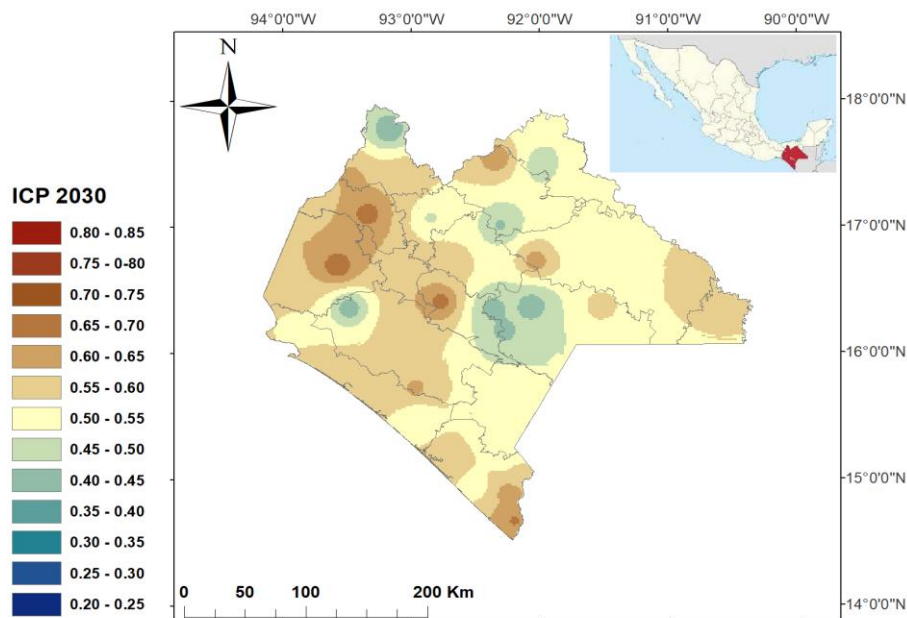


Figura 26. Distribución espacial de índice de concentración de precipitación (ICP) en el estado de Chiapas para el 2030.

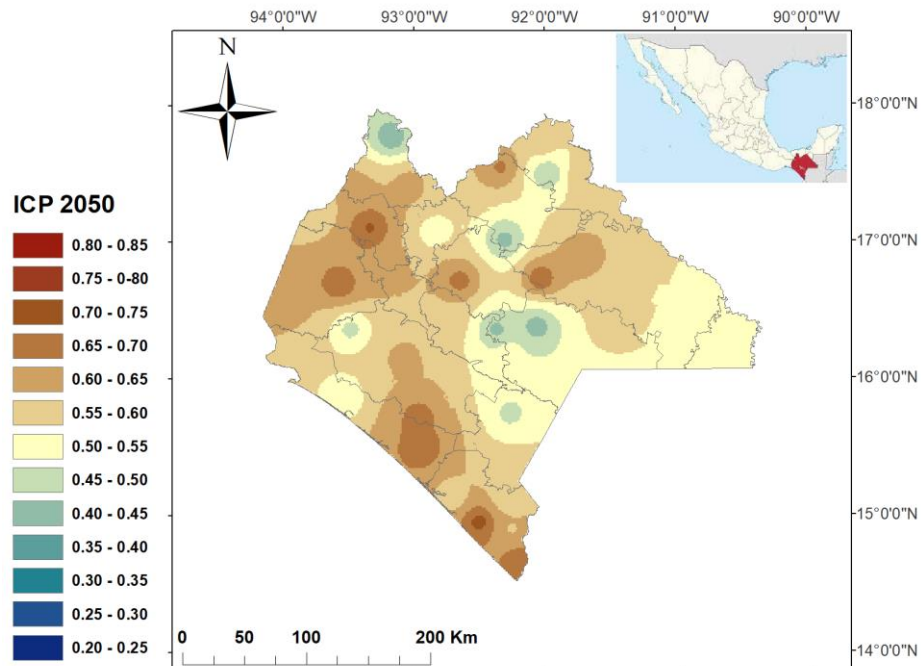


Figura 27. Distribución espacial de índice de concentración de precipitación (ICP) en el estado de Chiapas para el 2050.

Los escenarios de distribución espacial del índice de concentración de precipitación para 2030 y 2050, se obtuvieron al identificar en cada estación la tendencia del índice de 1981 a 2018 y a través de la media móvil de 10 períodos; se replicó el comportamiento a partir de 2019 con un ajuste por desviación estándar, el cual consistió en sumar o restar el número de desviaciones estándar necesarios para que el índice de 2019 fuera similar al de 2018. Con la curva obtenida se realizó una regresión lineal con fin de obtener el error resultante del método aplicado.

De los resultados obtenidos se elaboraron tres anexos con información complementaria en el estudio a mencionar:

ANEXO 1. Climatología de precipitación de 1981 a 2018; tendencia de lluvia en las temporadas de lluvia de 1981 a 2018; índice de concentración para la precipitación de 1981 a 2018; y media móvil de 10 años del índice con ajuste de recta y proyección al 2050.

ANEXO 2.- Mapas de distribución espacial anual del índice de concentración para la precipitación desde 1981 hasta 2018.

ANEXO 2.- Mapas de distribución espacial anual del índice de concentración para la precipitación desde 1981 hasta 2018.

## DISCUSIÓN

El estado de Chiapas presenta diferencias significativas en características orográficas tales como elevación, pendiente y orientación, las cuales pueden influir en la distribución espacial de lluvia.

Diversos autores, como Martín-Vide (2003), Ochoa (2006), Roblero et al. (2018), han empleado el índice de concentración para identificar zonas potenciales de eventos extremos, tanto de lluvia como de aridez. Sin embargo, en el actual estudio, además de lo anterior, se realizó una proyección de la concentración de precipitación en el futuro (2030 y 2050) con el fin de brindar un mejor panorama del comportamiento que puede presentar la lluvia en las siguientes décadas, ya que, como lo indica Escalante y Amores (2014), Soares y García (2014) y Orozco et al., (2016), hasta el momento, la percepción social del clima es de cambios en los patrones de precipitación en la región.

Las proyecciones de concentración de lluvia para el futuro cercano 2030 y 2050 presentan similitudes con respecto a las proyecciones de máximo de días secos consecutivos para el futuro 2015-2030 establecidas en el PACCCH, en el primer caso se identifica que en gran parte de la zona sur y occidente del estado, los valores de concentración de lluvia pueden ser altos, es decir lluvia concentrada en algunos meses de la temporada de lluvias; en el segundo caso para las mismas zonas aunque en menos área del occidente del estado, se observa una tendencia de mayor cantidad de días secos consecutivos, en sí los escenarios obtenidos en

este estudio no discrepan en gran medida de las proyecciones futuras para la precipitación.

La evaluación del comportamiento del índice de concentración, así como el análisis de lluvia durante el período, acentúan los cambios ocurridos en la precipitación en el estado de Chiapas de forma general; el método aplicado para comportamiento futuro parece congruente con las proyecciones globales de lluvia hacia el futuro.

## CONCLUSIONES

Particularmente, Chiapas es uno de los estados del país con mayor vulnerabilidad física y social frente a eventos climáticos (PACCCH, 2011), a esto se le suma el riesgo latente generado por la irregularidad de la precipitación observada en este estudio. Los análisis realizados demuestran la existencia de una variación significativa del índice de concentración de precipitación a lo largo de los años en el estado, y su distribución espacial no es homogénea, puesto que presenta zonas bien definidas con altas y bajas concentraciones de lluvia.

En conformidad con los escenarios climáticos desarrollados por el PACCCH que indican crecientes probabilidades de que ocurran fenómenos naturales de mayor intensidad, la tendencia del índice aplicado en este estudio sugiere un aumento de los valores de concentración de las lluvias en las dos últimas décadas, y en acuerdo a ello, las proyecciones para los años 2030 y 2050 muestran dispersión de alta concentración de lluvia en el estado.

Si bien, la variabilidad climática es poco predecible para años futuros, la tendencia del índice de concentración de Gini, aplicado a la precipitación, sugiere una tendencia a la aridez en el estado de Chiapas para las siguientes décadas (Figura 25). El escenario de riesgo proyectado para 2030 y 2050, a pesar del grado de incertidumbre, puede ayudar a la sociedad en general, así como a instituciones gubernamentales y no gubernamentales, a plantear medidas más efectivas para la disminución de vulnerabilidad ante la posible escasez de agua en el estado, puesto

que, en su medida, coincide con las proyecciones futuras del clima para la precipitación (IPCC, 2014, 2018).

El análisis de la tendencia de la precipitación en conjunto con la tendencia del índice de concentración, sugieren que los eventos extremos pueden ser más frecuentes y concentrados en algunos meses de la temporada de lluvia. El método aplicado ha sido para la temporada de lluvias en el estado de Chiapas, sin embargo, es necesario contar con otro estudio que se aplique a la temporada de estiaje, que, a pesar de su baja cantidad de precipitación, puede complementar el estudio actual e identificar mejor la variación de la concentración de precipitación en el estado de Chiapas. De igual forma, el estudio realizado puede complementarse con los períodos de calor extremo y las producciones agrícolas en el estado, con el fin de acentuar de forma más concisa los retos que Chiapas puede enfrentar ante el cambio climático.

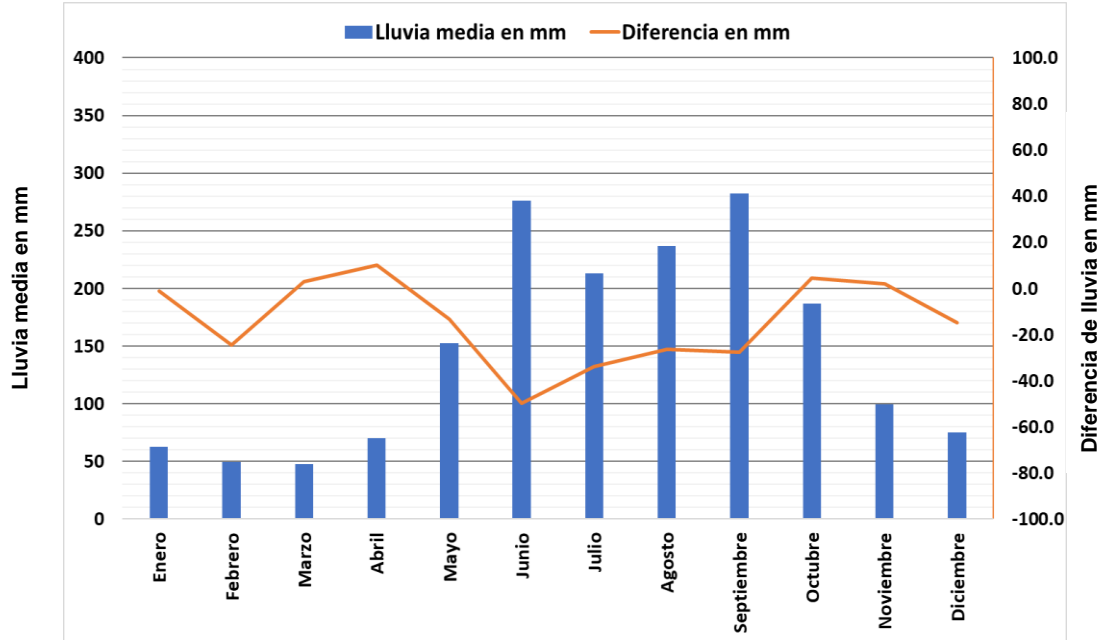


## **ANEXO 1**

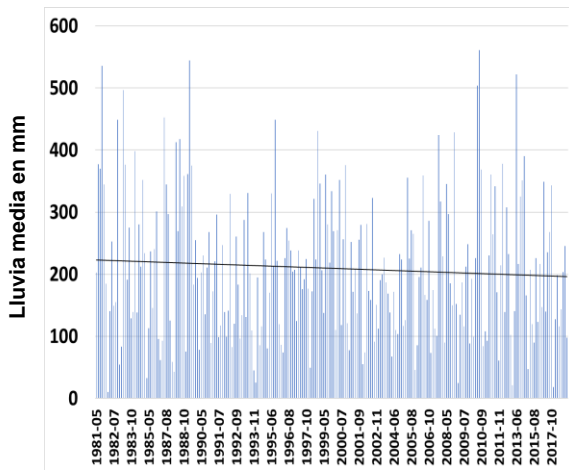
**Climatología de precipitación de 1981 a 2018; tendencia de lluvia en las temporadas de lluvia de 1981 a 2018; índice de concentración para la precipitación de 1981 a 2018; y media móvil de 10 años del índice con ajuste de recta y proyección al 2050.**

Estación 7006: Altamirano SMN. Municipio: Ocosingo. Región Económica: Selva.

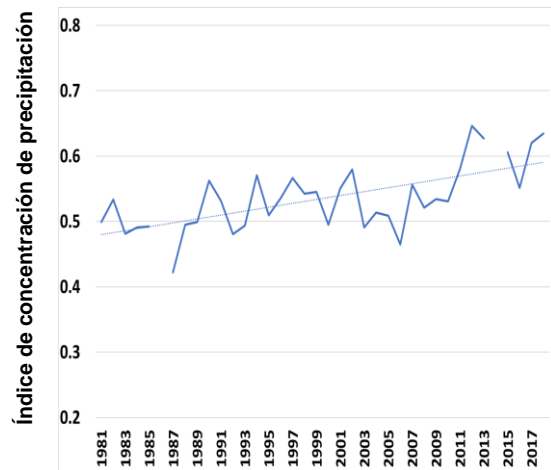
Lluvia media con diferencia de lluvia media de 1981-2000 y 2001-2018.



Lluvia mensual en mm y tendencia de 1981 a 2018.

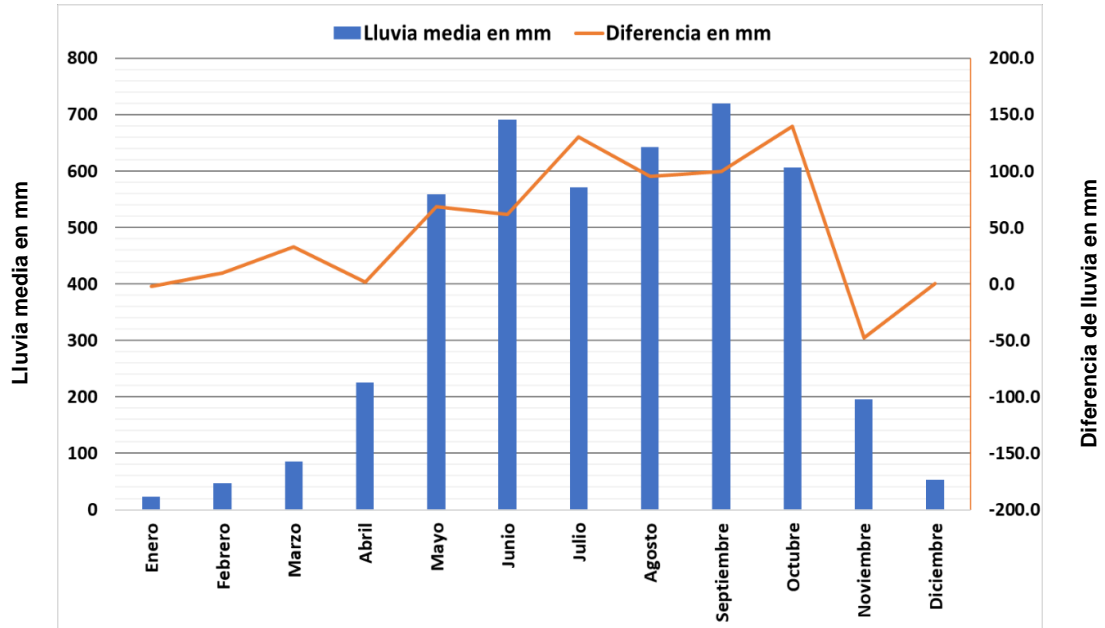


Índice de concentración de precipitación

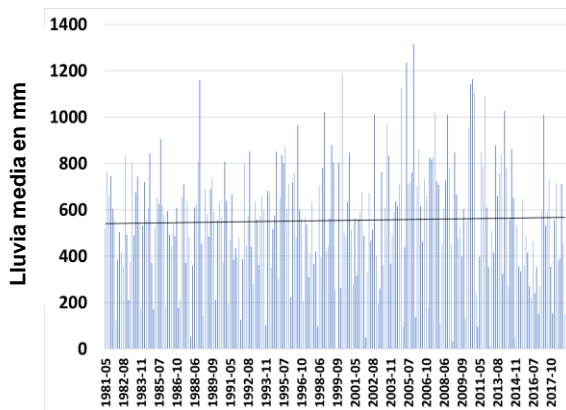


Estación 7012: Finca Argovia. Municipio: Tapachula. Región Económica: Soconusco.

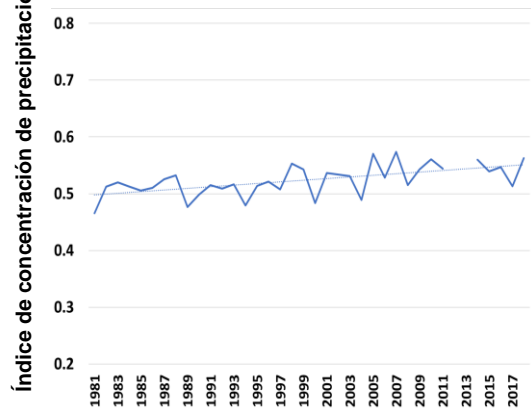
Lluvia media con diferencia de lluvia media de 1981-2000 y 2001-2018.



Lluvia mensual en mm y tendencia de 1981 a 2018.

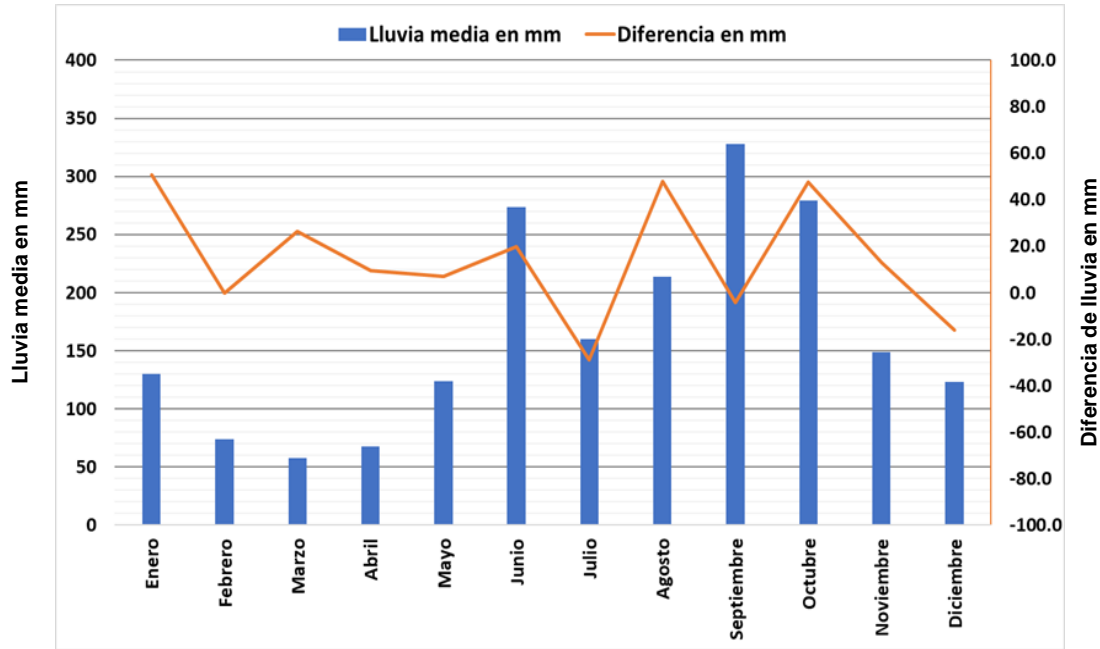


Índice de concentración de precipitación

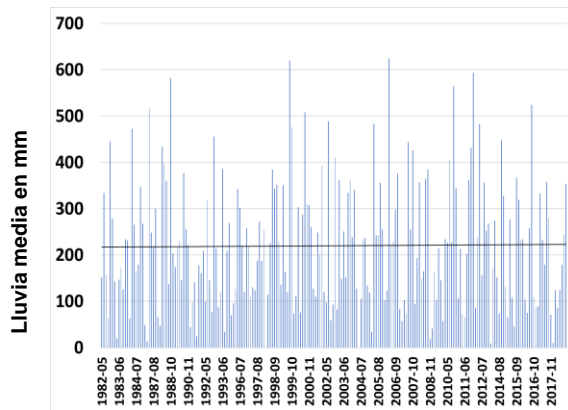


Estación 7022: Playas de Catazajá. Municipio: Catazajá. Región Económica: Maya.

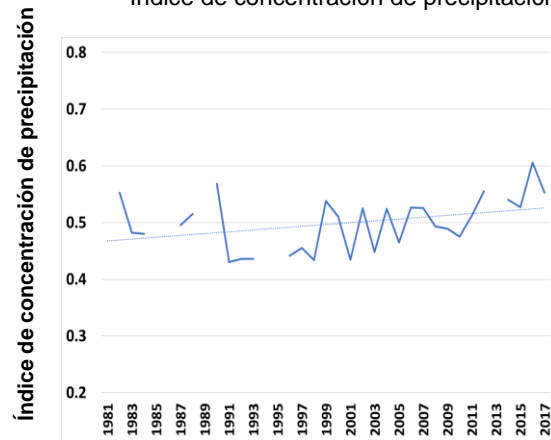
Lluvia media con diferencia de lluvia media de 1981-2000 y 2001-2018.



Lluvia mensual en mm y tendencia de 1981 a 2018.

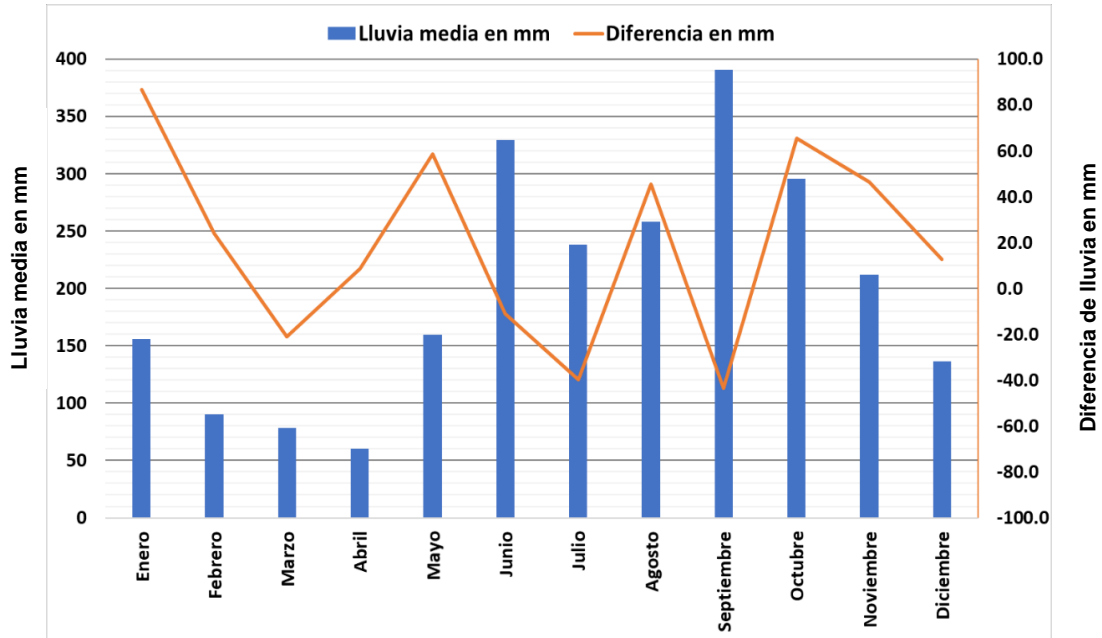


Índice de concentración de precipitación

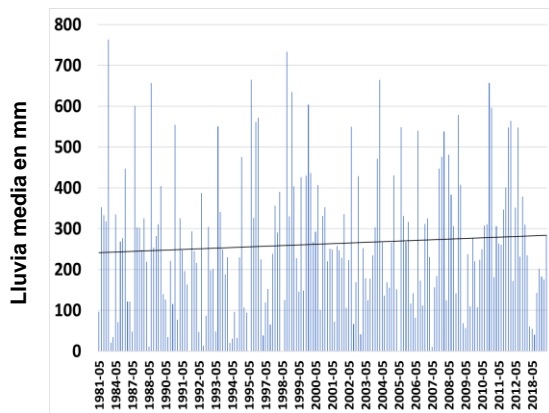


Estación 7028: Chacamax. Municipio: Palenque. Región Económica: Maya.

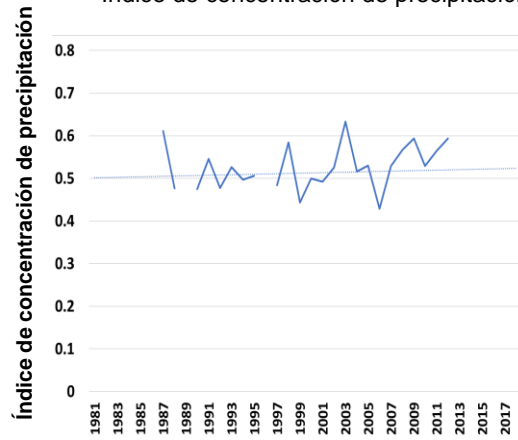
Lluvia media con diferencia de lluvia media de 1981-2000 y 2001-2018.



Lluvia mensual en mm y tendencia de 1981 a 2018.

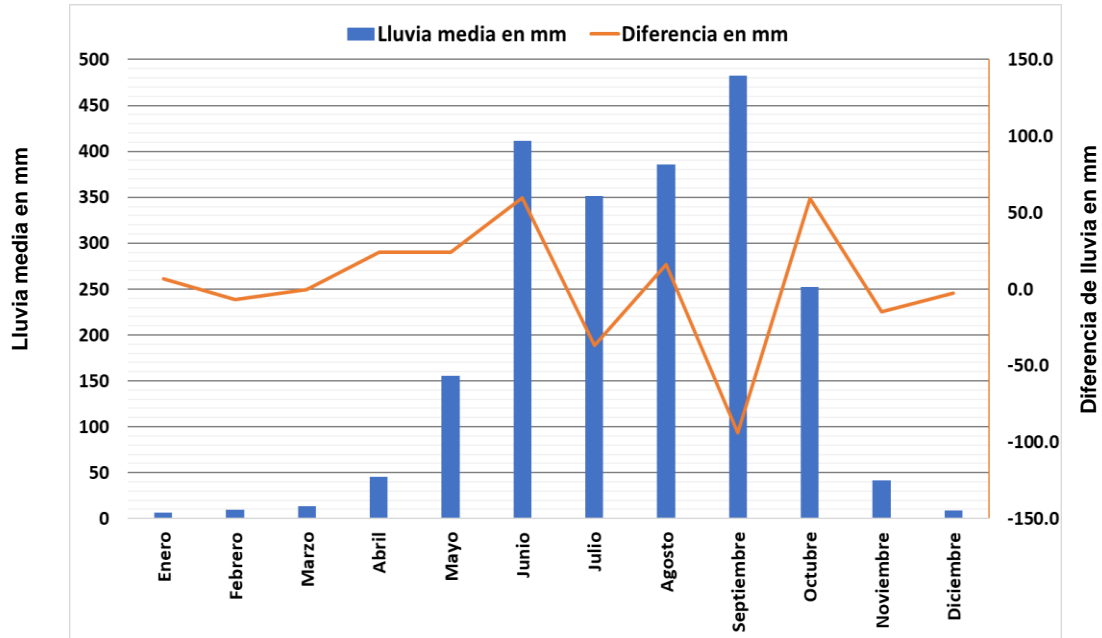


Índice de concentración de precipitación

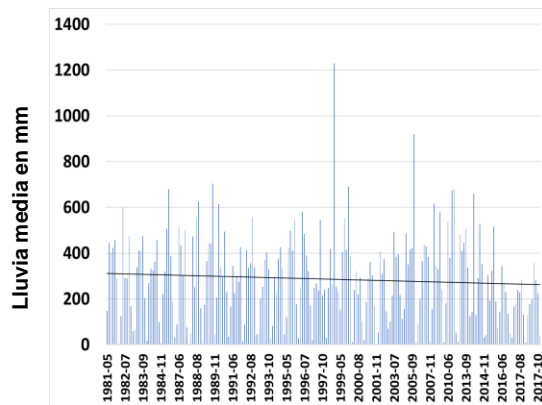


Estación 7037: Finca Cuxtepeques. Municipio: La Concordia. Región Económica: Frailesca.

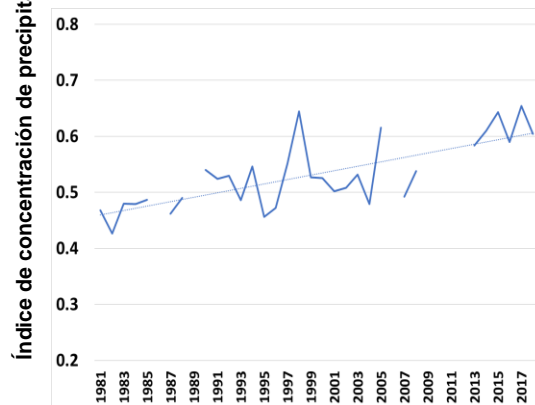
Lluvia media con diferencia de lluvia media de 1981-2000 y 2001-2018.



Lluvia mensual en mm y tendencia de 1981 a 2018.

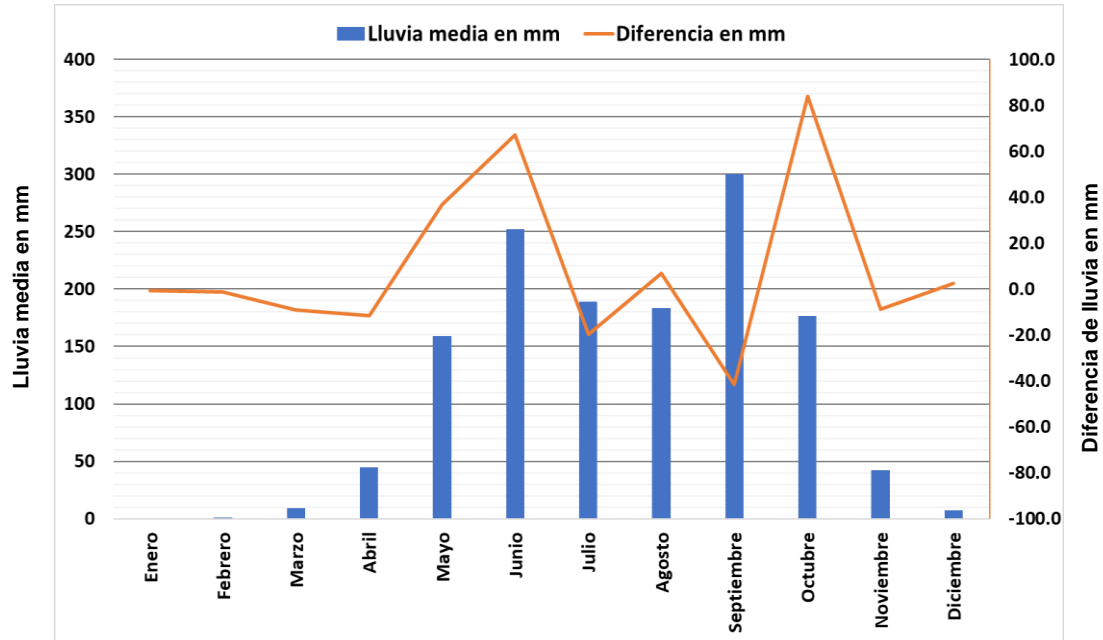


Índice de concentración de precipitación

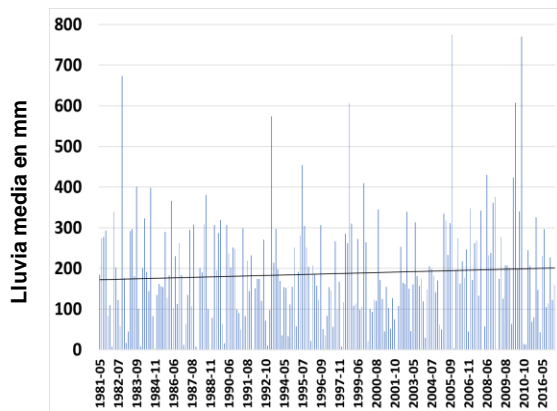


Estación 7045: El Dorado. Municipio: Suchiate. Región Económica: Soconusco.

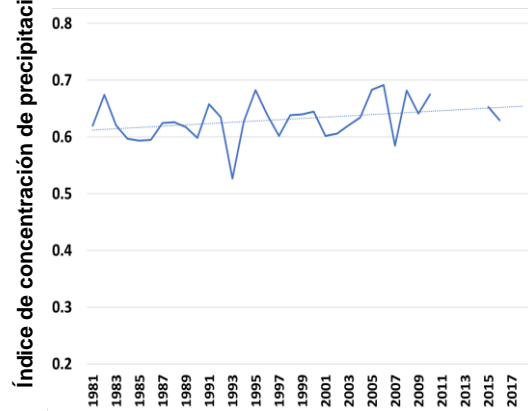
Lluvia media con diferencia de lluvia media de 1981-2000 y 2001-2018.



Lluvia mensual en mm y tendencia de 1981 a 2018.

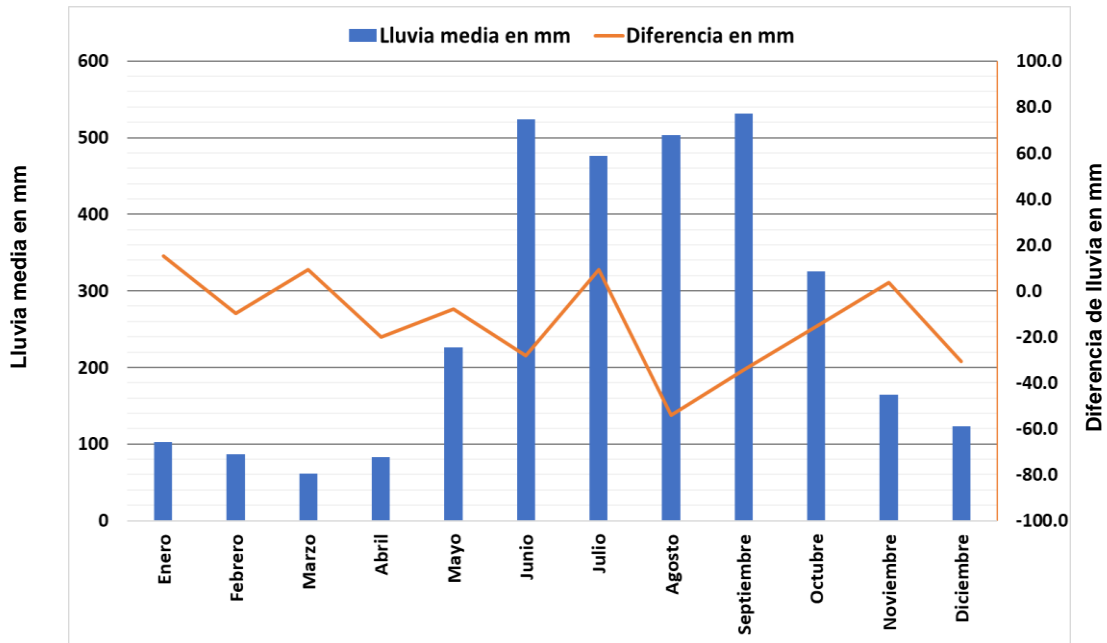


Índice de concentración de precipitación

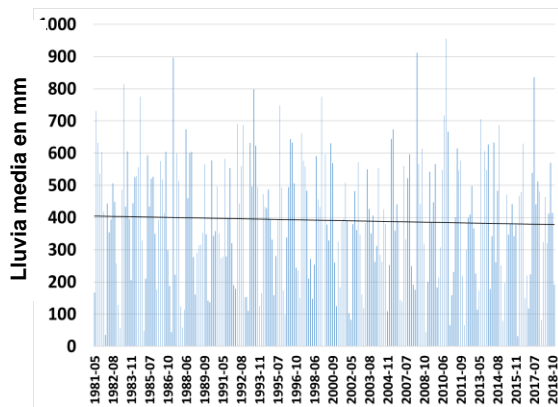


Estación 7055: Finca Chayabe. Municipio: Lar Margaritas. Región Económica: Meseta Comiteca.

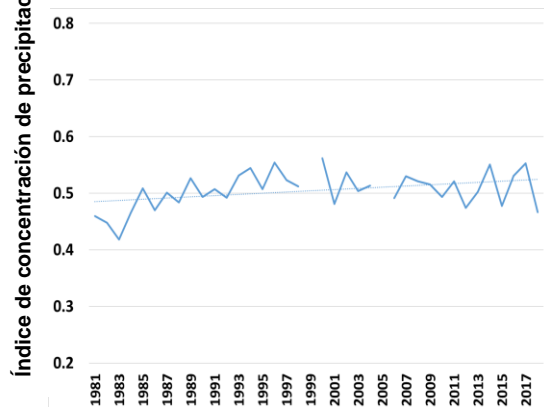
Lluvia media con diferencia de lluvia media de 1981-2000 y 2001-2018.



Lluvia mensual en mm y tendencia de 1981 a 2018.



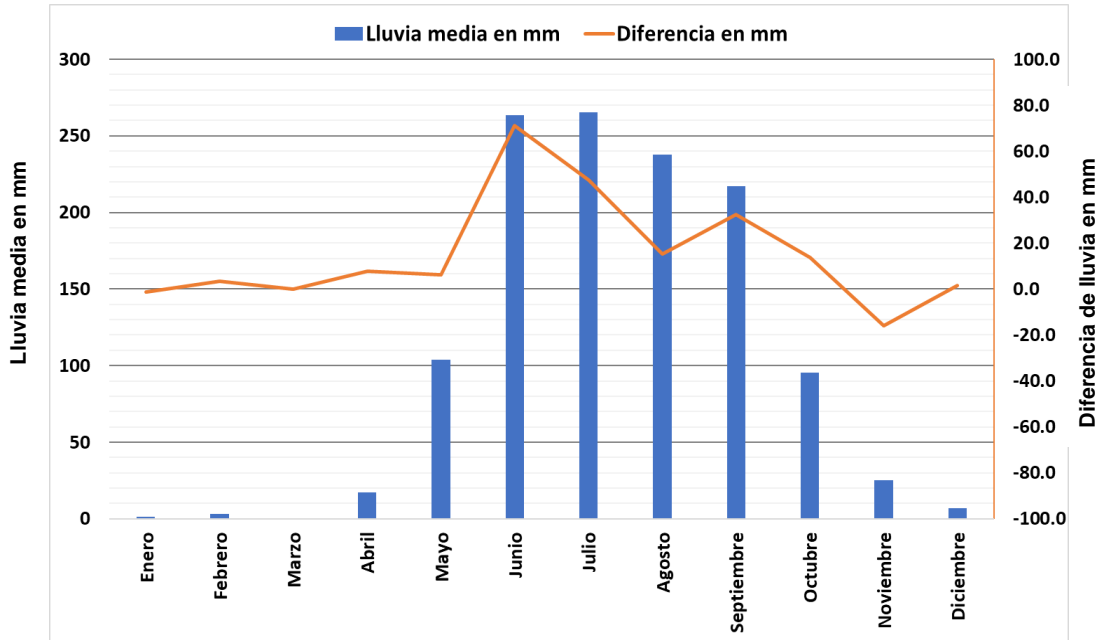
Índice de concentración de precipitación



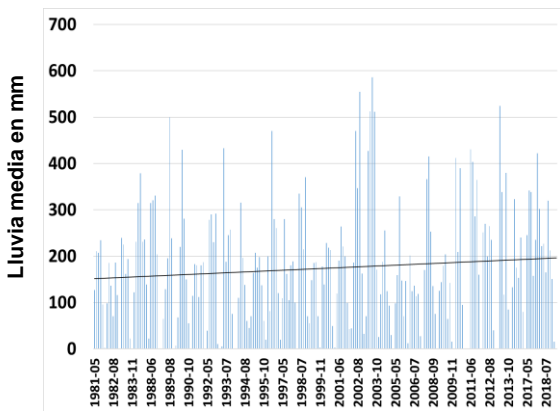


Estación 7065: Finca Ocotlán. Municipio: Villaflores. Región Económica: Frailesca.

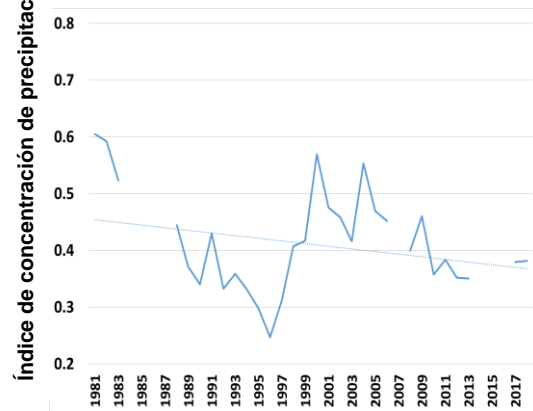
Lluvia media con diferencia de lluvia media de 1981-2000 y 2001-2018.



Lluvia mensual en mm y tendencia de 1981 a 2018.

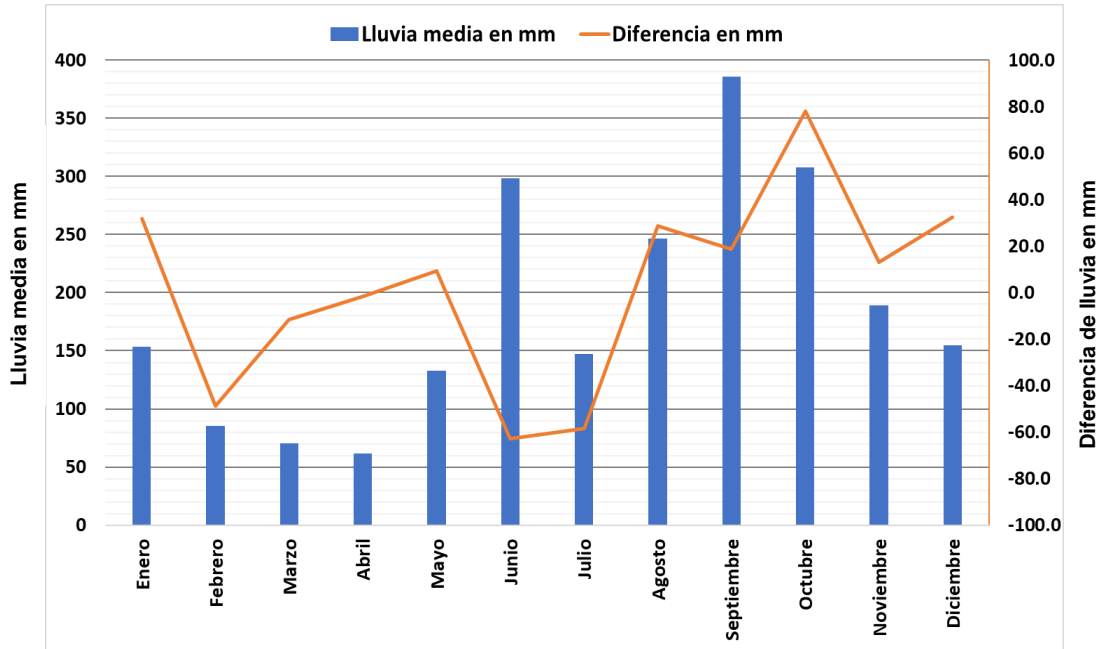


Índice de concentración de precipitación

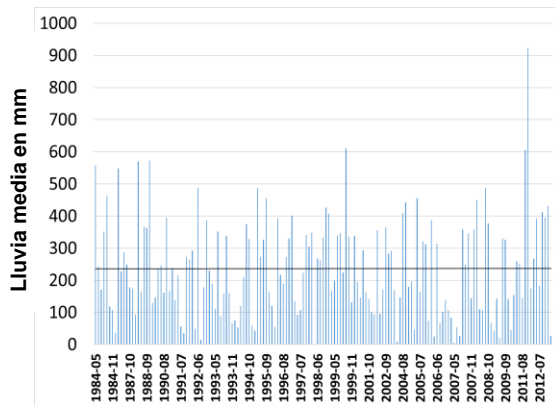


Estación 7085: Palenque (SMN). Municipio: Palenque. Región Económica: Maya.

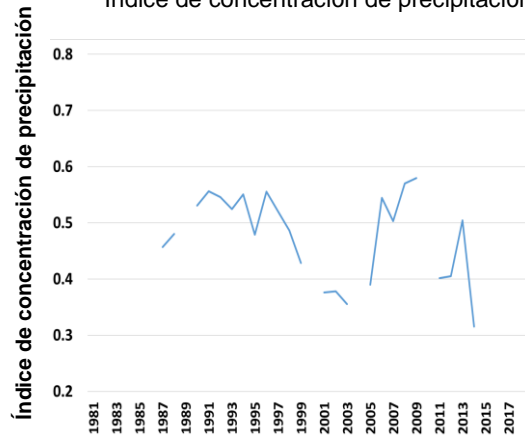
Lluvia media con diferencia de lluvia media de 1981-2000 y 2001-2018.



Lluvia mensual en mm y tendencia de 1981 a 2018.

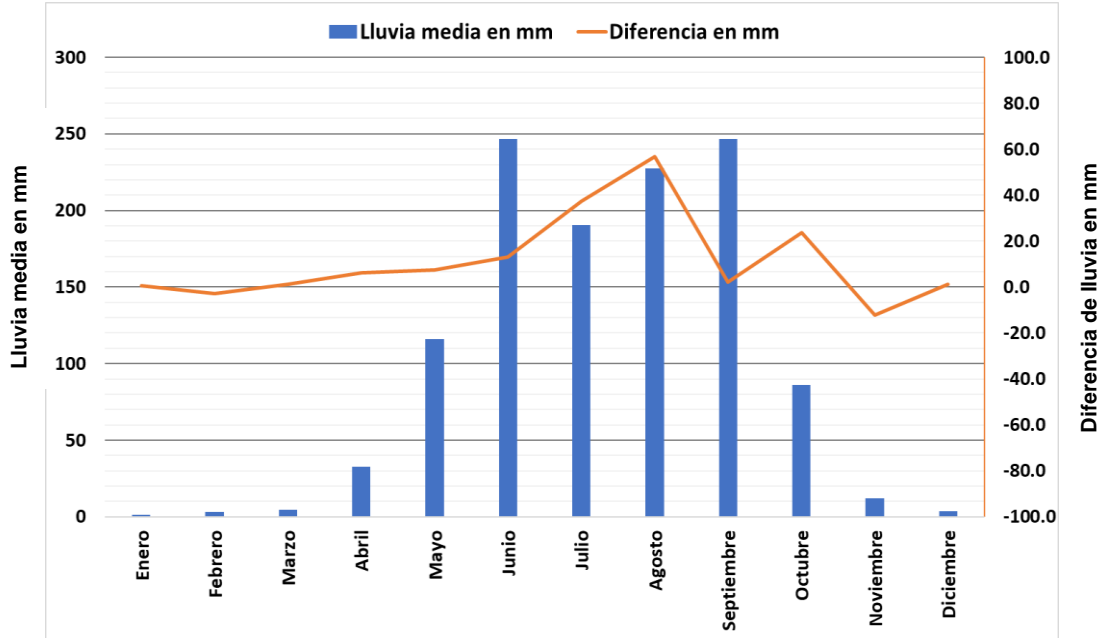


Índice de concentración de precipitación

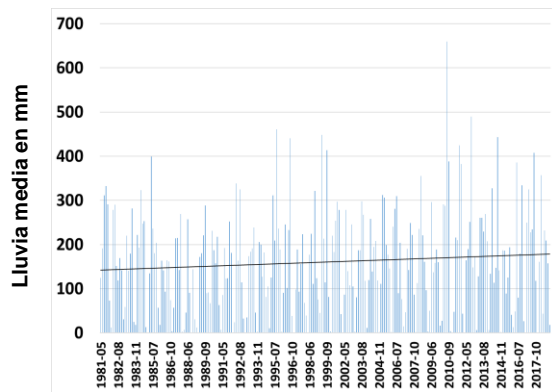


Estación 7086: Angostura. Municipio: Venustiano Carranza. Región Económica: Sierra.

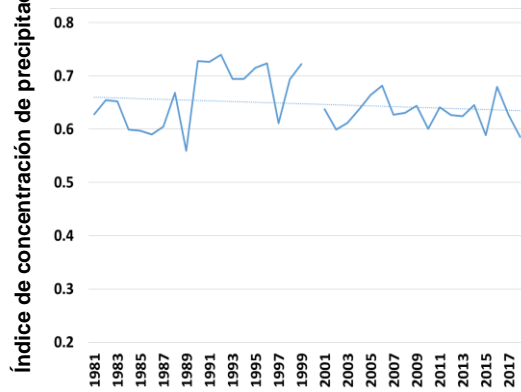
Lluvia media con diferencia de lluvia media de 1981-2000 y 2001-2018.



Lluvia mensual en mm y tendencia de 1981 a 2018.

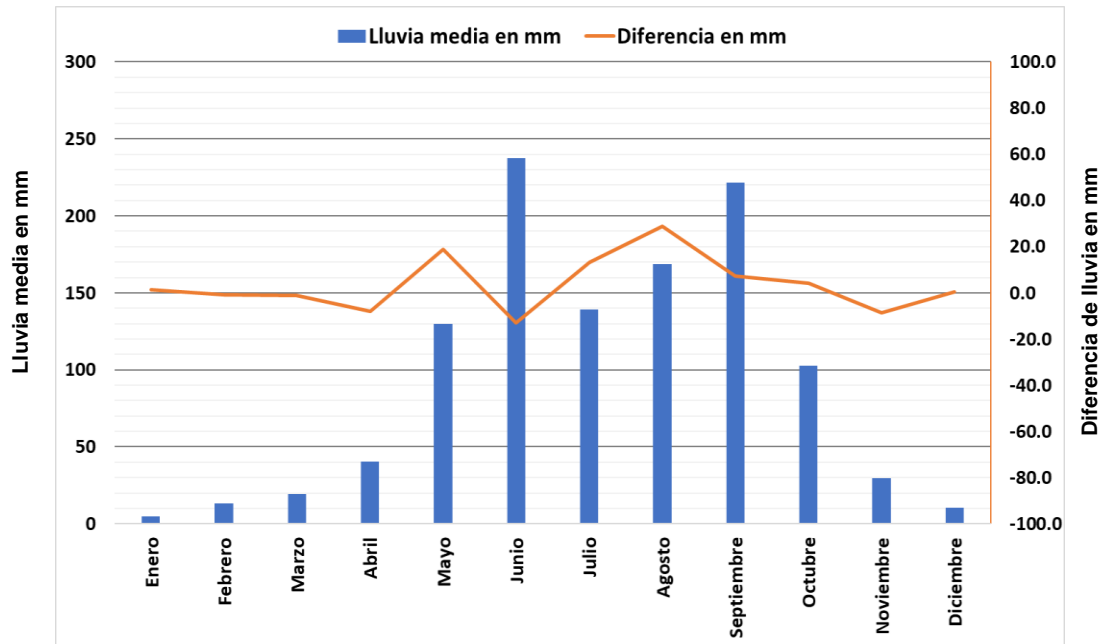


Índice de concentración de precipitación

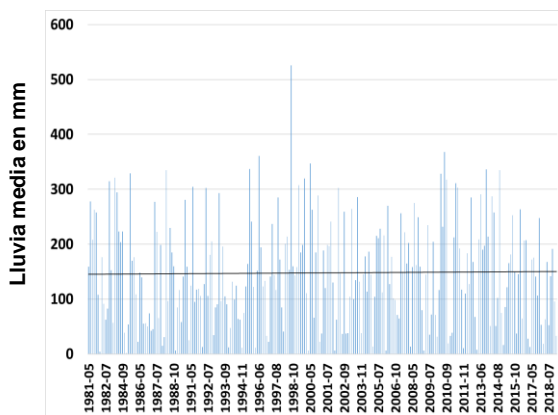


Estación 7087: La Cabaña. Municipio: San Cristóbal de las Casas. Región Económica: Altos.

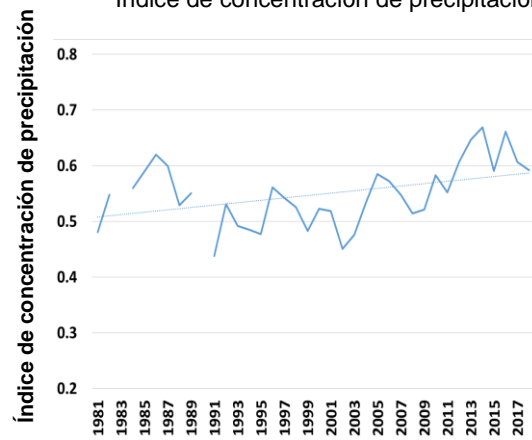
Lluvia media con diferencia de lluvia media de 1981-2000 y 2001-2018.



Lluvia mensual en mm y tendencia de 1981 a 2018.

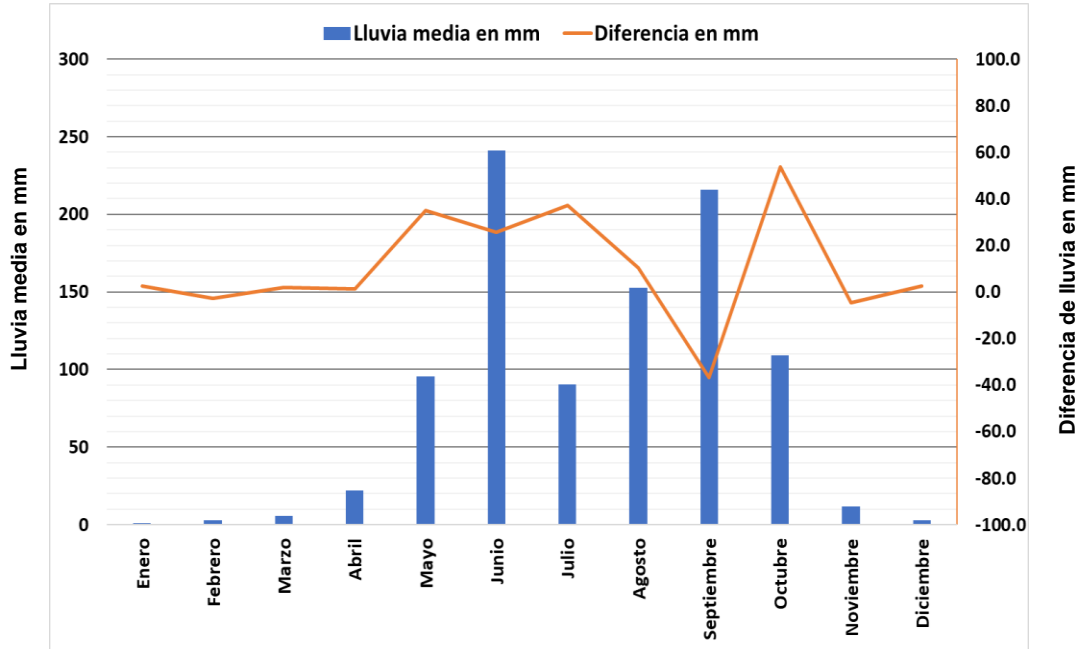


Índice de concentración de precipitación

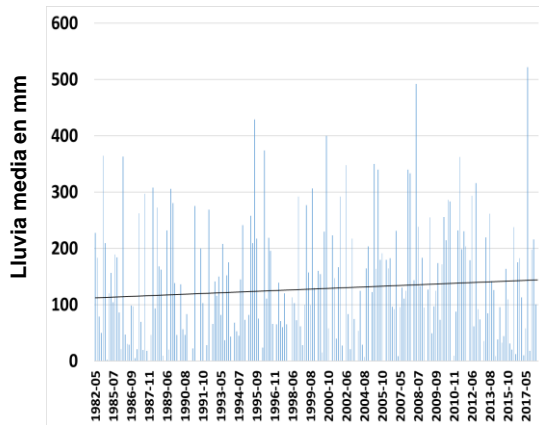


Estación 7094: La Mesilla. Municipio: Tzimol. Región Económica: Meseta Comiteca.

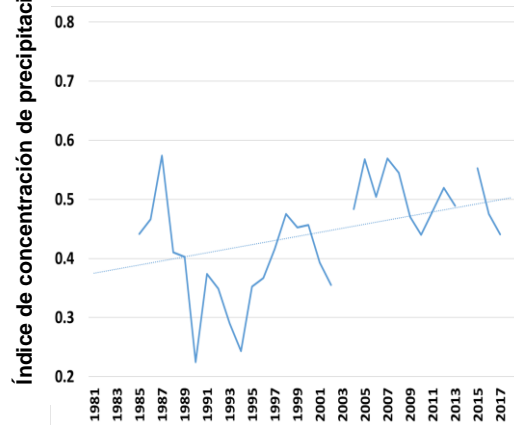
Lluvia media con diferencia de lluvia media de 1981-2000 y 2001-2018.



Lluvia mensual en mm y tendencia de 1981 a 2018.

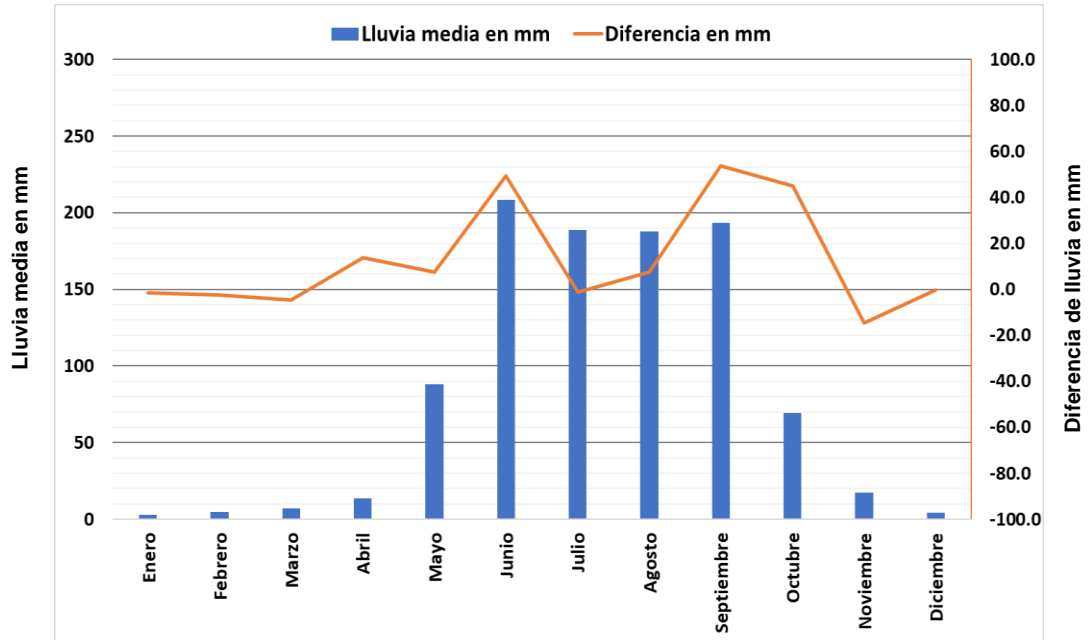


Índice de concentración de precipitación

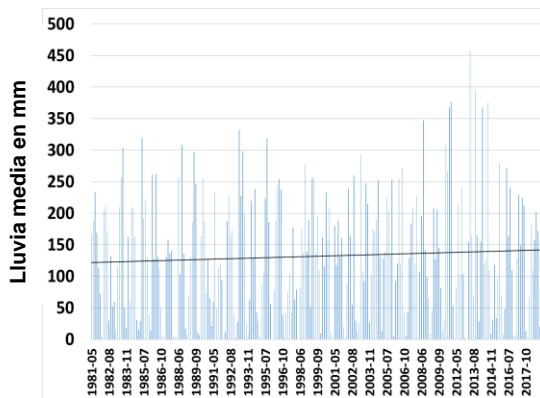


Estación 7102: Las Flores. Municipio: Jiquipilas. Región Económica: Valles Zoque.

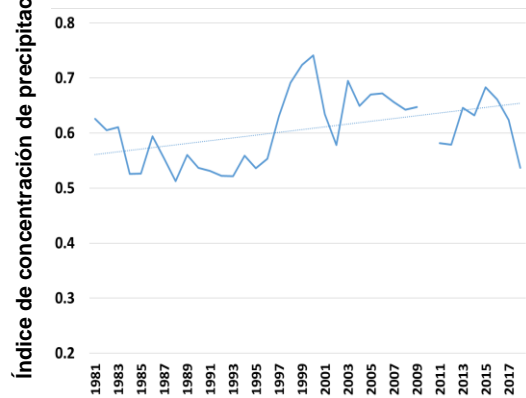
Lluvia media con diferencia de lluvia media de 1981-2000 y 2001-2018.



Lluvia mensual en mm y tendencia de 1981 a 2018.

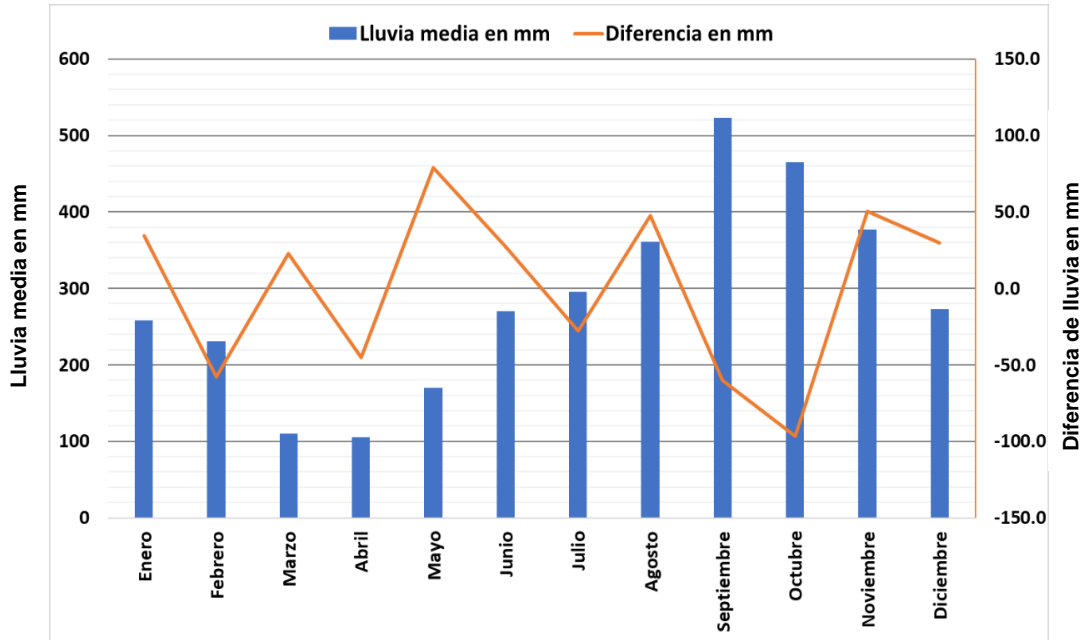


Índice de concentración de precipitación

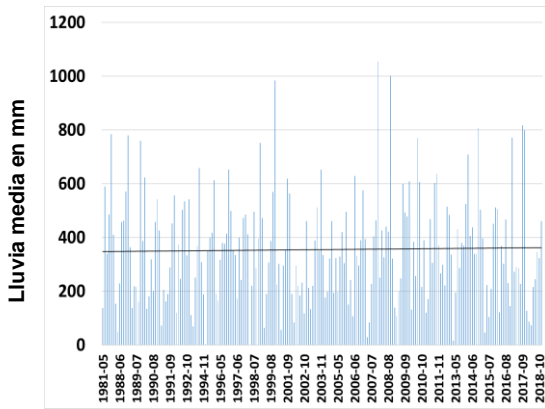


Estación 7106: Peñitas. Municipio: Ostucán. Región Económica: Norte.

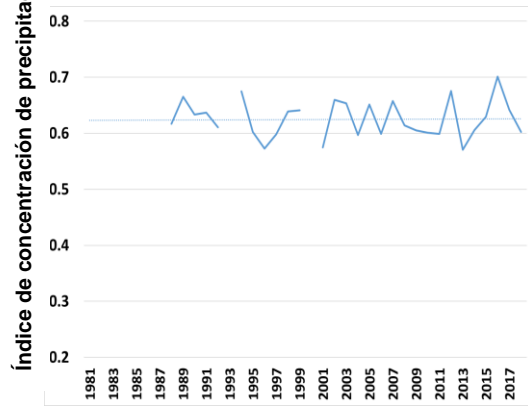
Lluvia media con diferencia de lluvia media de 1981-2000 y 2001-2018.



Lluvia mensual en mm y tendencia de 1981 a 2018.

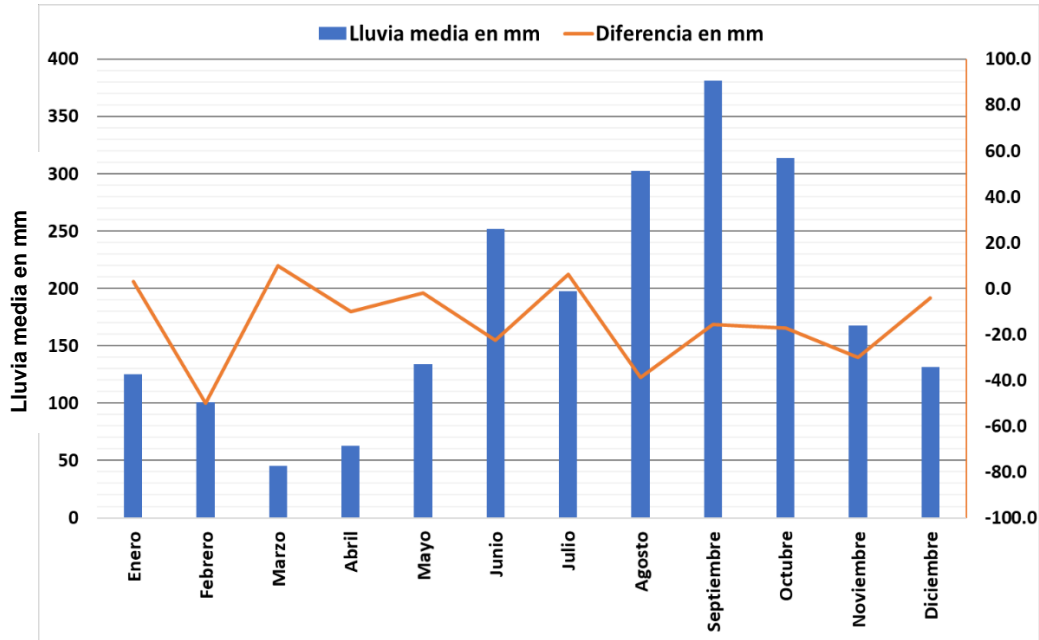


Índice de concentración de precipitación

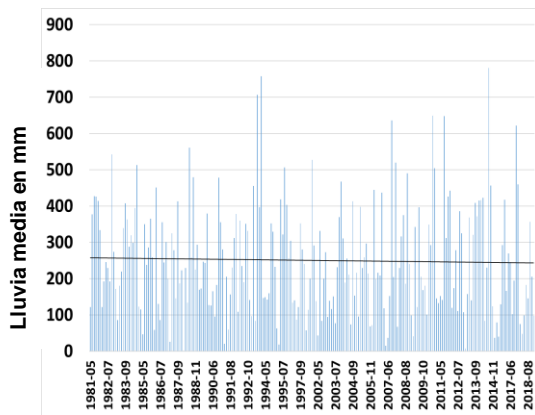


Estación 7112: Presa Malpaso. Municipio: Tecpatán. Región Económica: Mezcalapa.

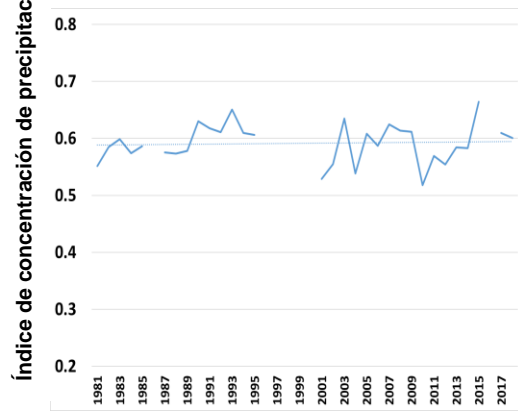
Lluvia media con diferencia de lluvia media de 1981-2000 y 2001-2018.



Lluvia mensual en mm y tendencia de 1981 a 2018.



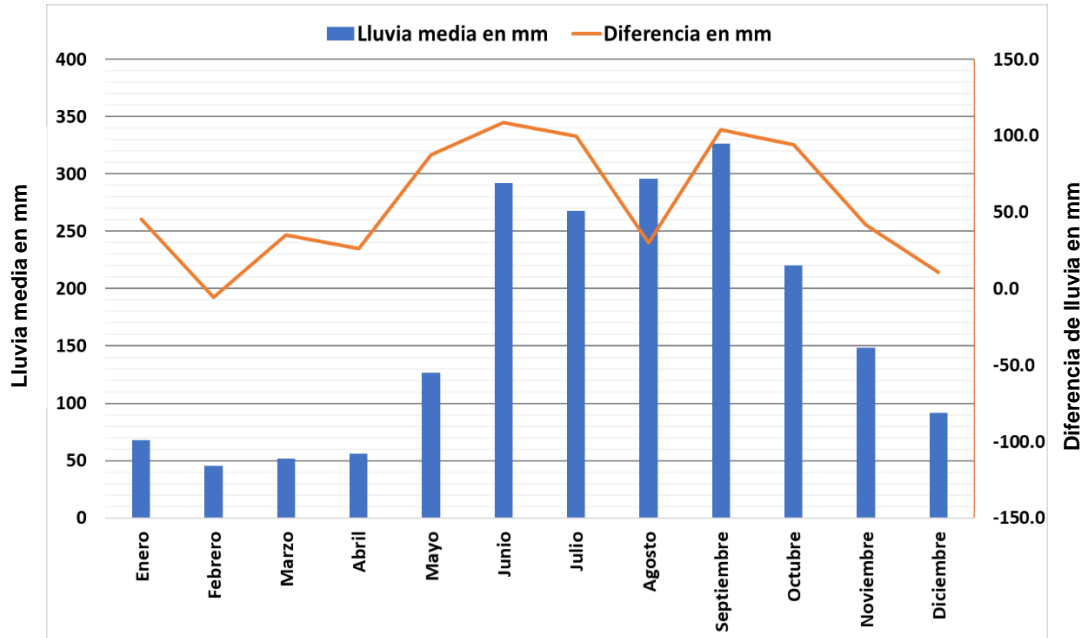
Índice de concentración de precipitación



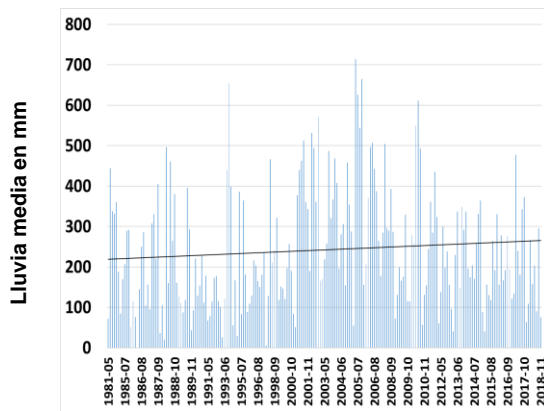


Estación 7114: Yaquintela. Municipio: Ocosingo. Región Económica: Selva.

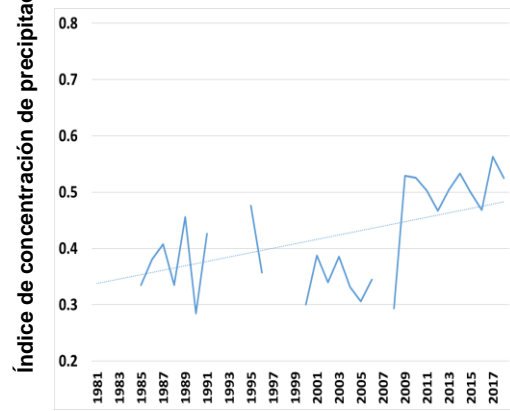
Lluvia media con diferencia de lluvia media de 1981-2000 y 2001-2018.



Lluvia mensual en mm y tendencia de 1981 a 2018.

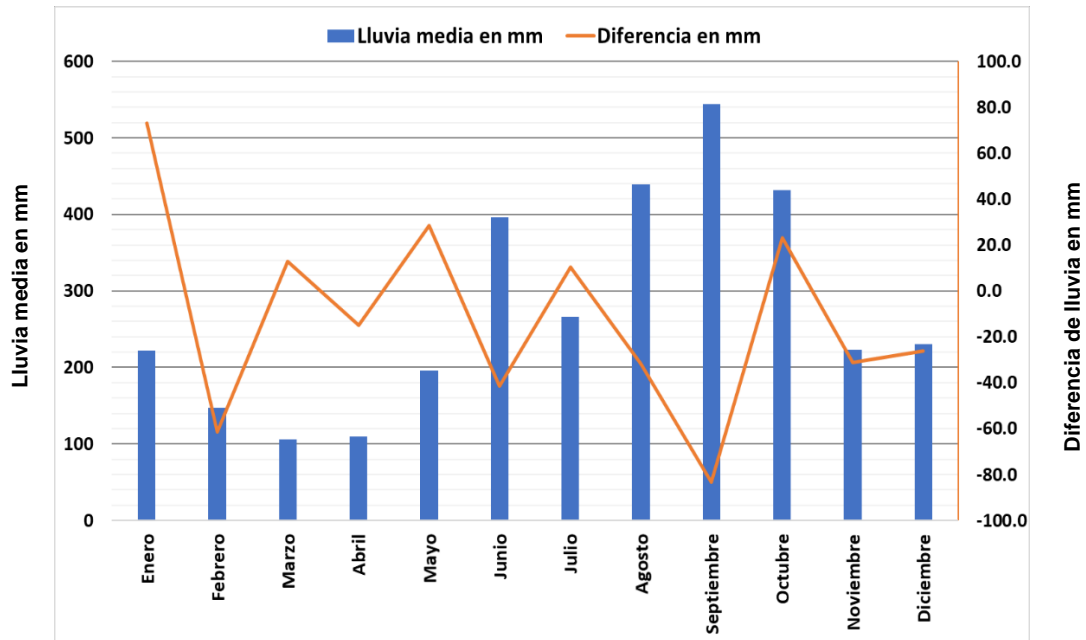


Índice de concentración de precipitación

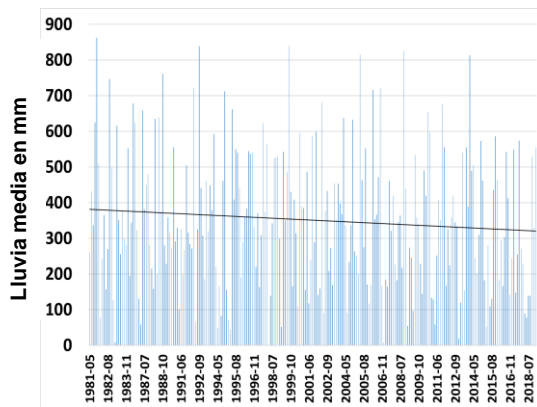


Estación 7141: Salto de Agua. Municipio: Salto de Agua. Región Económica: Tulijá.

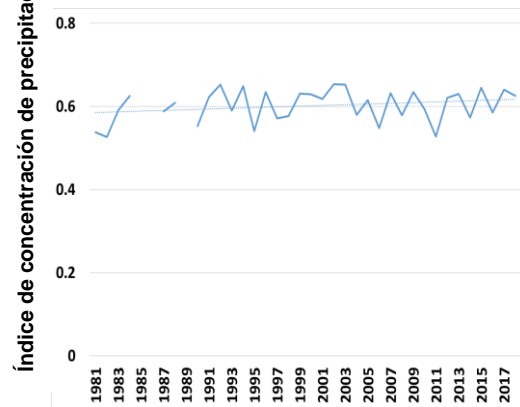
Lluvia media con diferencia de lluvia media de 1981-2000 y 2001-2018.



Lluvia mensual en mm y tendencia de 1981 a 2018.

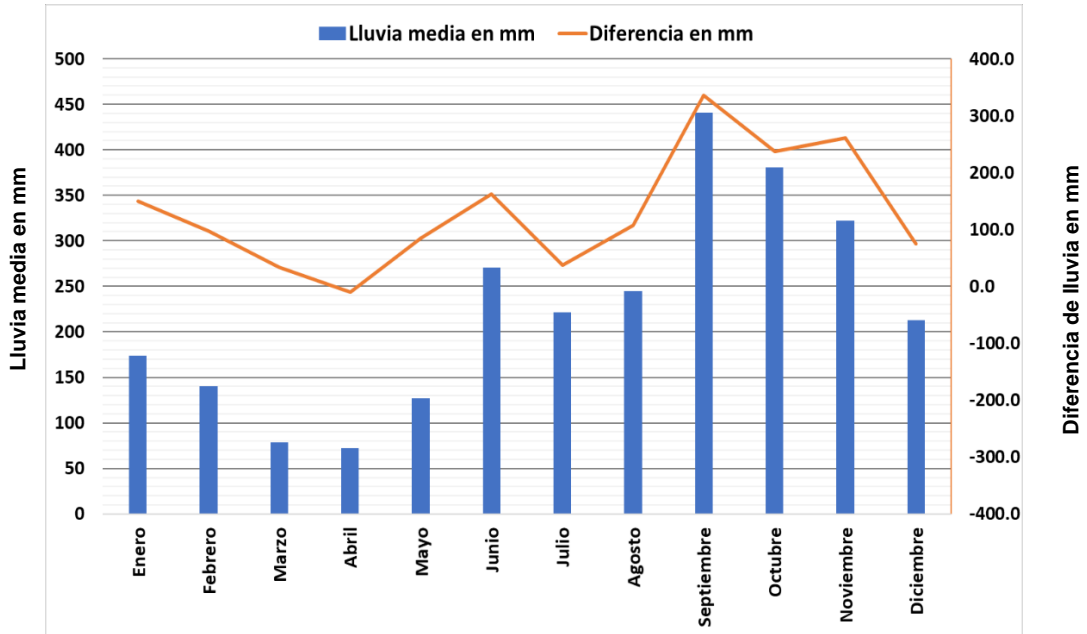


Índice de concentración de precipitación

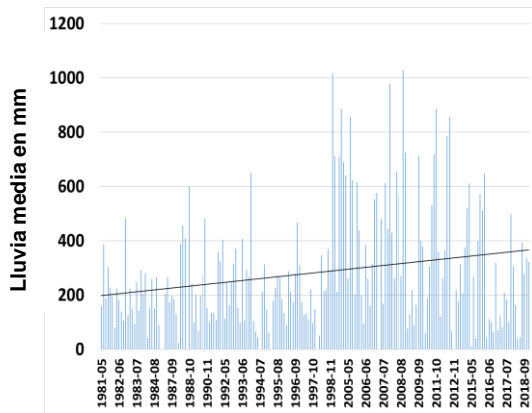


Estación 7153: Santa Cruz. Municipio: Reforma. Región Económica: Norte.

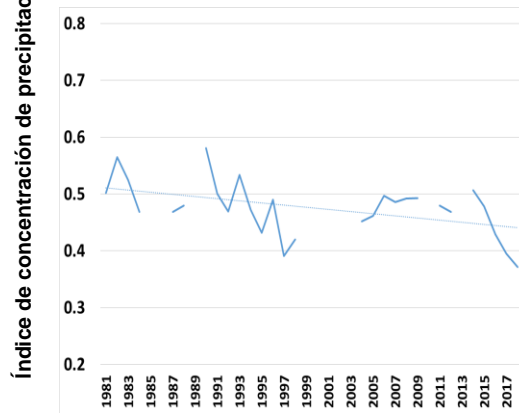
Lluvia media con diferencia de lluvia media de 1981-2000 y 2001-2018.



Lluvia mensual en mm y tendencia de 1981 a 2018.

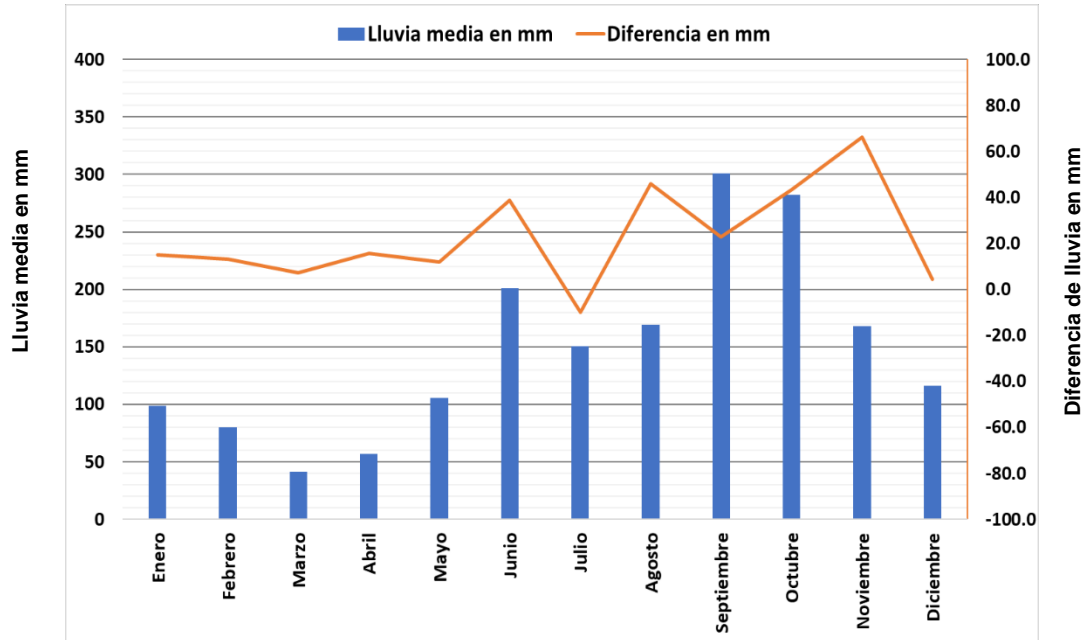


Índice de concentración de precipitación

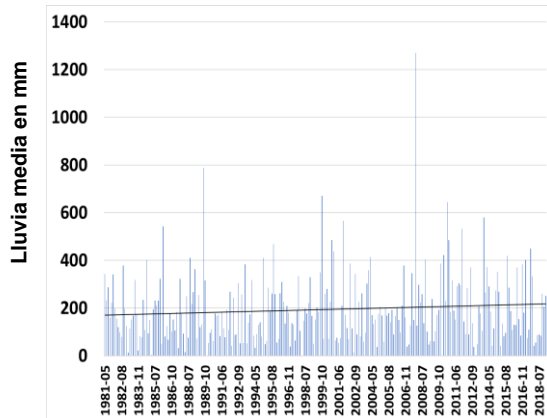


Estación 7178: Yamonhó. Municipio: Tecpatán. Región Económica: Mezcalapa.

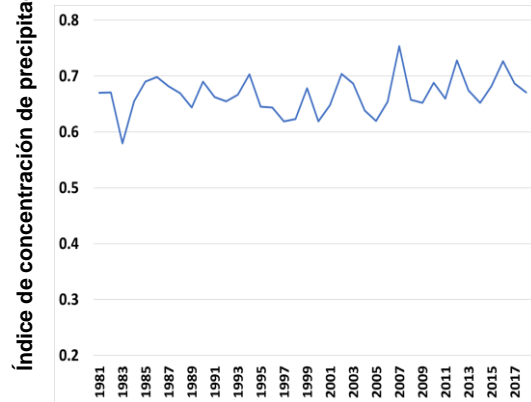
Lluvia media con diferencia de lluvia media de 1981-2000 y 2001-2018.



Lluvia mensual en mm y tendencia de 1981 a 2018.

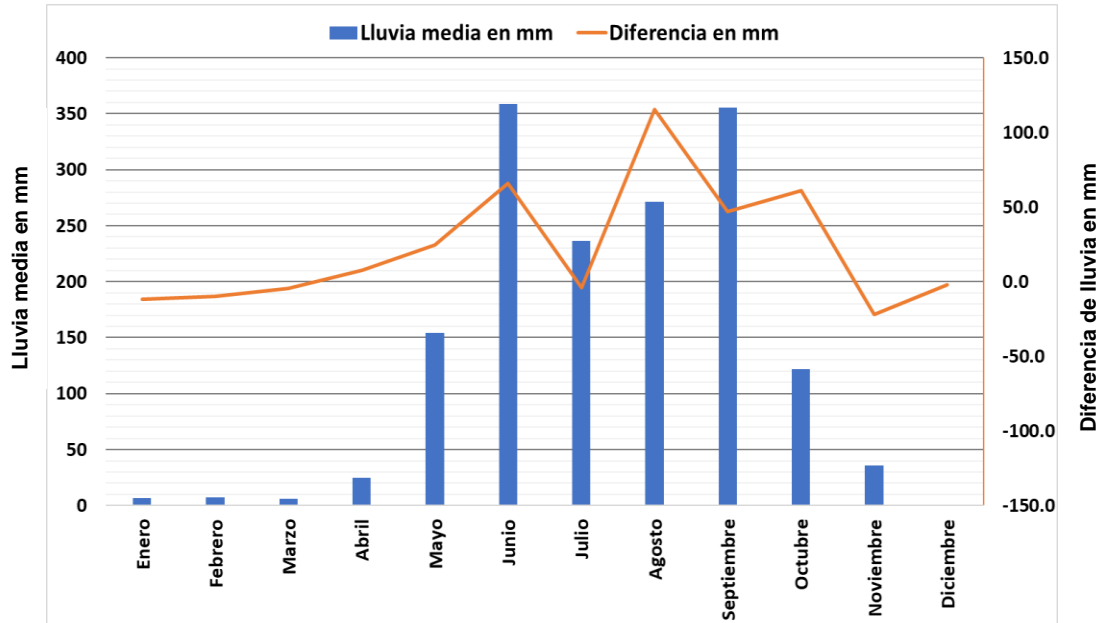


Índice de concentración de precipitación

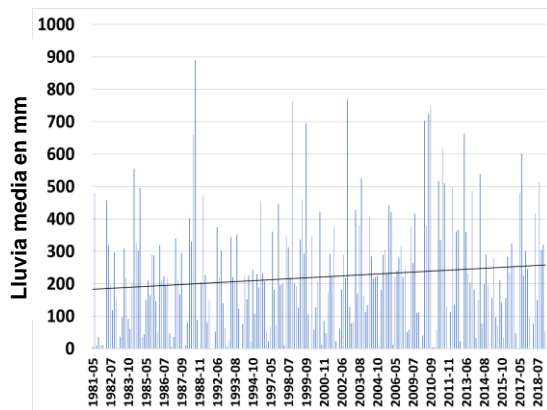


Estación 7182: Arriaga. Municipio: Arriaga. Región Económica: Istmo-Costa.

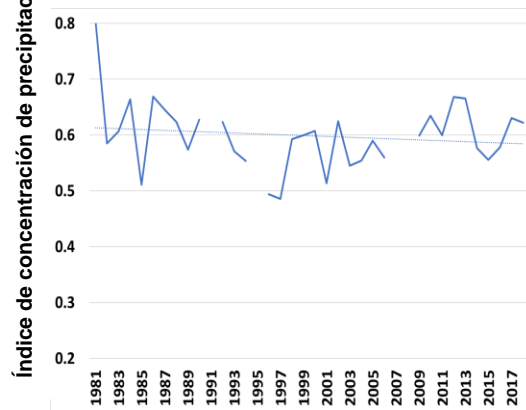
Lluvia media con diferencia de lluvia media de 1981-2000 y 2001-2018.



Lluvia mensual en mm y tendencia de 1981 a 2018.

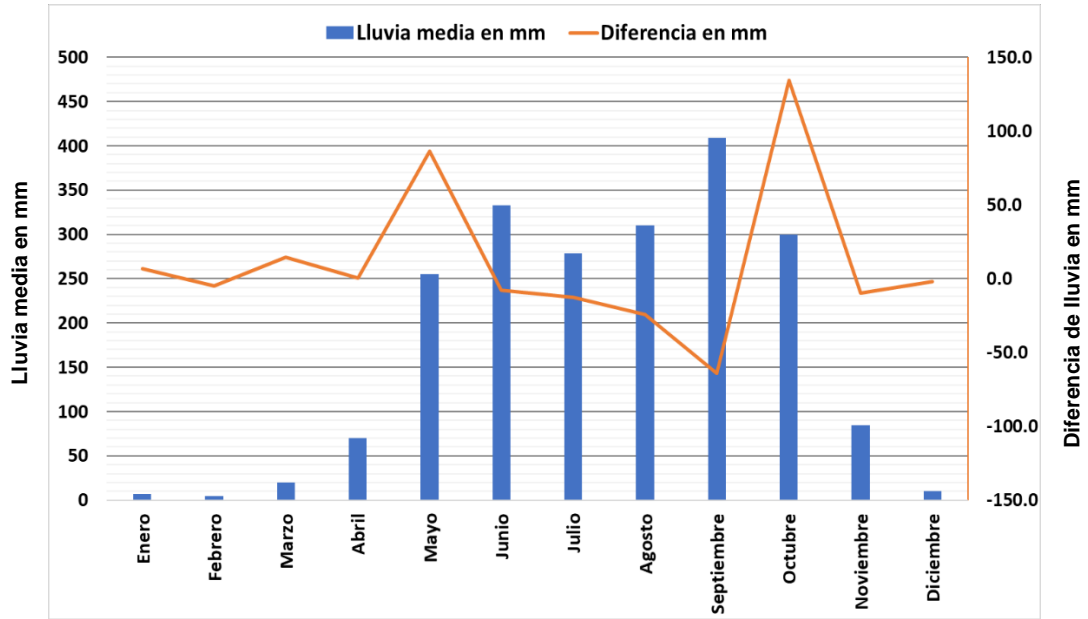


Índice de concentración de precipitación

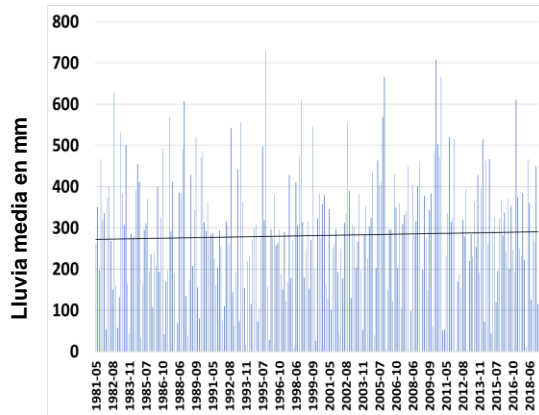


Estación 7200: Tapachula. Municipio: Tapachula. Región Económica: Soconusco.

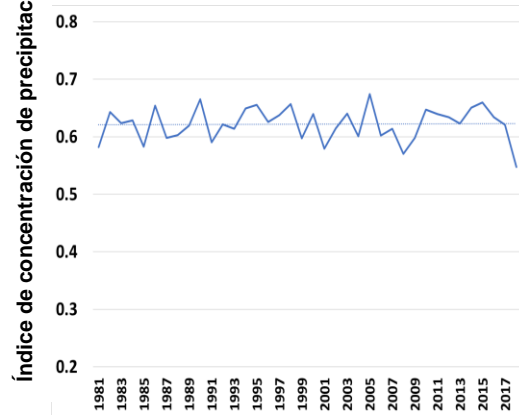
Lluvia media con diferencia de lluvia media de 1981-2000 y 2001-2018.



Lluvia mensual en mm y tendencia de 1981 a 2018.

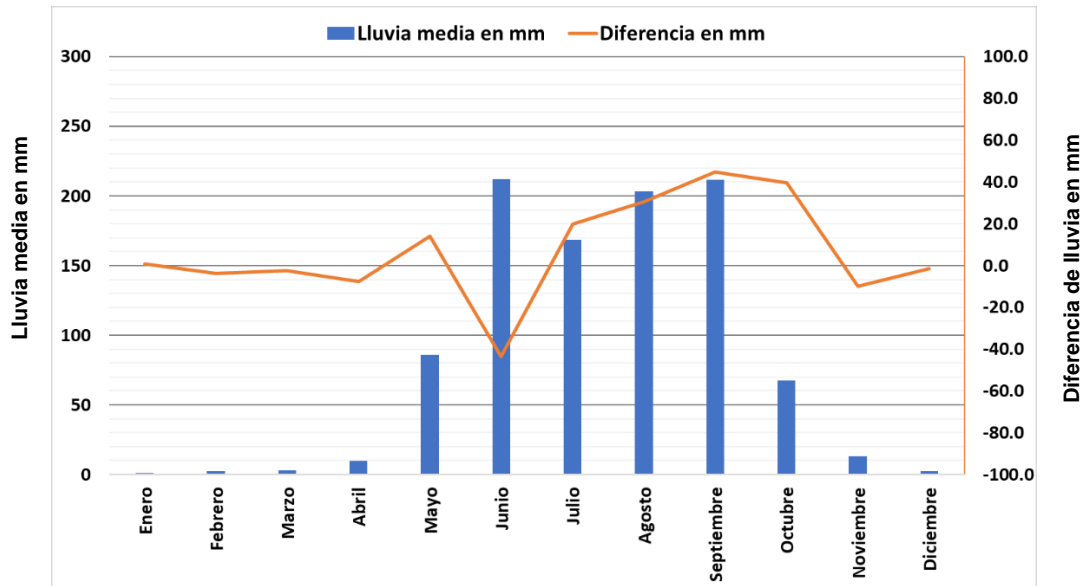


Índice de concentración de precipitación

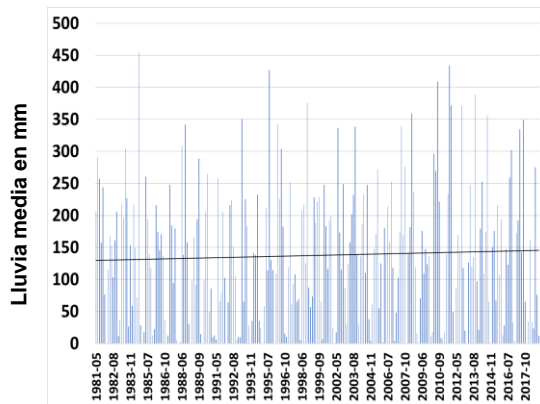


Estación 7202: Tuxtla DGE. Municipio: Tuxtla Gutiérrez. Región Económica: Metropolitana.

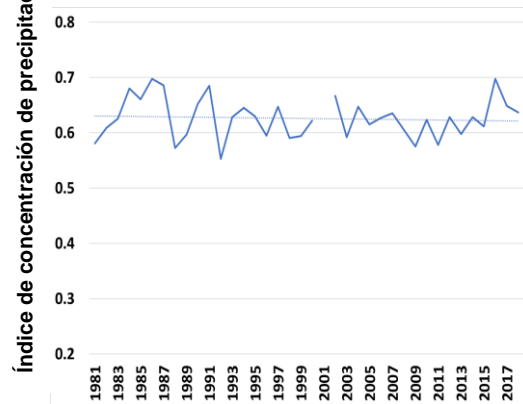
Lluvia media con diferencia de lluvia media de 1981-2000 y 2001-2018.



Lluvia mensual en mm y tendencia de 1981 a 2018.

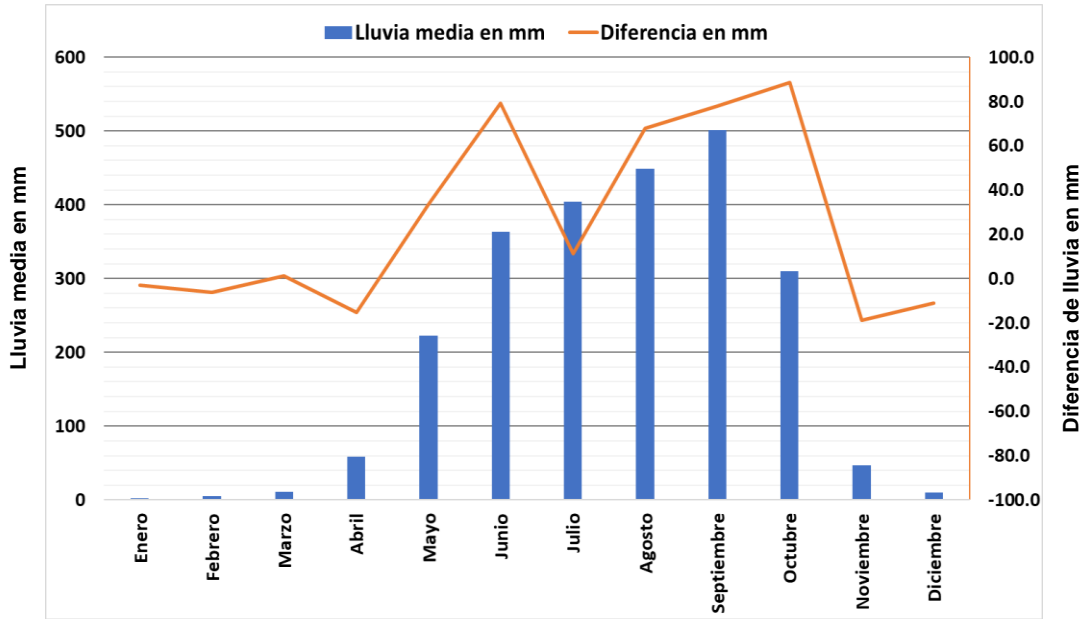


Índice de concentración de precipitación

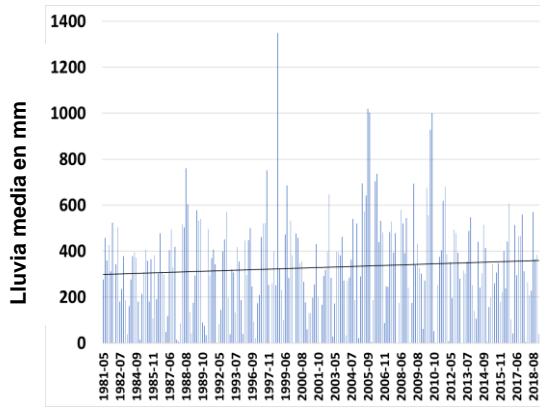


Estación 7208: Novillero. Municipio: Mapastepec. Región Económica: Soconusco.

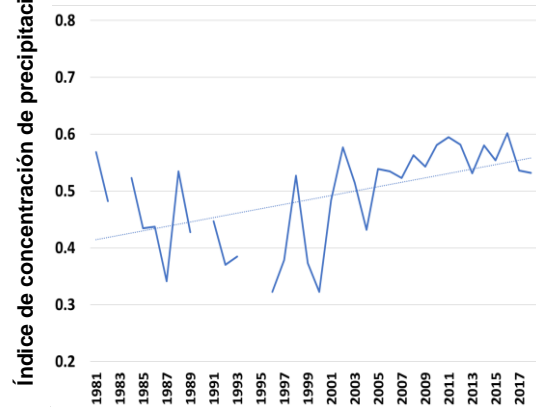
Lluvia media con diferencia de lluvia media de 1981-2000 y 2001-2018.



Lluvia mensual en mm y tendencia de 1981 a 2018.



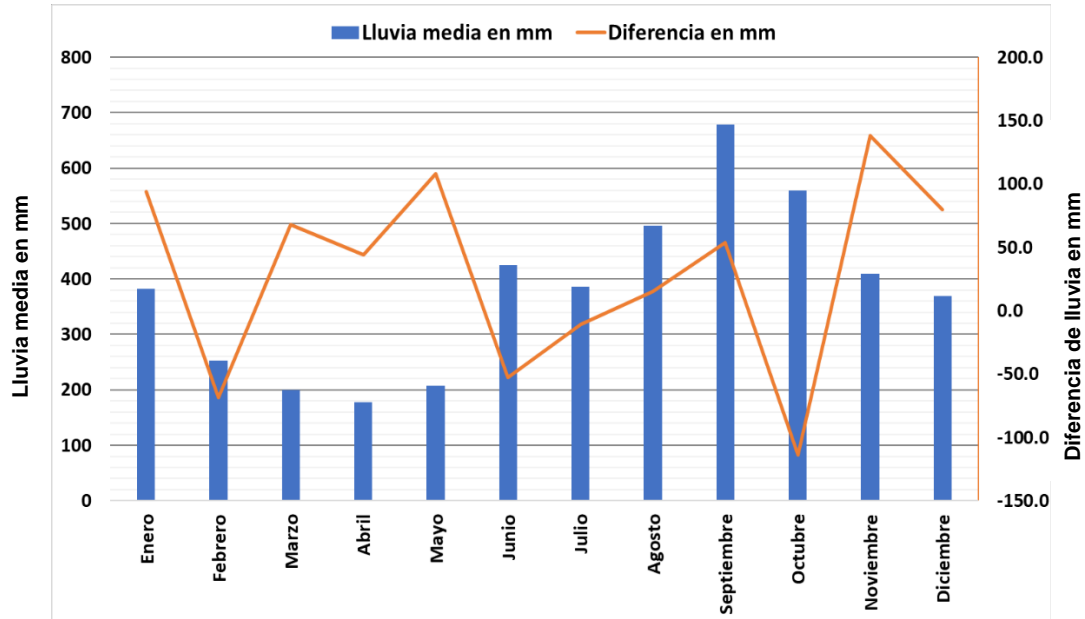
Índice de concentración de precipitación



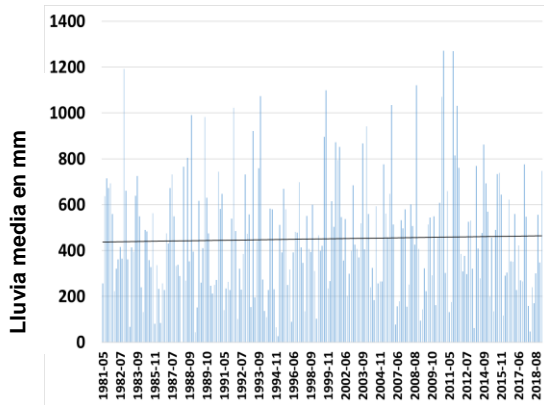


Estación 7217: Solosuchiapa. Municipio: Solosuchiapa. Región Económica: Norte.

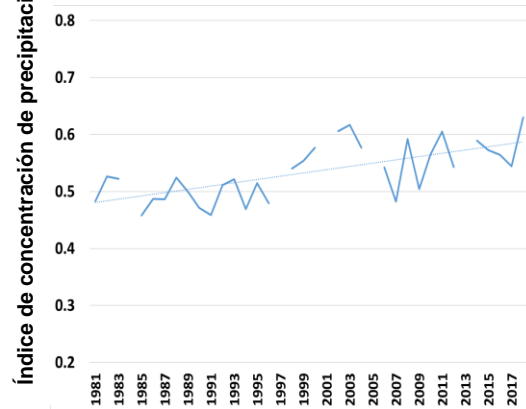
Lluvia media con diferencia de lluvia media de 1981-2000 y 2001-2018.



Lluvia mensual en mm y tendencia de 1981 a 2018.

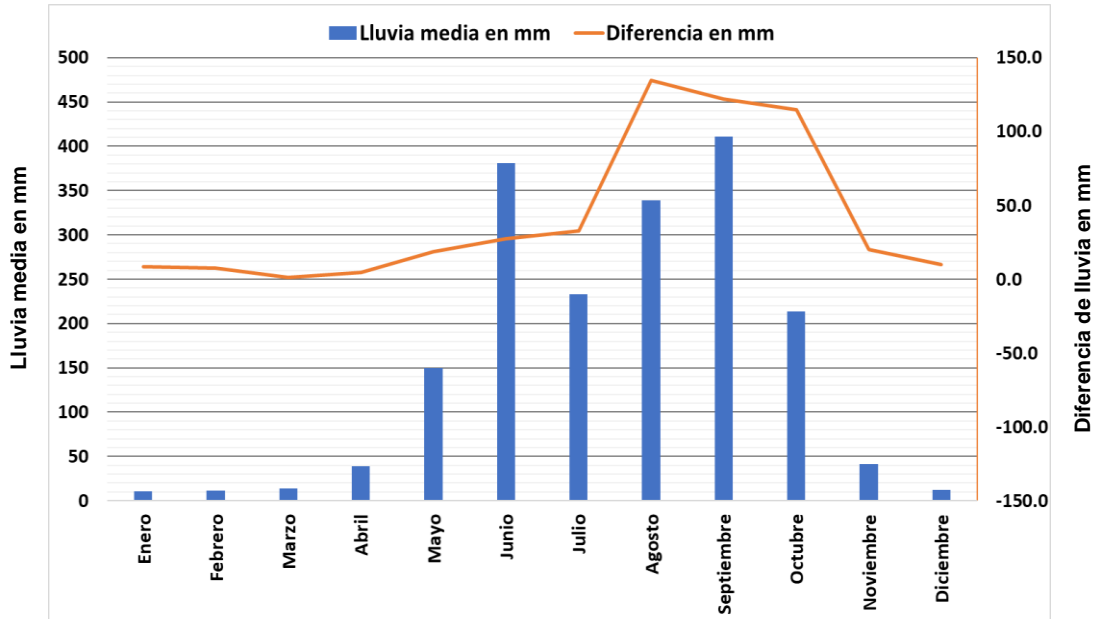


Índice de concentración de precipitación

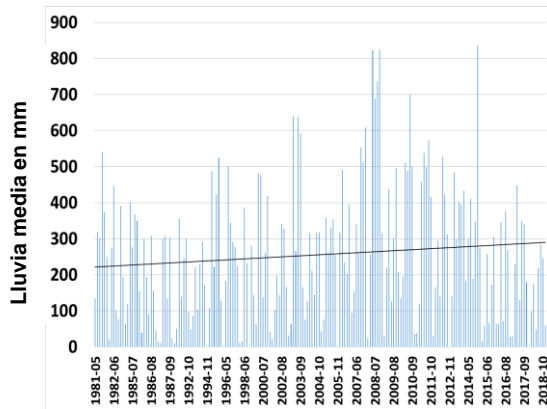


Estación 7224: Chicomuselo. Municipio: Chicomuselo. Región Económica: Sierra.

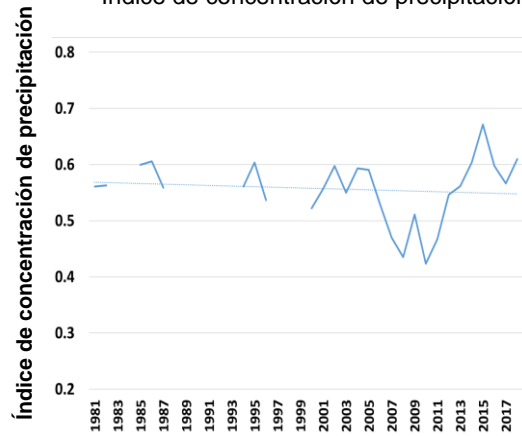
Lluvia media con diferencia de lluvia media de 1981-2000 y 2001-2018.



Lluvia mensual en mm y tendencia de 1981 a 2018.

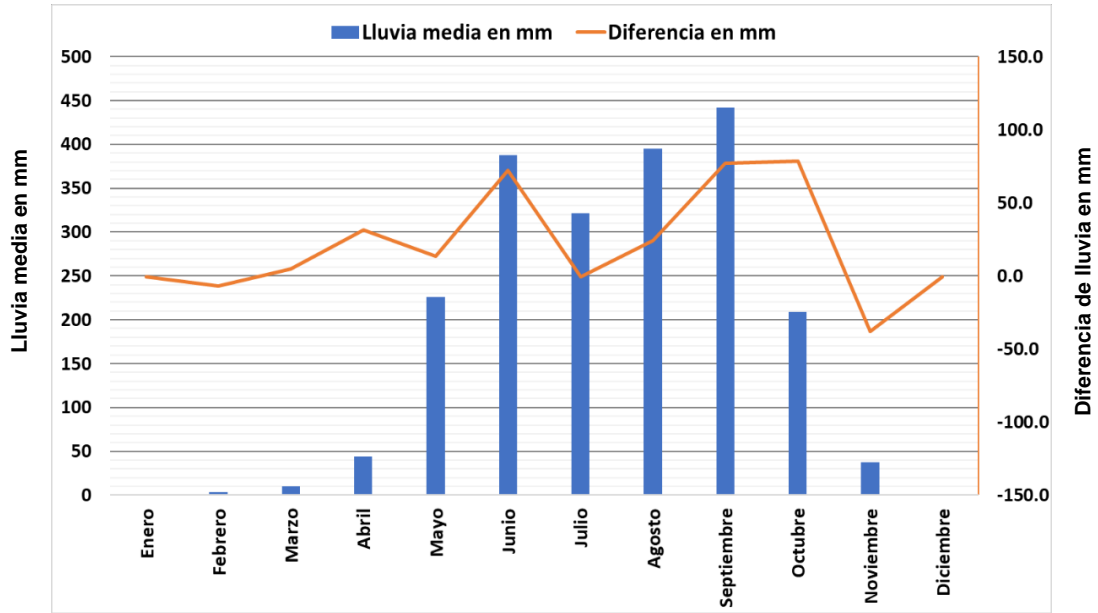


Índice de concentración de precipitación

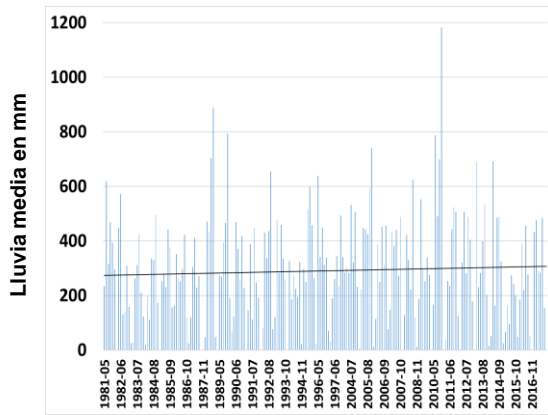


Estación 7228: Tres Picos. Municipio: Tonalá. Región Económica: Istmo-Costa.

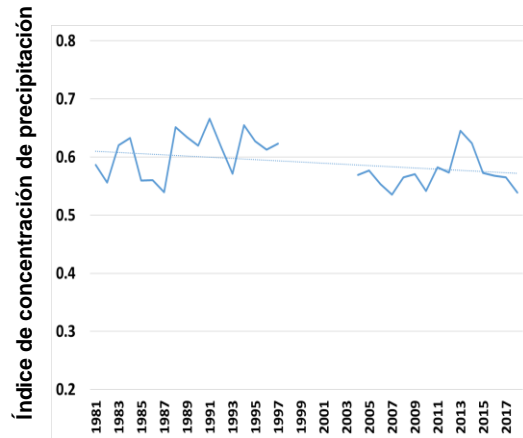
Lluvia media con diferencia de lluvia media de 1981-2000 y 2001-2018.



Lluvia mensual en mm y tendencia de 1981 a 2018.

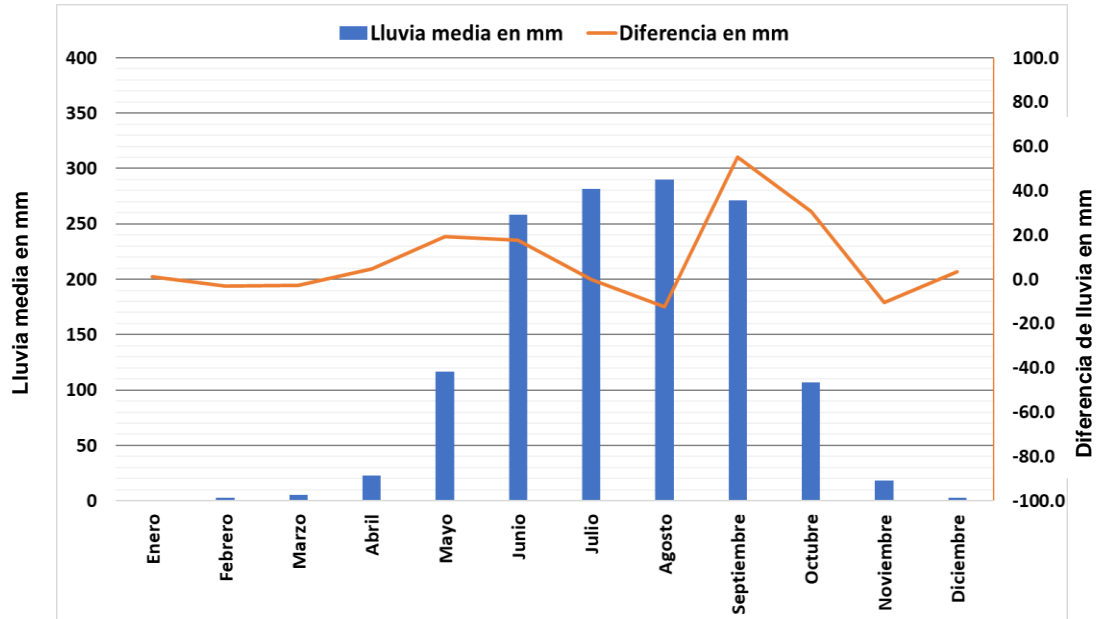


Índice de concentración de precipitación

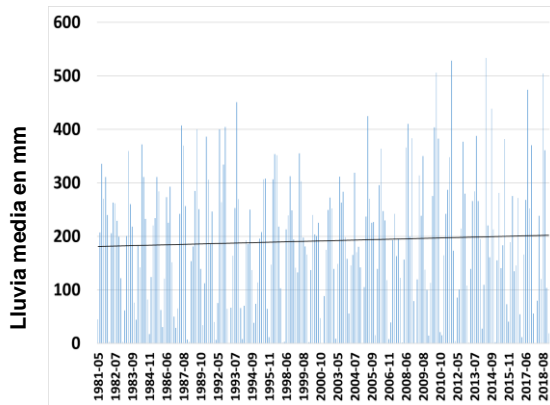


Estación 7236: Revolución Mexicana. Municipio: Villa Corzo. Región Económica: Frailesca.

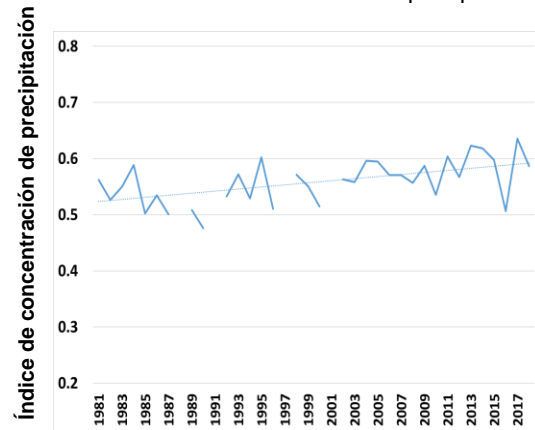
Lluvia media con diferencia de lluvia media de 1981-2000 y 2001-2018.



Lluvia mensual en mm y tendencia de 1981 a 2018.

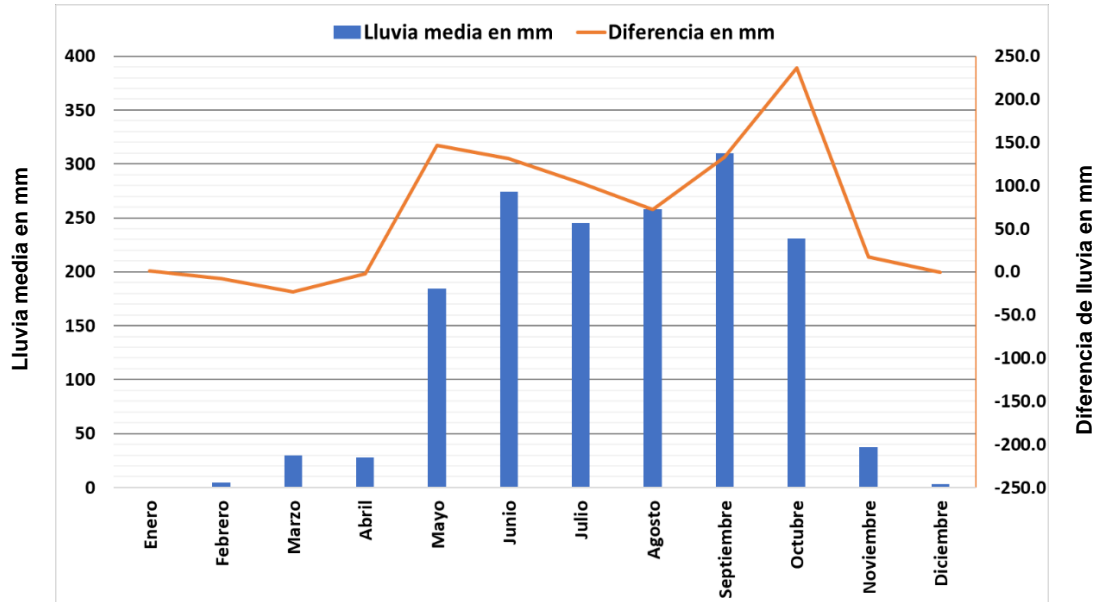


Índice de concentración de precipitación

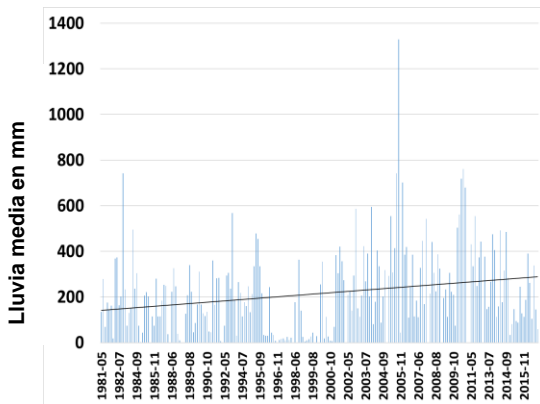


Estación 7320: Salvación. Municipio: Villa Comaltitlán. Región Económica: Soconusco.

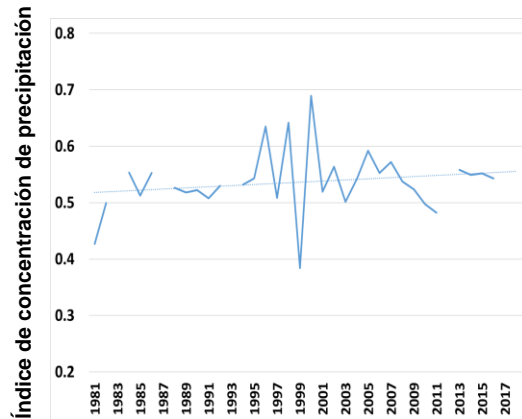
Lluvia media con diferencia de lluvia media de 1981-2000 y 2001-2018.



Lluvia mensual en mm y tendencia de 1981 a 2018.

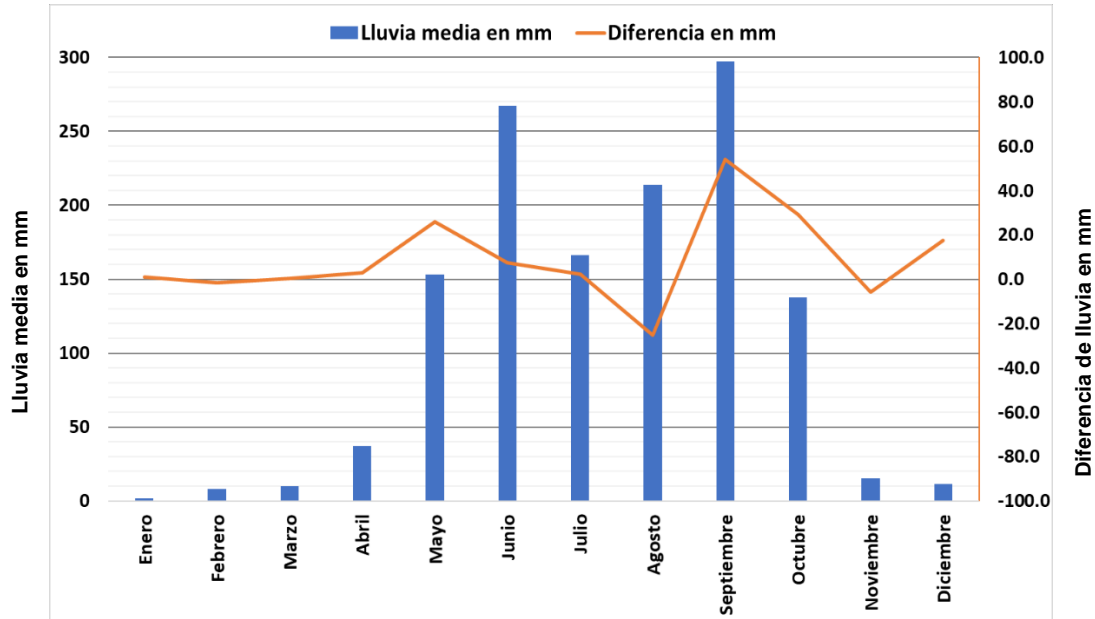


Índice de concentración de precipitación

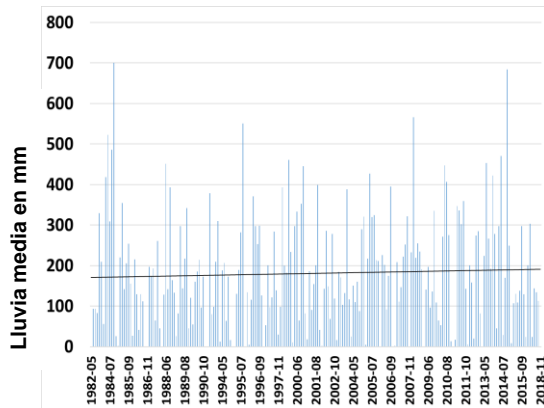


Estación 7331: Villa Las Rosas. Municipio: Las Rosas. Región Económica: Meseta Comiteca.

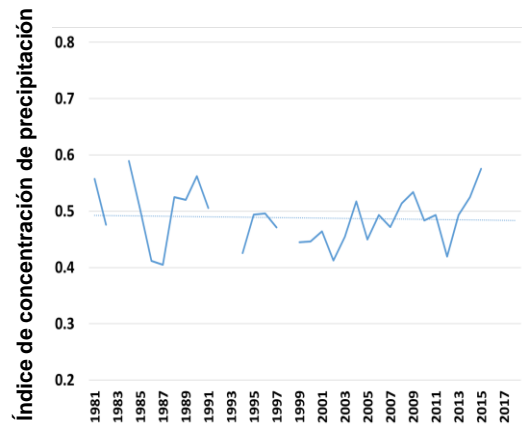
Lluvia media con diferencia de lluvia media de 1981-2000 y 2001-2018.



Lluvia mensual en mm y tendencia de 1981 a 2018.

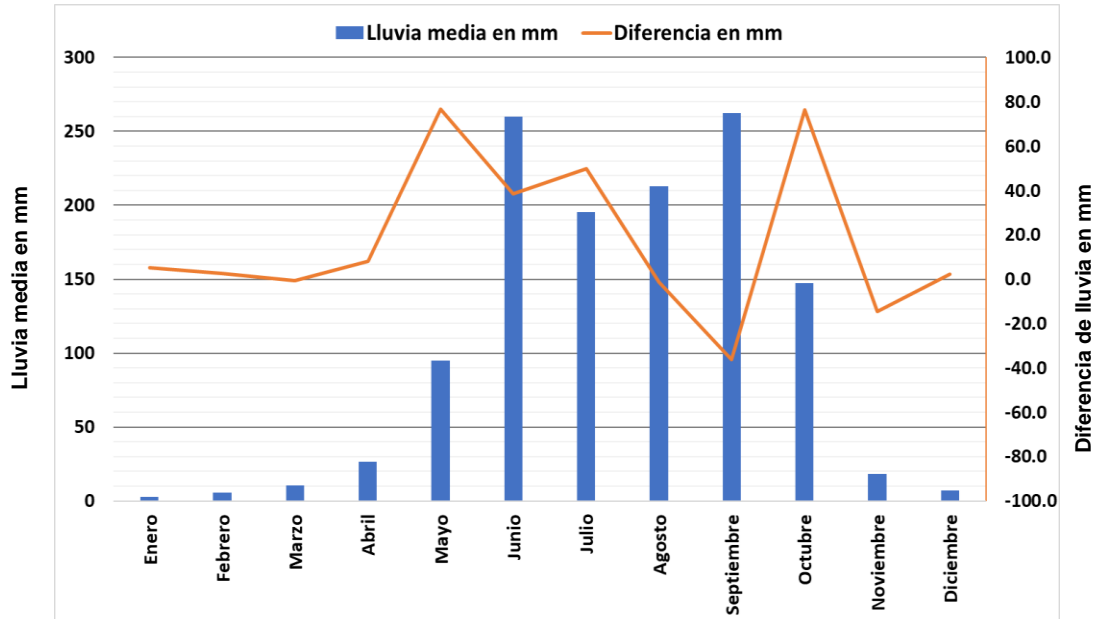


Índice de concentración de precipitación

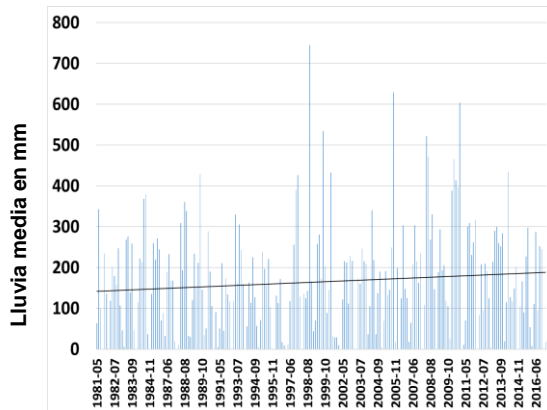


Estación 7333: Buenos Aires. Municipio: Motozintla. Región Económica: Sierra.

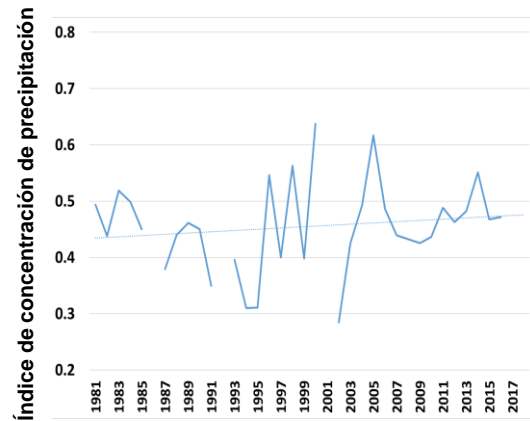
Lluvia media con diferencia de lluvia media de 1981-2000 y 2001-2018.



Lluvia mensual en mm y tendencia de 1981 a 2018.

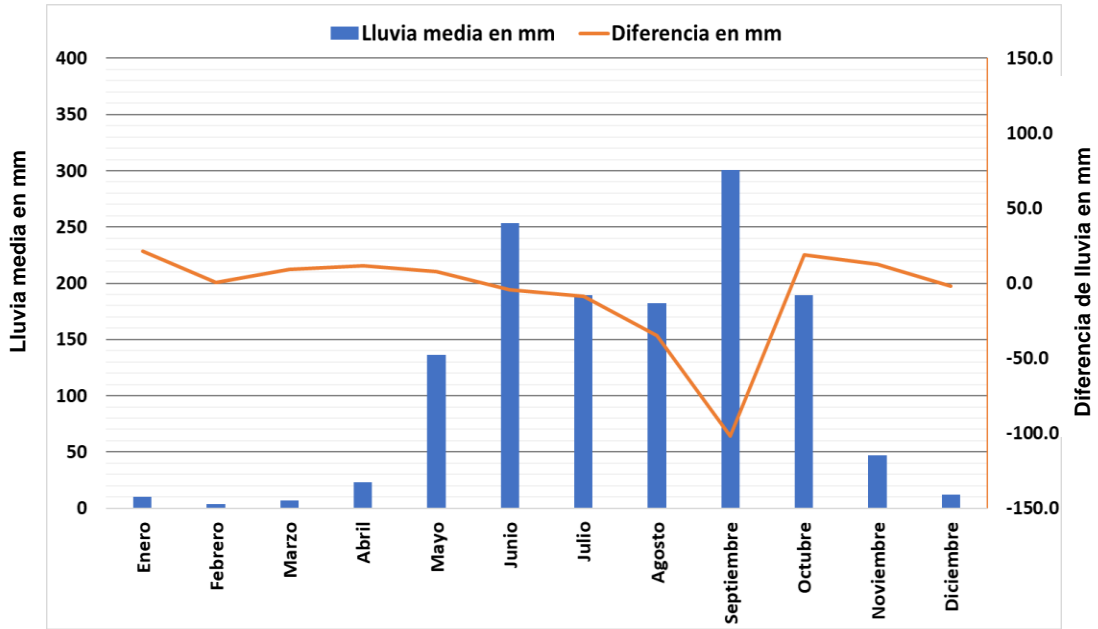


Índice de concentración de precipitación

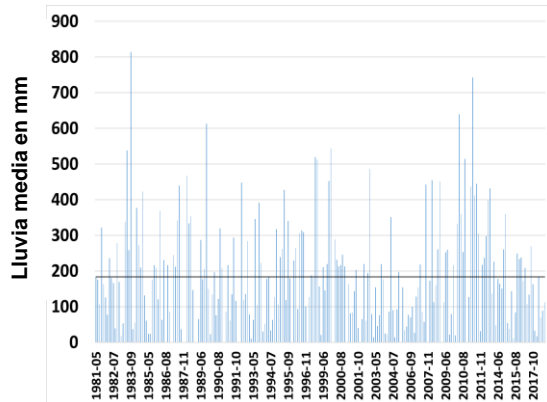


Estación 7336: Plan de Iguala. Municipio: Huehuetán. Región Económica: Soconusco.

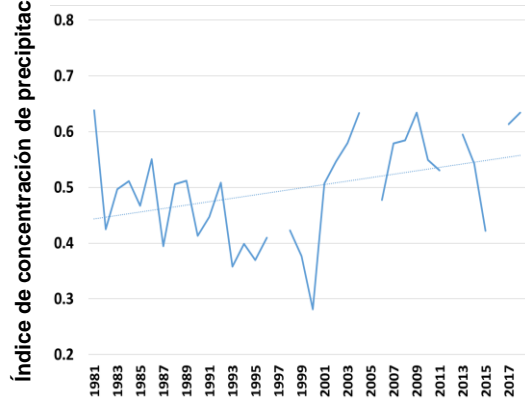
Lluvia media con diferencia de lluvia media de 1981-2000 y 2001-2018.



Lluvia mensual en mm y tendencia de 1981 a 2018.



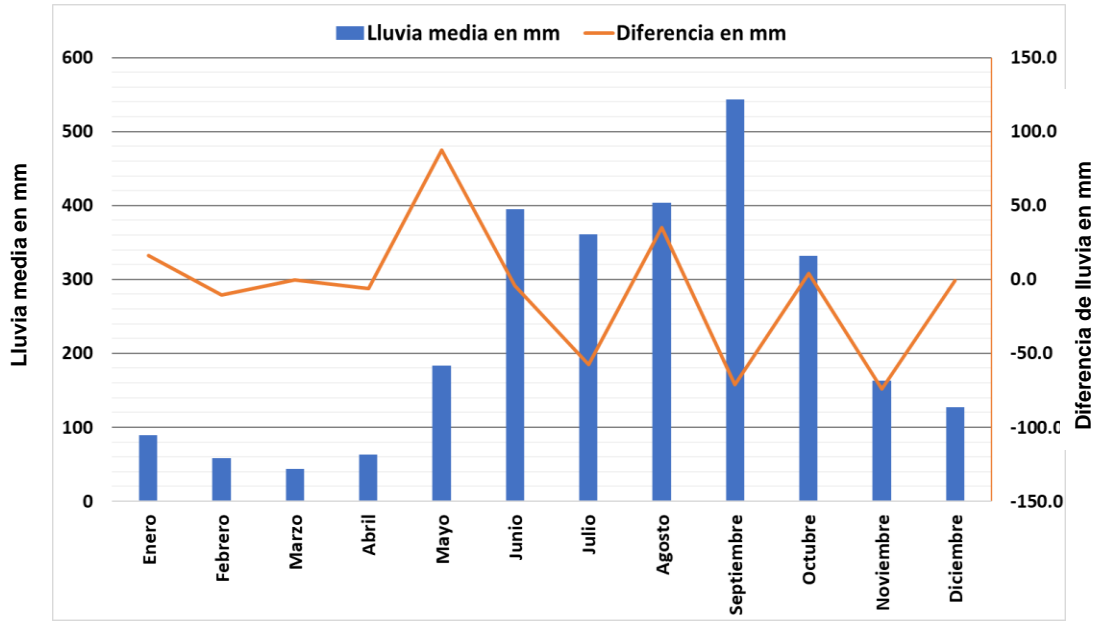
Índice de concentración de precipitación



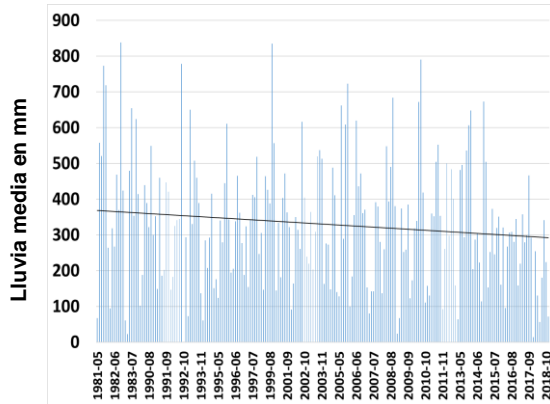


Estación 7337: Lacantún. Municipio: Ocosingo. Región Económica: Selva.

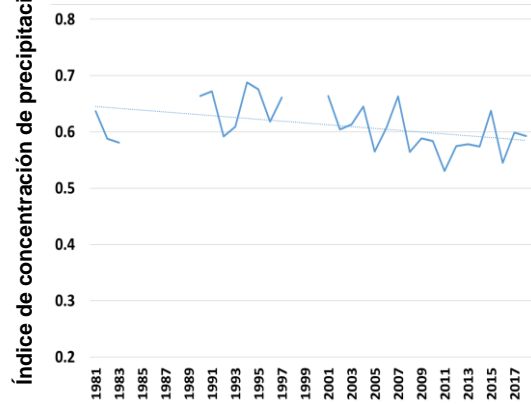
Lluvia media con diferencia de lluvia media de 1981-2000 y 2001-2018.



Lluvia mensual en mm y tendencia de 1981 a 2018.

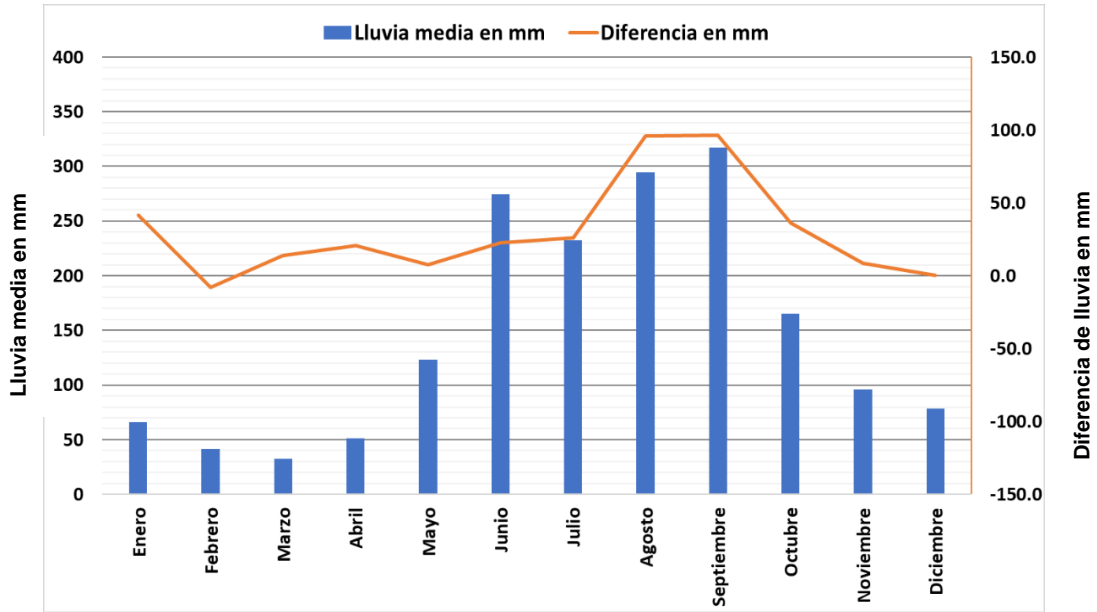


Índice de concentración de precipitación

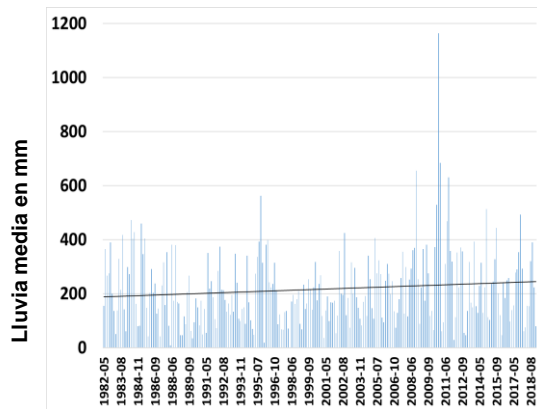


Estación 7355: Unión Zaragoza. Municipio: Jitol. Región Económica: Bosques.

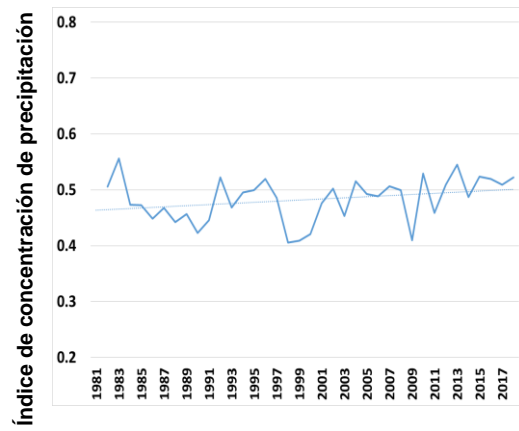
Lluvia media con diferencia de lluvia media de 1981-2000 y 2001-2018.



Lluvia mensual en mm y tendencia de 1981 a 2018.

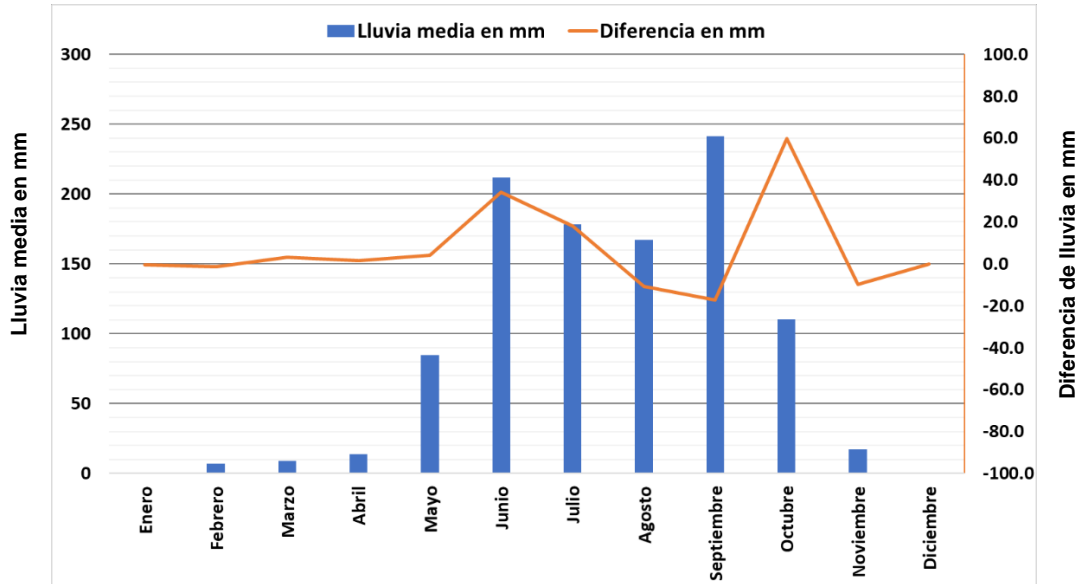


Índice de concentración de precipitación

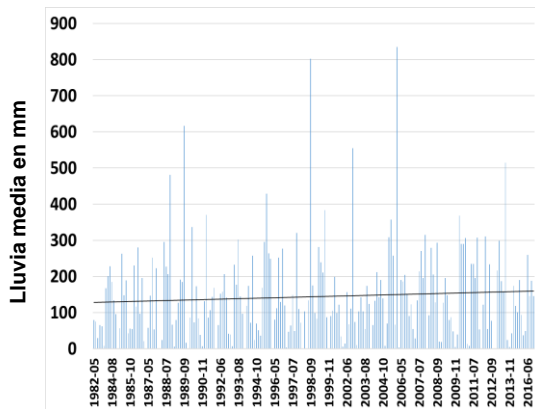


Estación 7362: Rosendo Salazar. Municipio: Cintalapa. Región Económica: Valles Zoque.

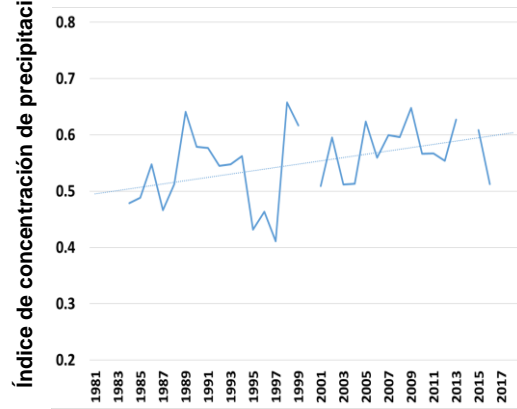
Lluvia media con diferencia de lluvia media de 1981-2000 y 2001-2018.



Lluvia mensual en mm y tendencia de 1981 a 2018.

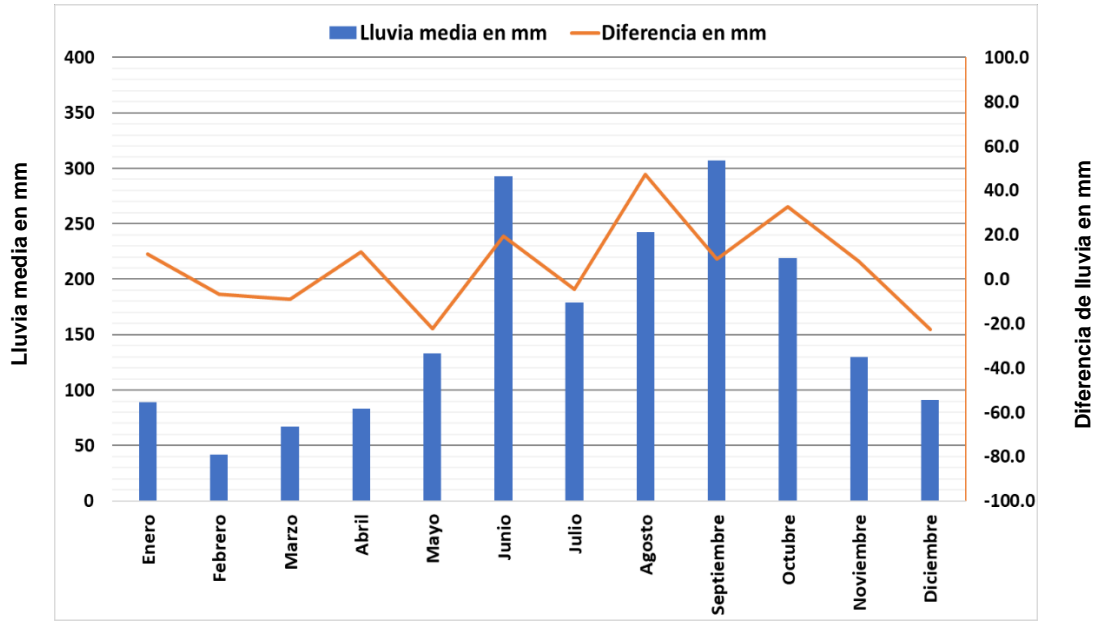


Índice de concentración de precipitación

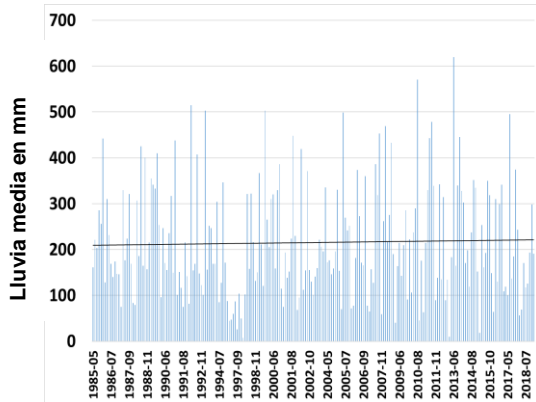


Estación 7389: Sitalá. Municipio: Sitalá. Región Económica: Tulijá.

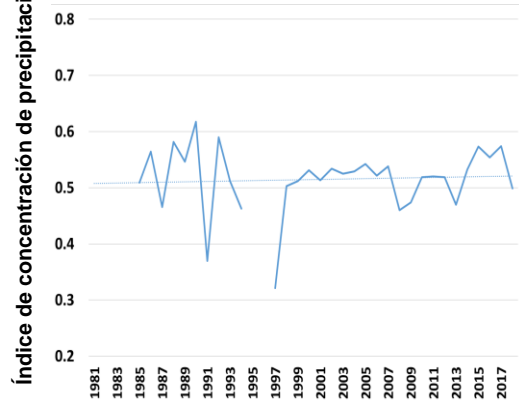
Lluvia media con diferencia de lluvia media de 1981-2000 y 2001-2018.



Lluvia mensual en mm y tendencia de 1981 a 2018.

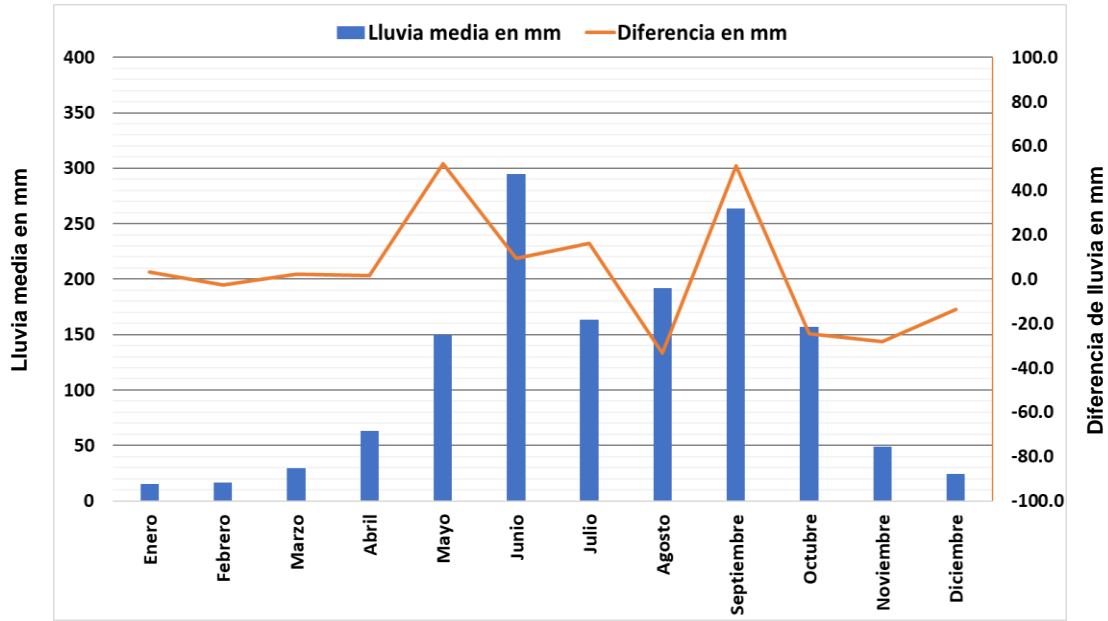


Índice de concentración de precipitación

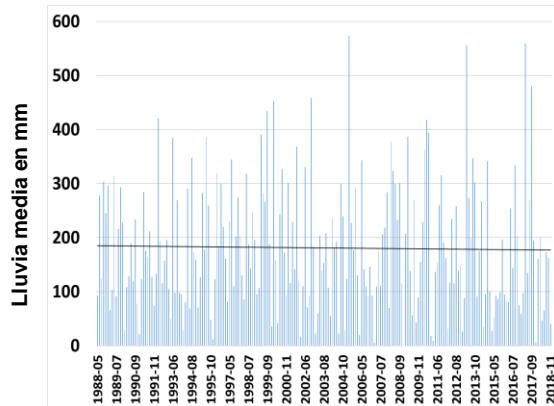


Estación 7391: Yasha. Municipio: Las Margaritas. Región Económica: Meseta Comiteca.

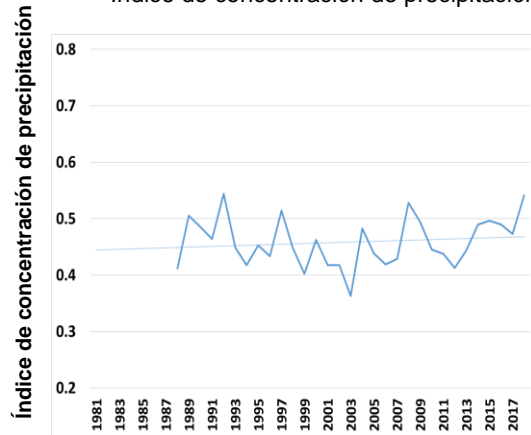
Lluvia media con diferencia de lluvia media de 1981-2000 y 2001-2018.



Lluvia mensual en mm y tendencia de 1981 a 2018.

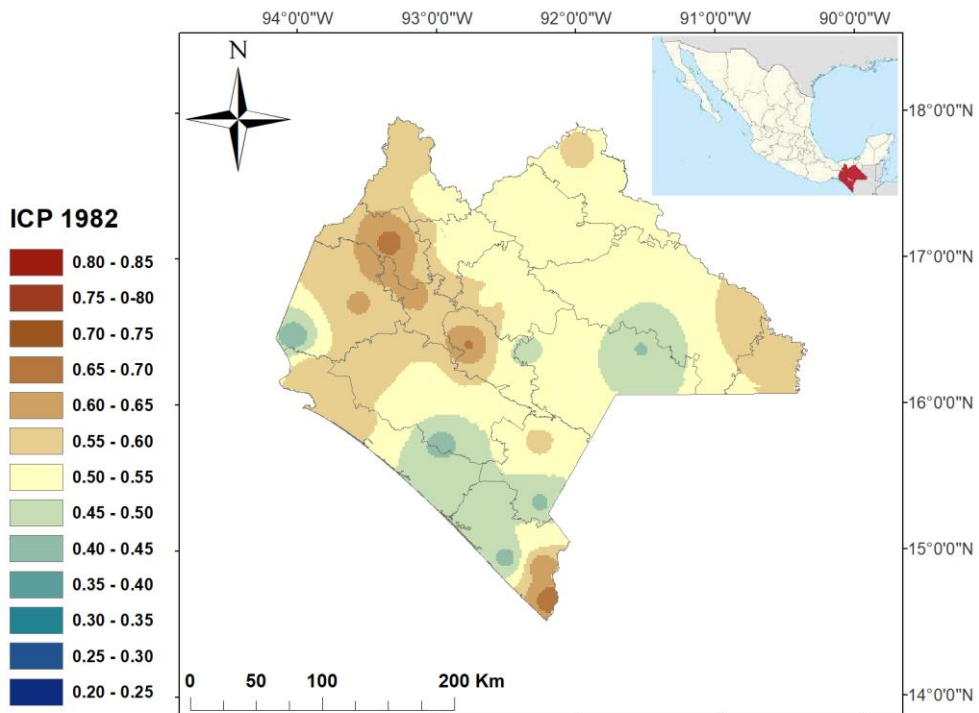
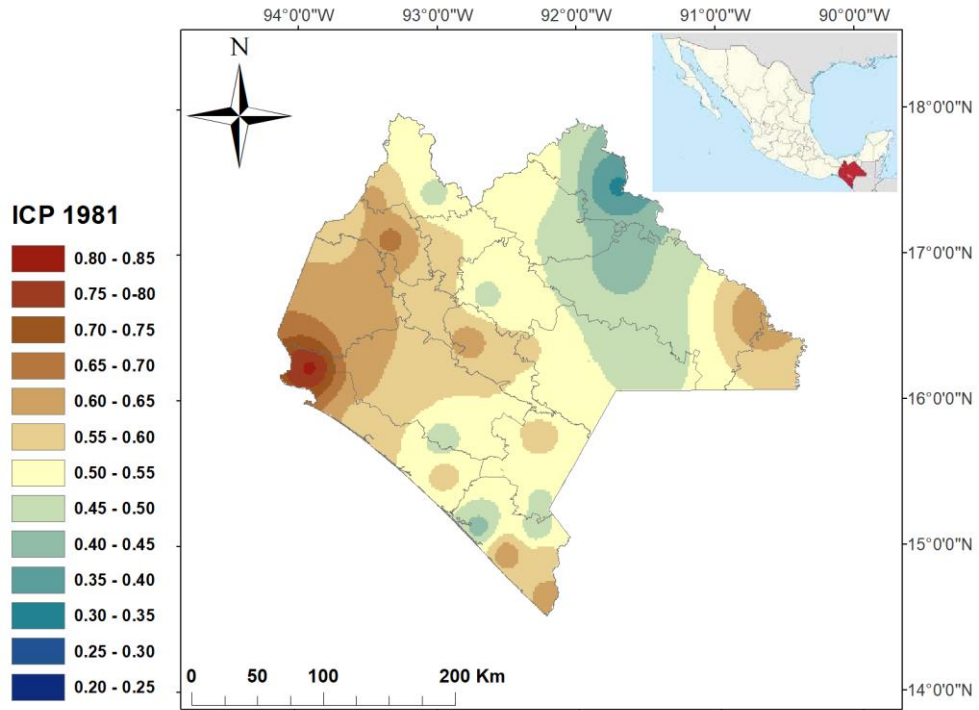


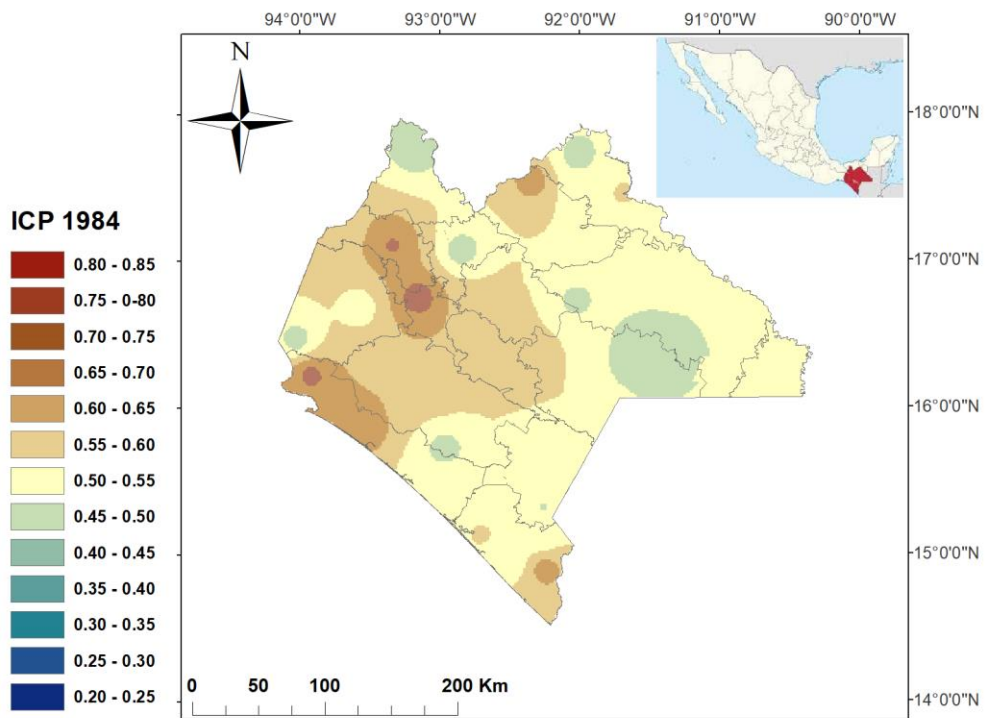
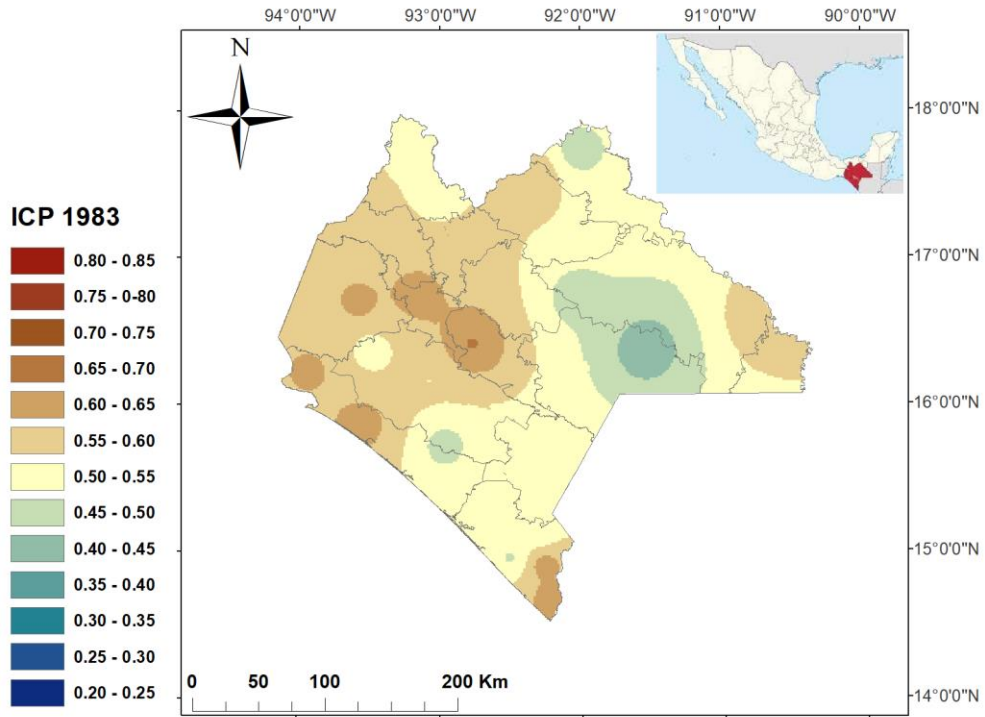
Índice de concentración de precipitación



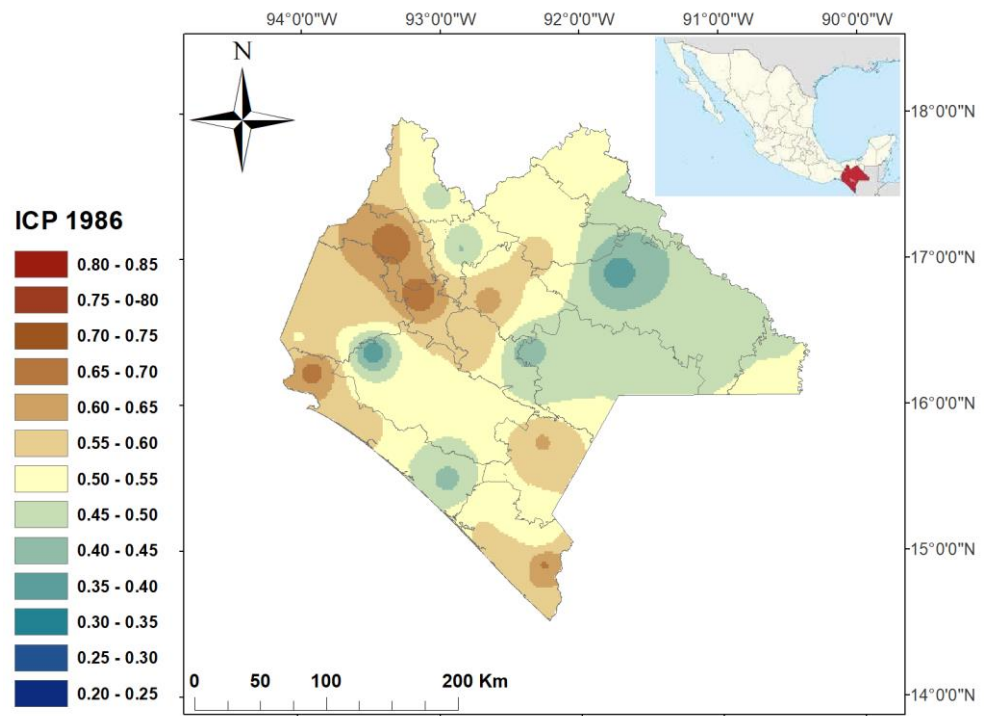
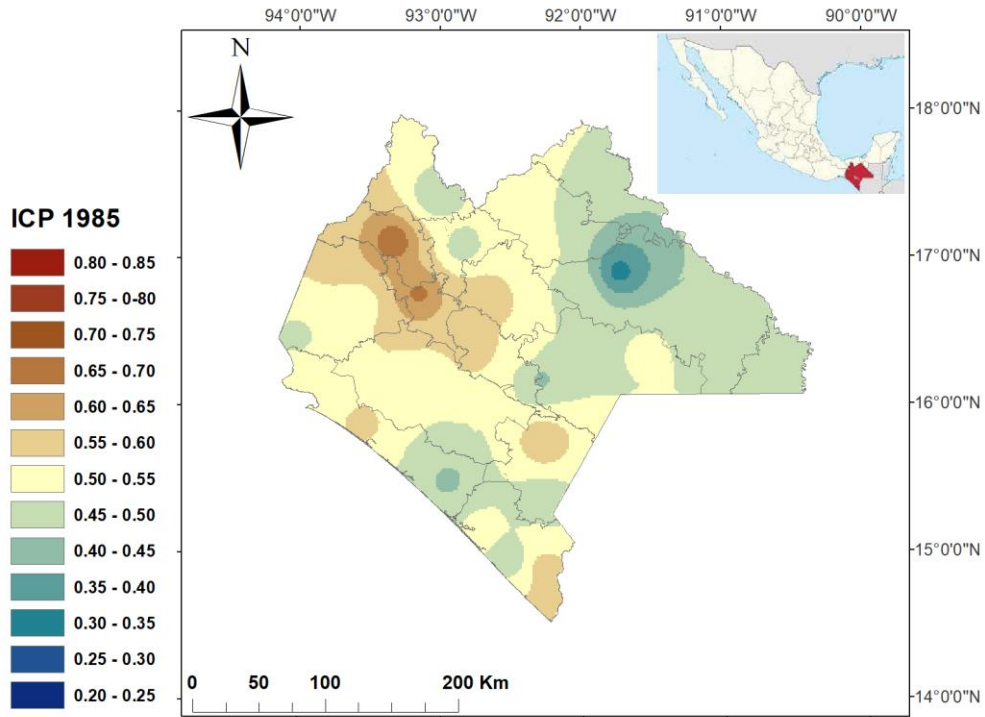
## **ANEXO 2**

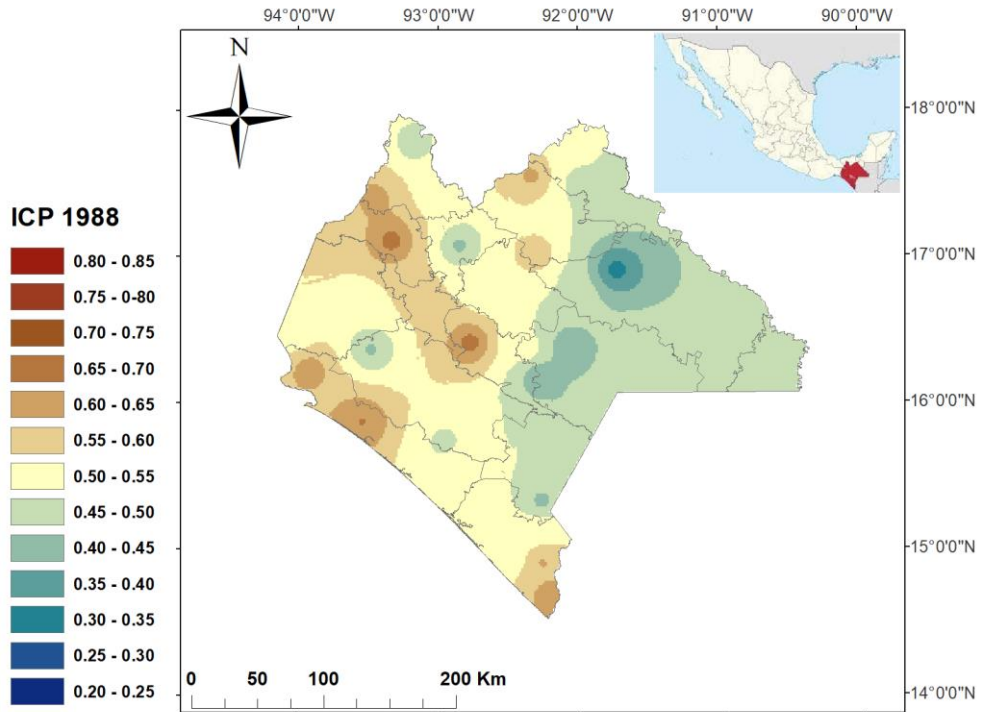
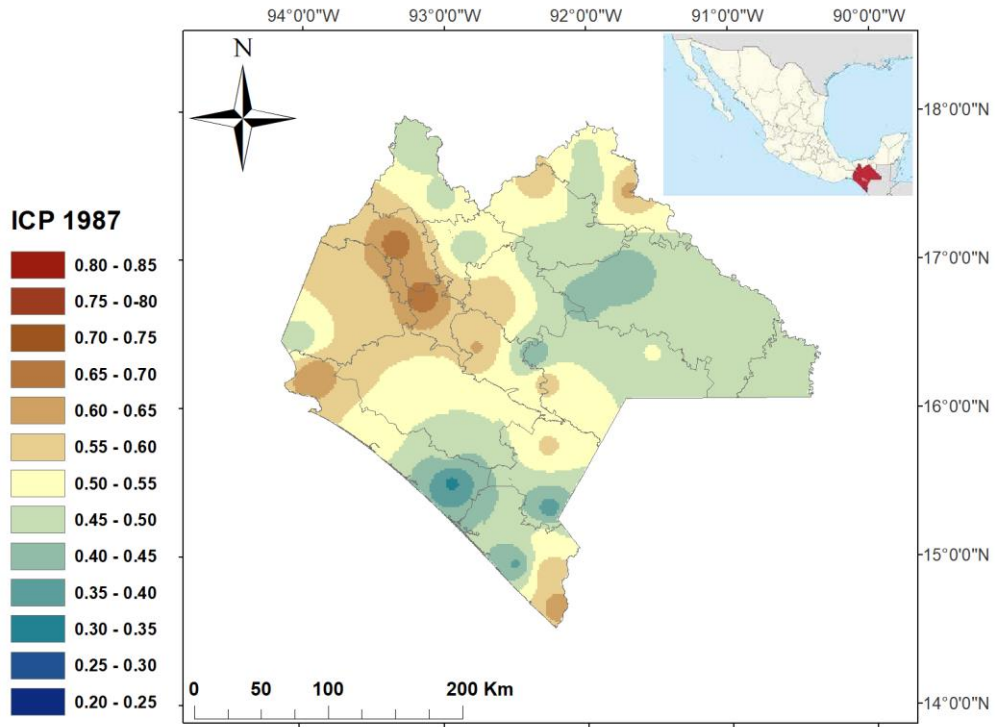
**Mapas de distribución espacial anual del índice de concentración para la precipitación desde 1981 hasta 2018.**

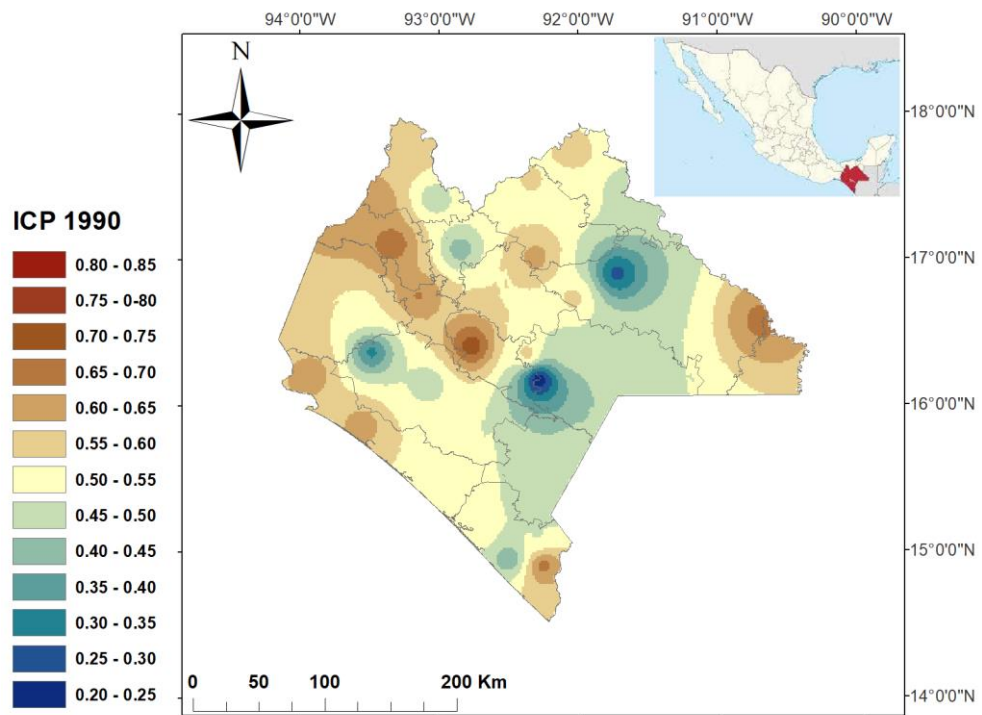
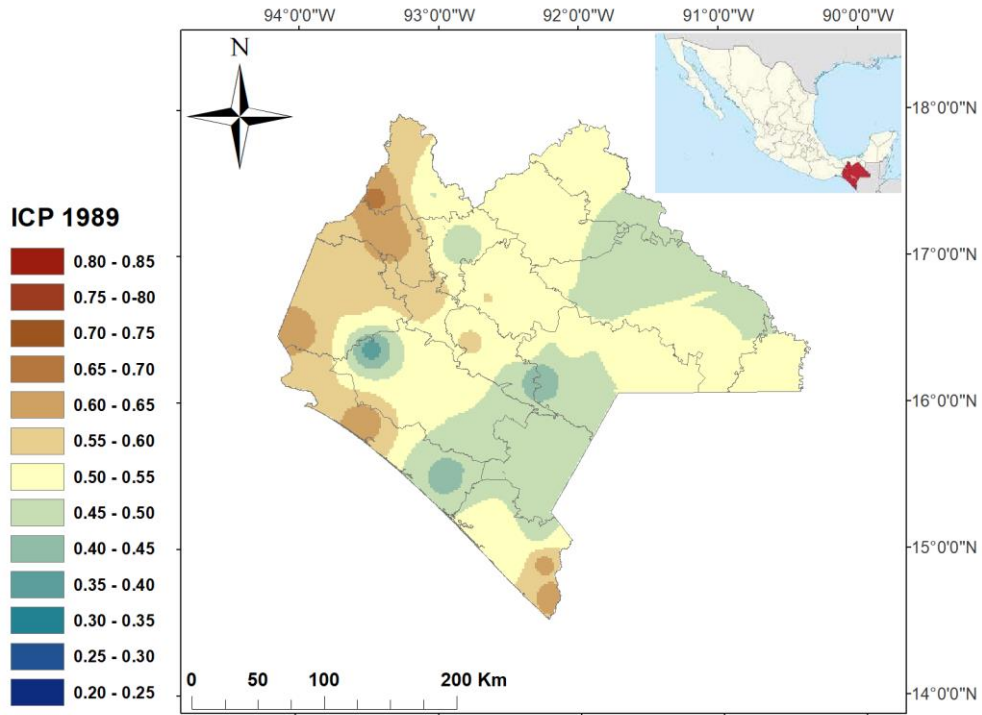


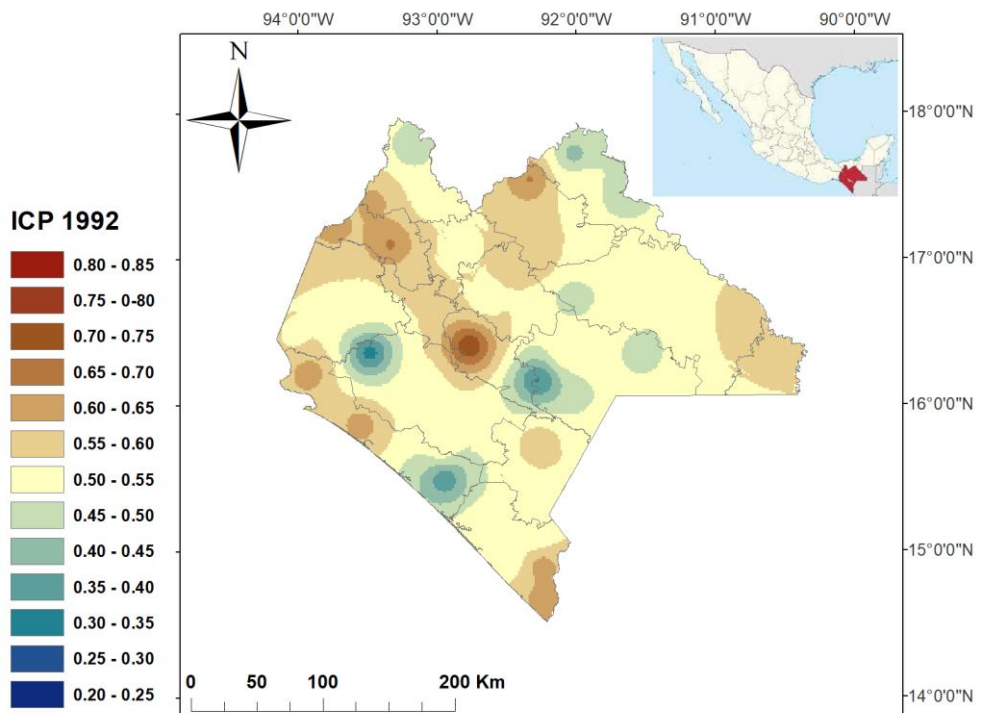
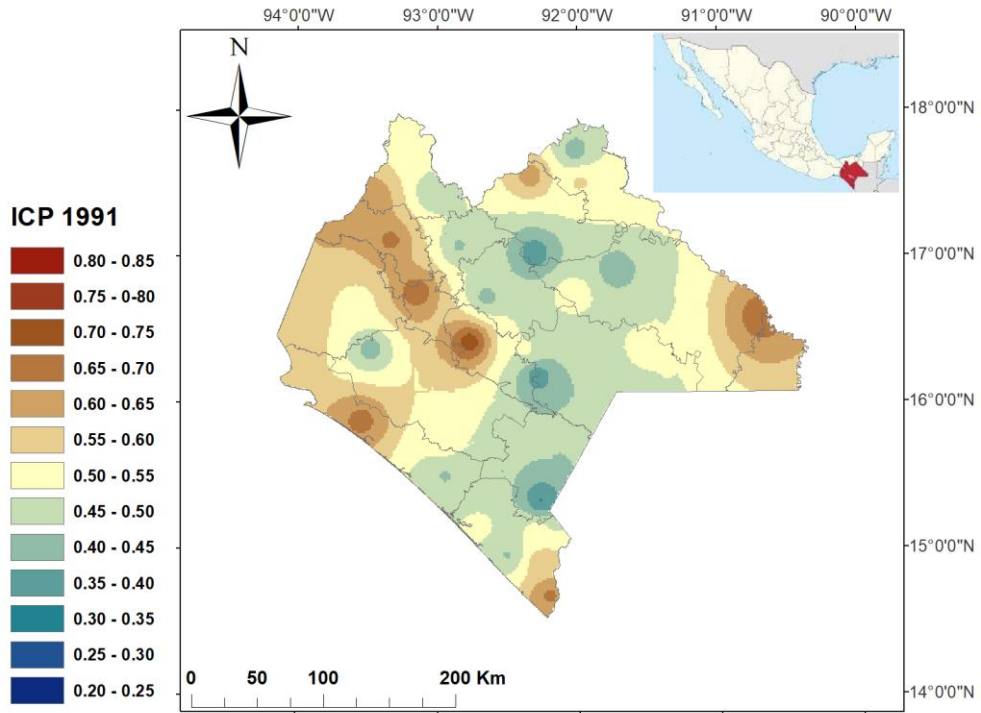


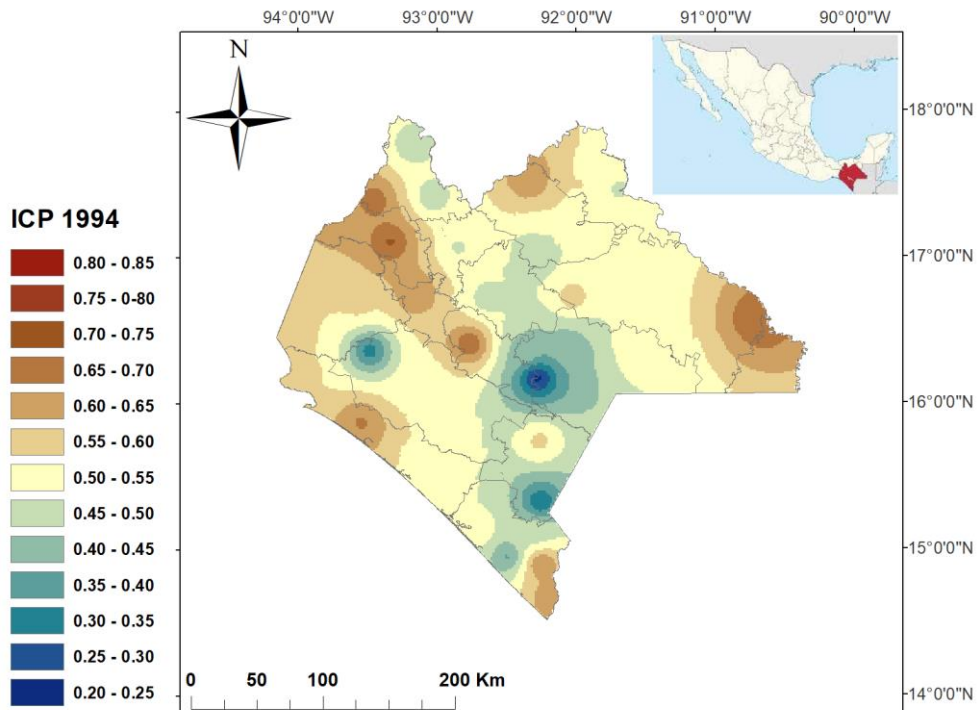
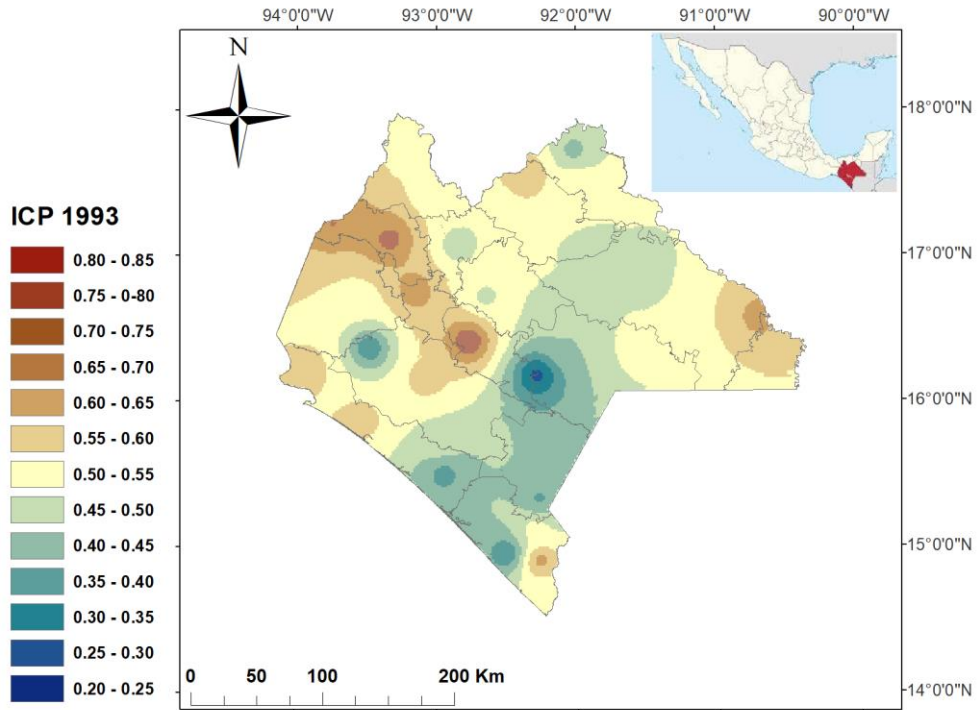


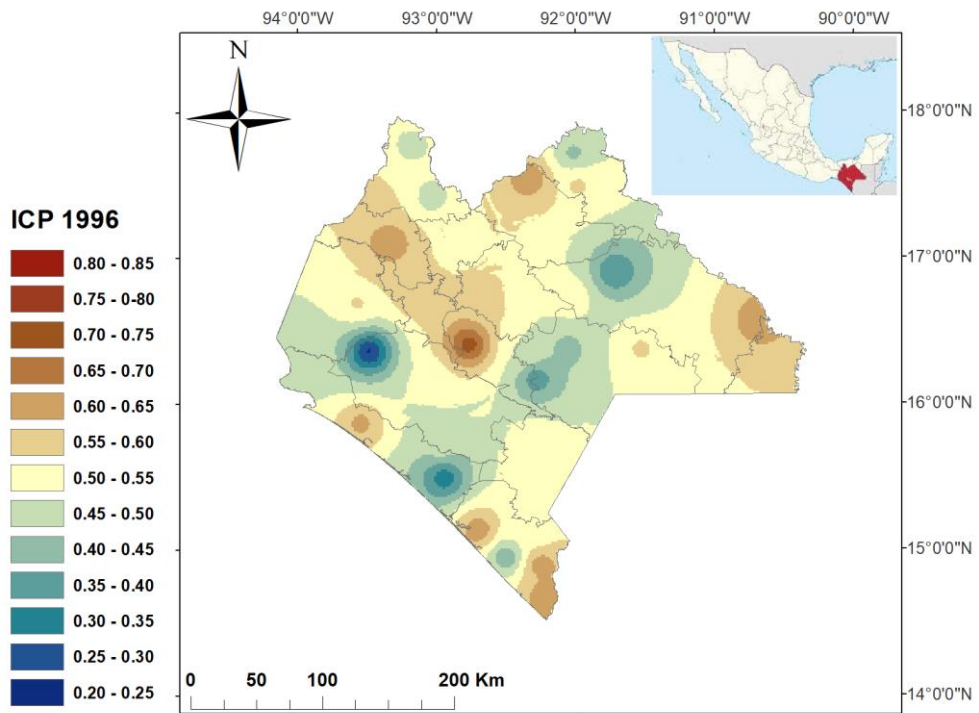
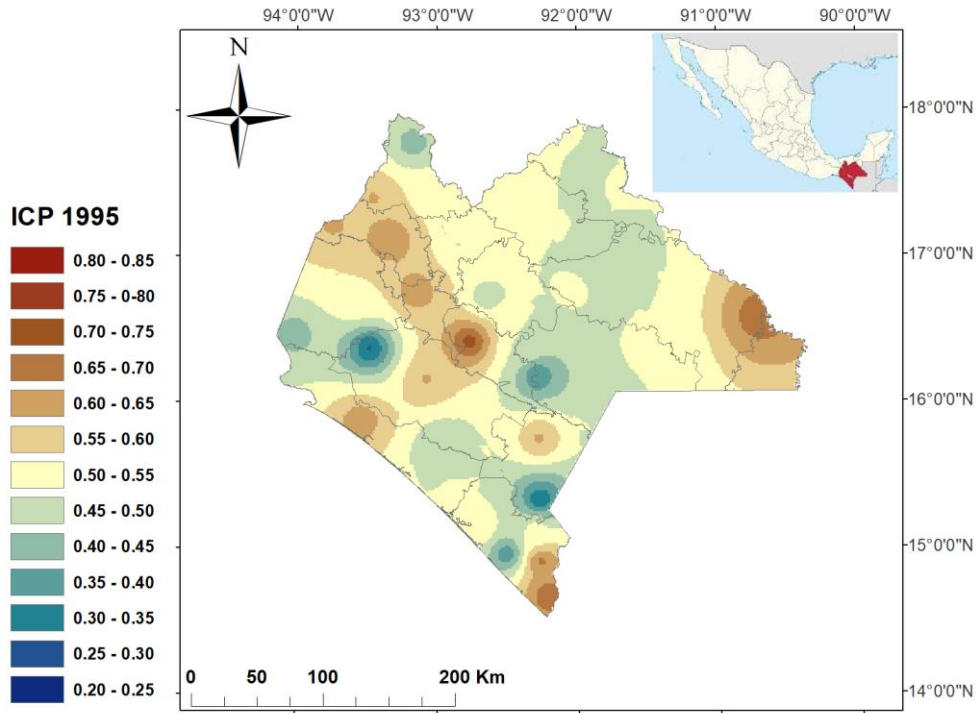


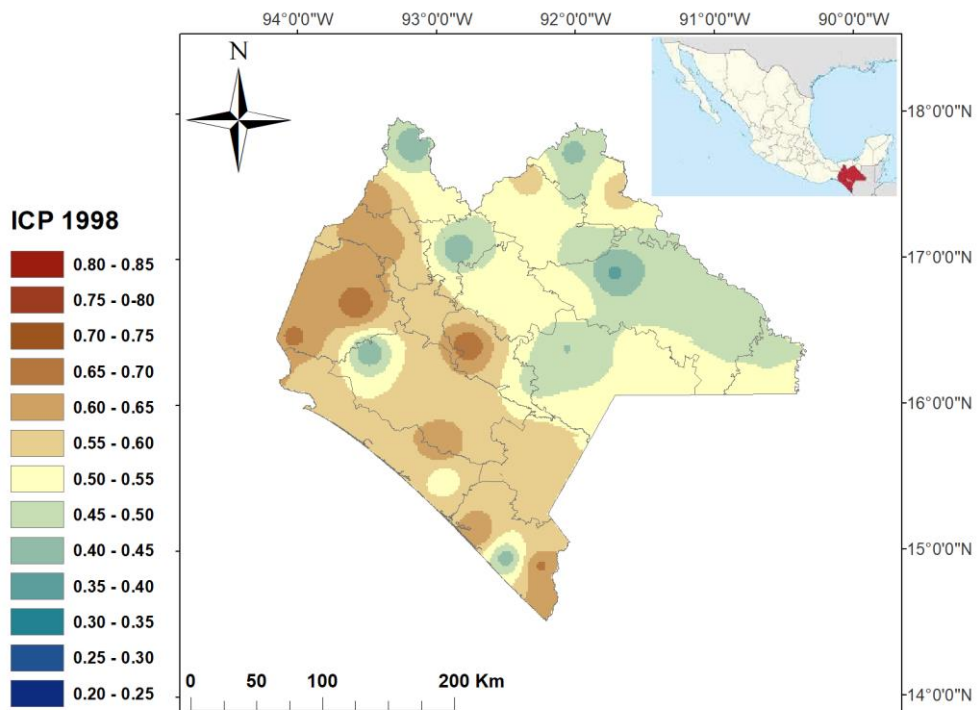
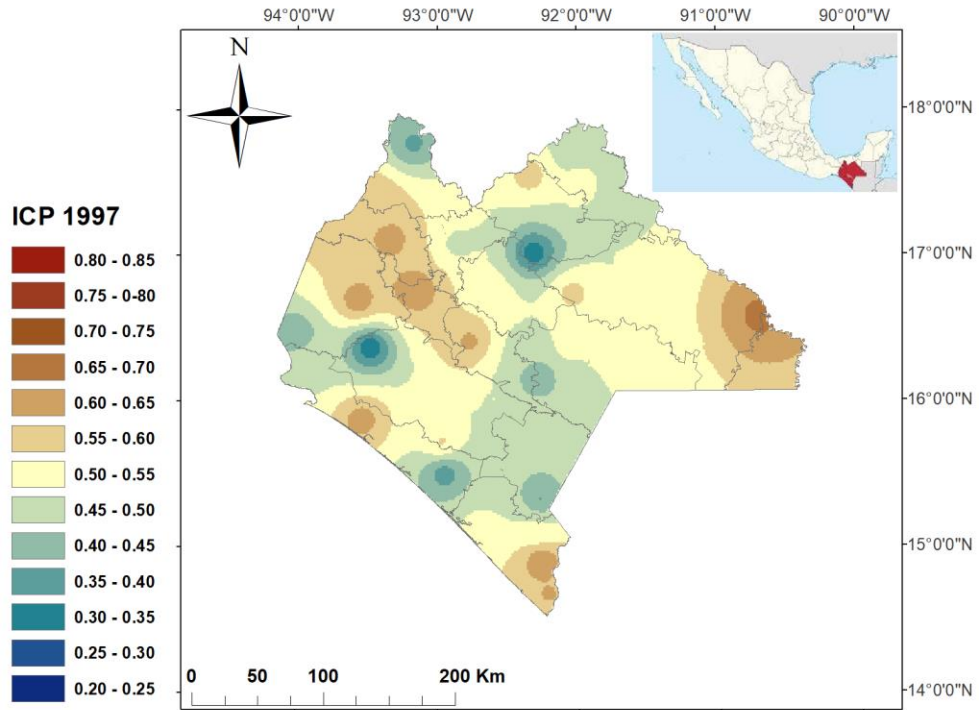


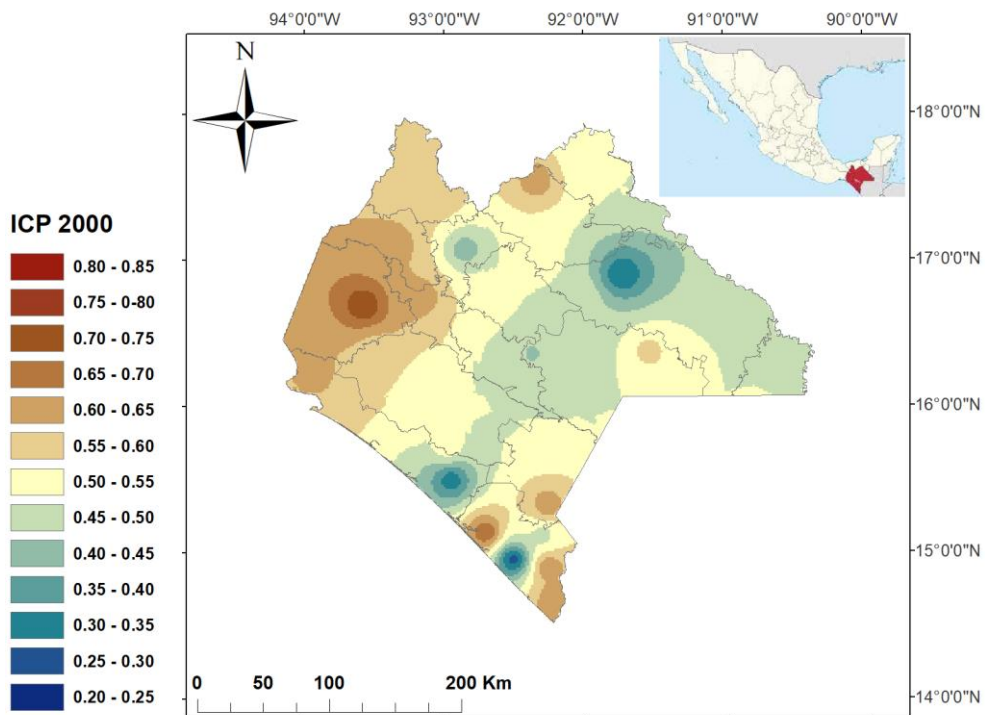
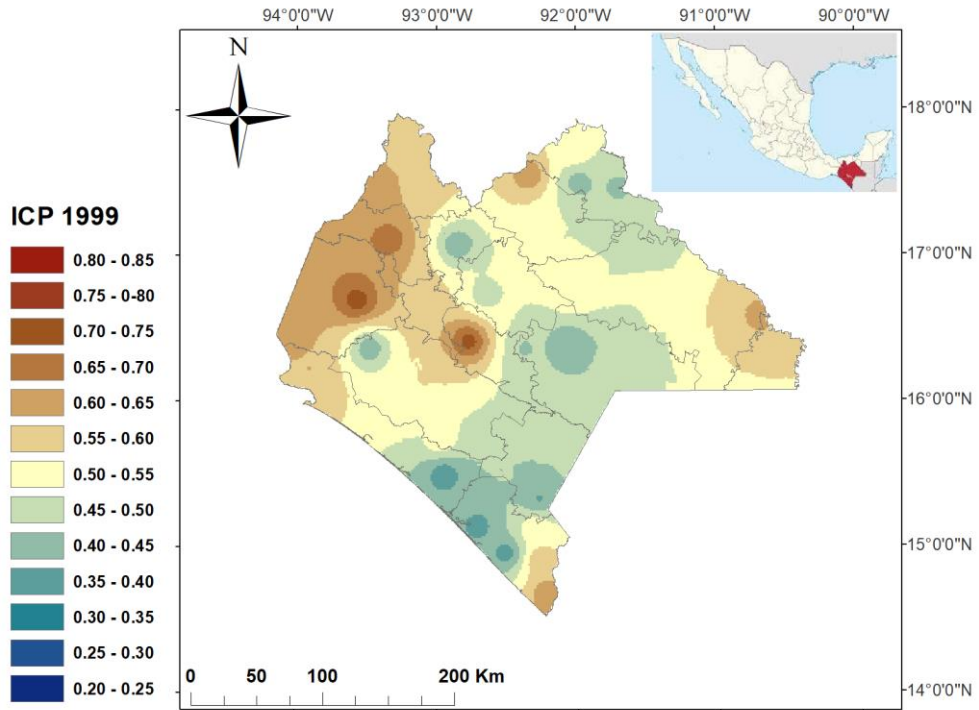




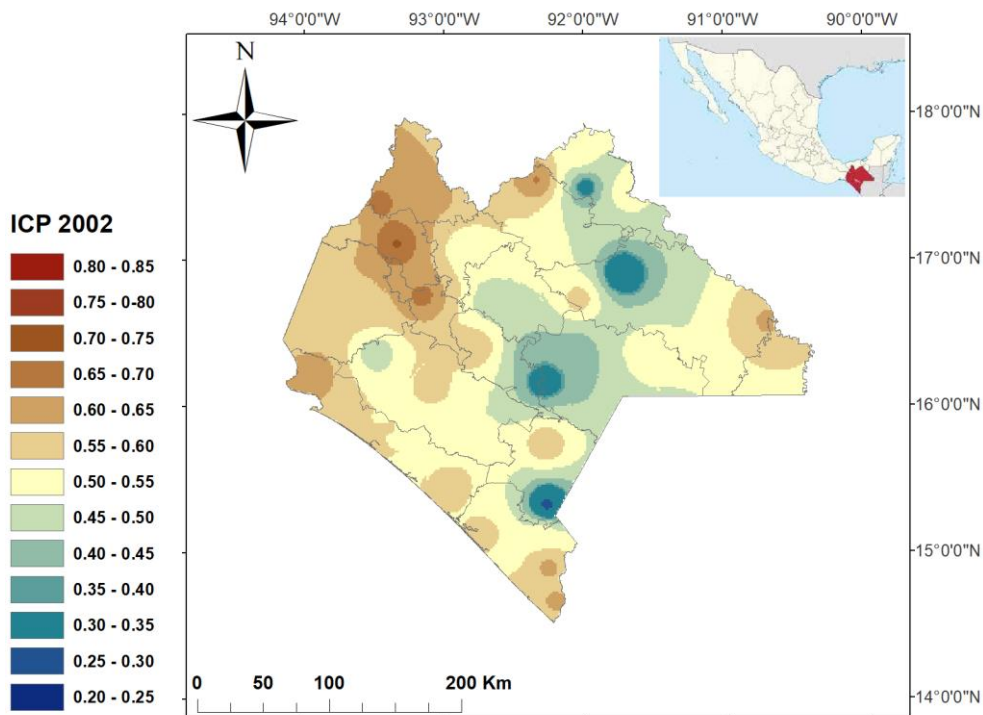
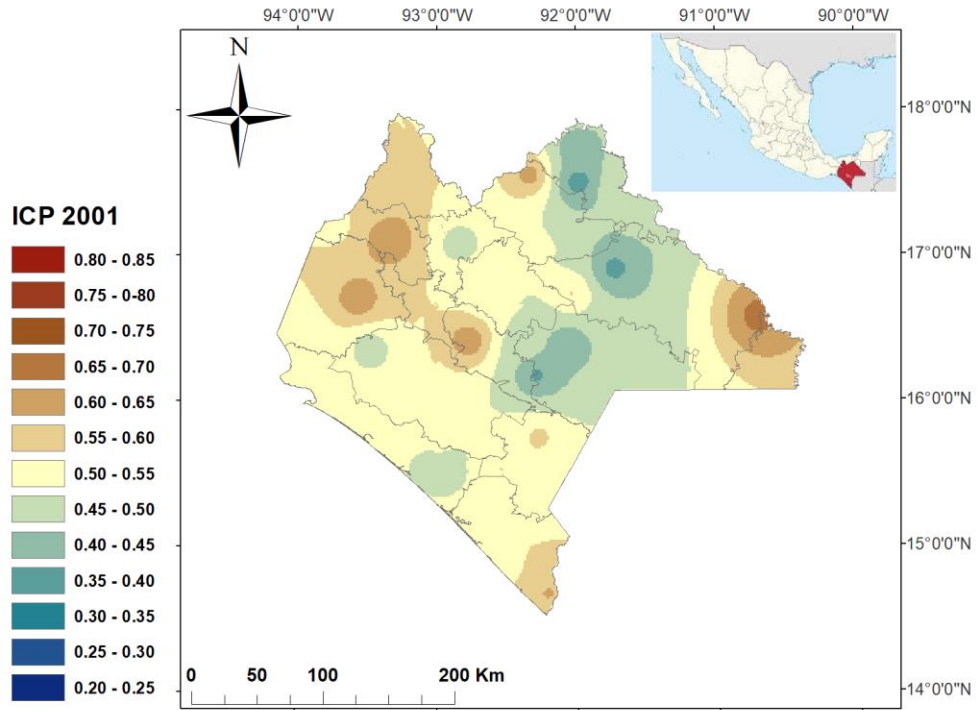


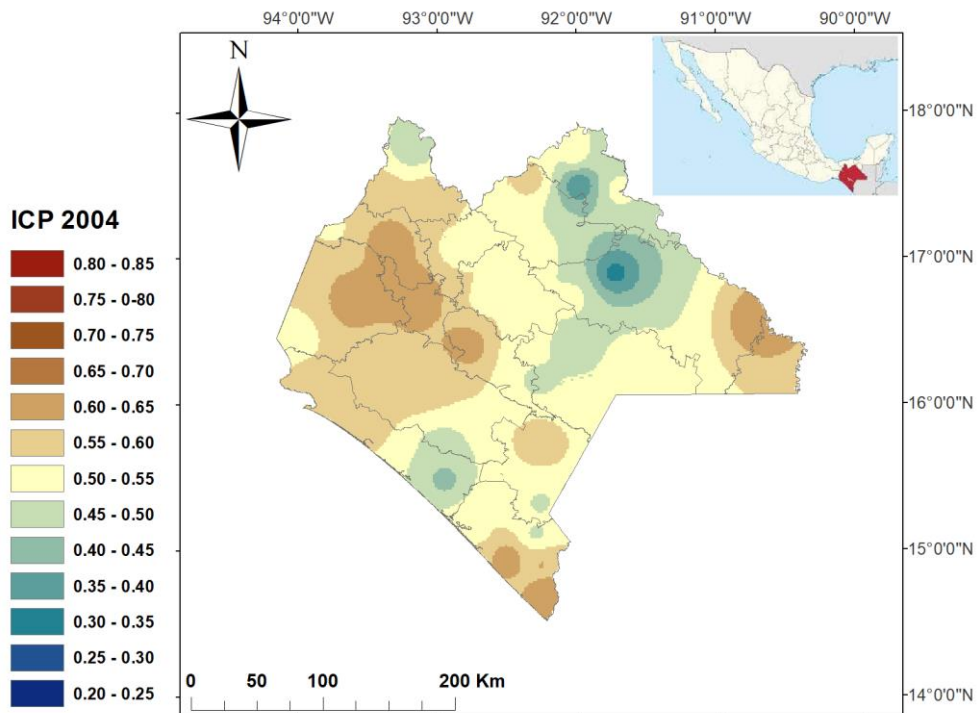
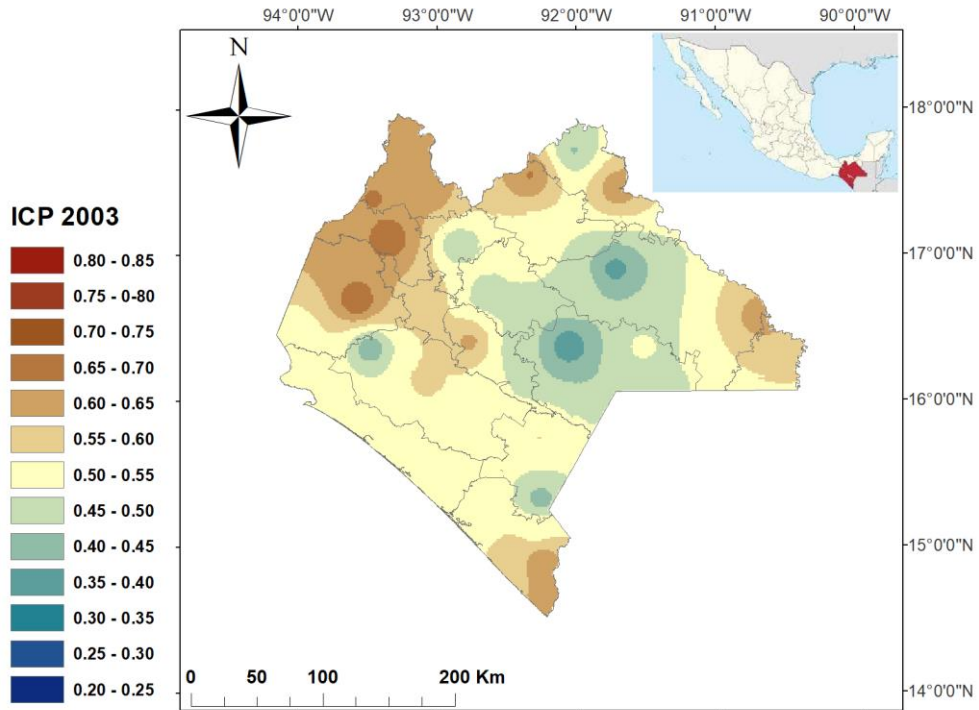


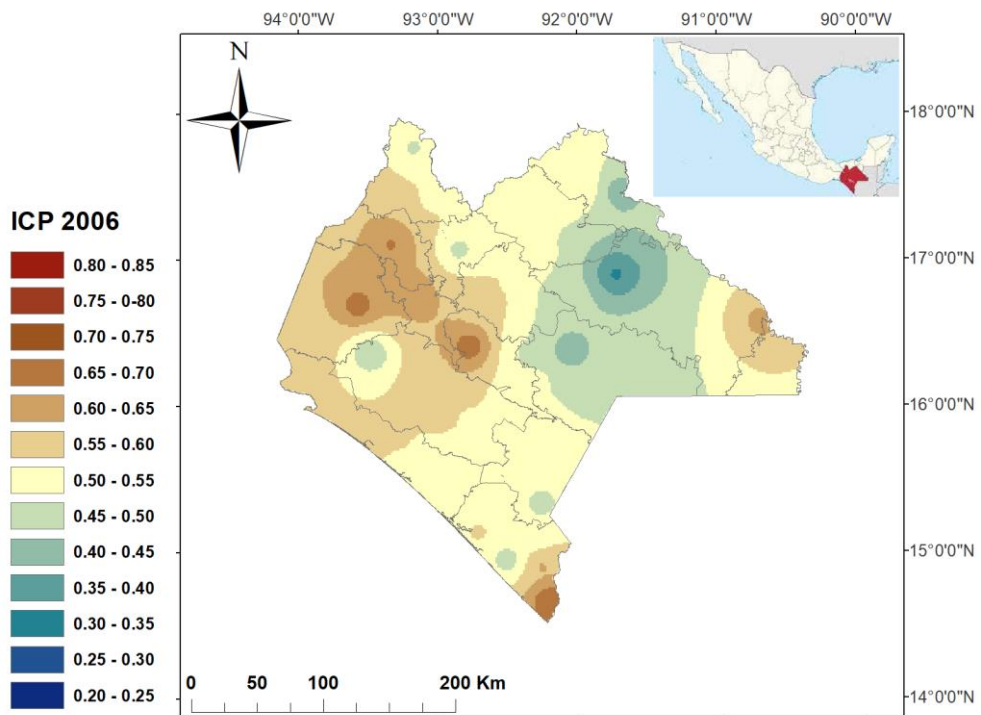
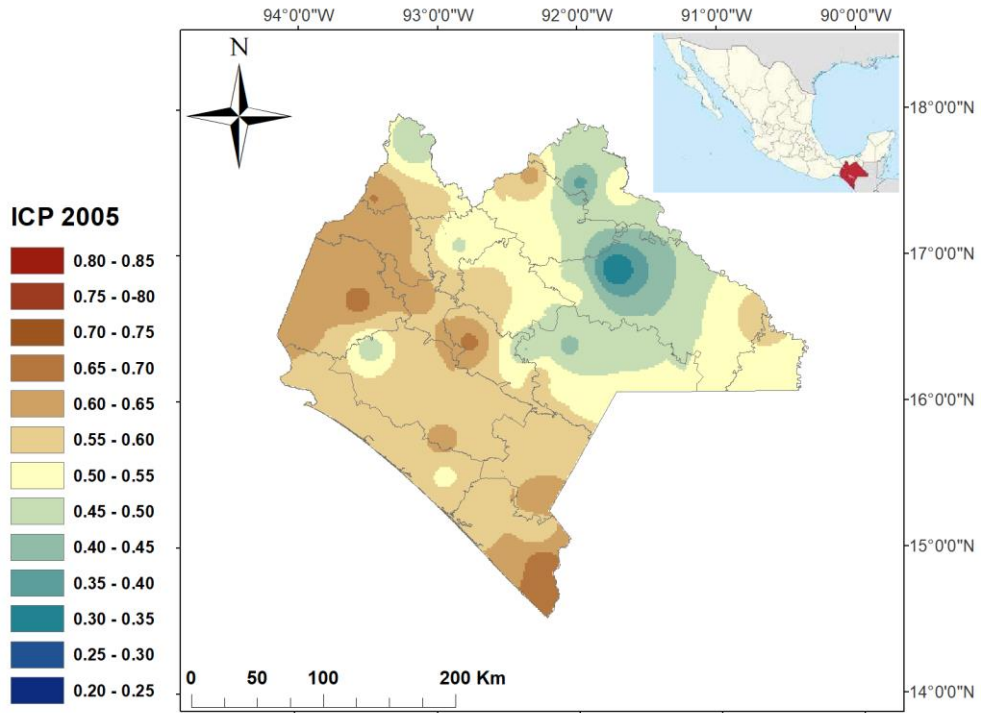


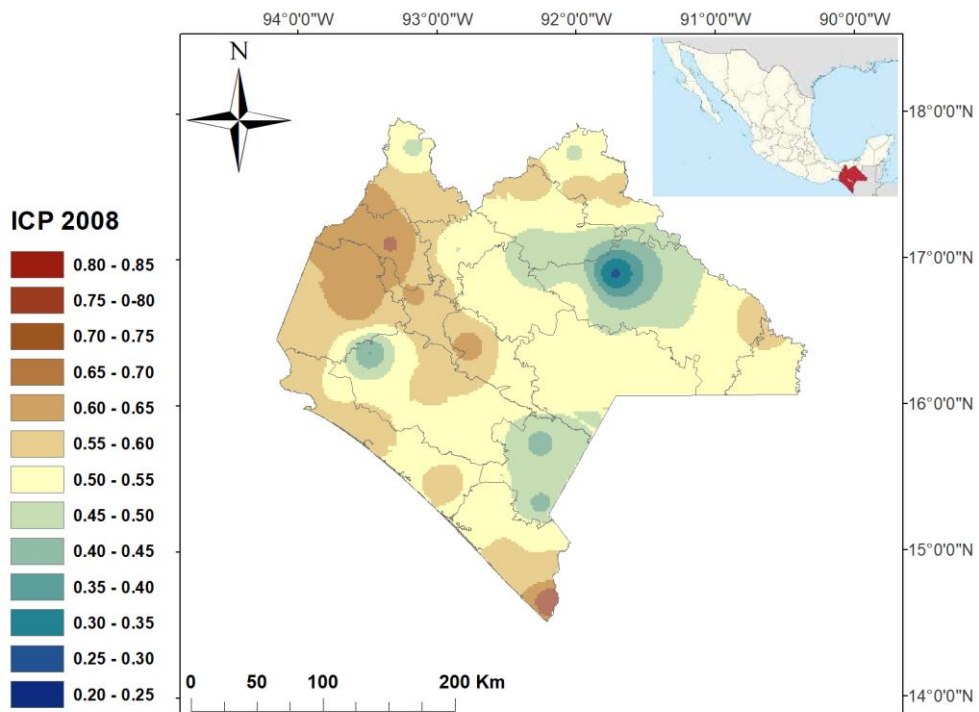
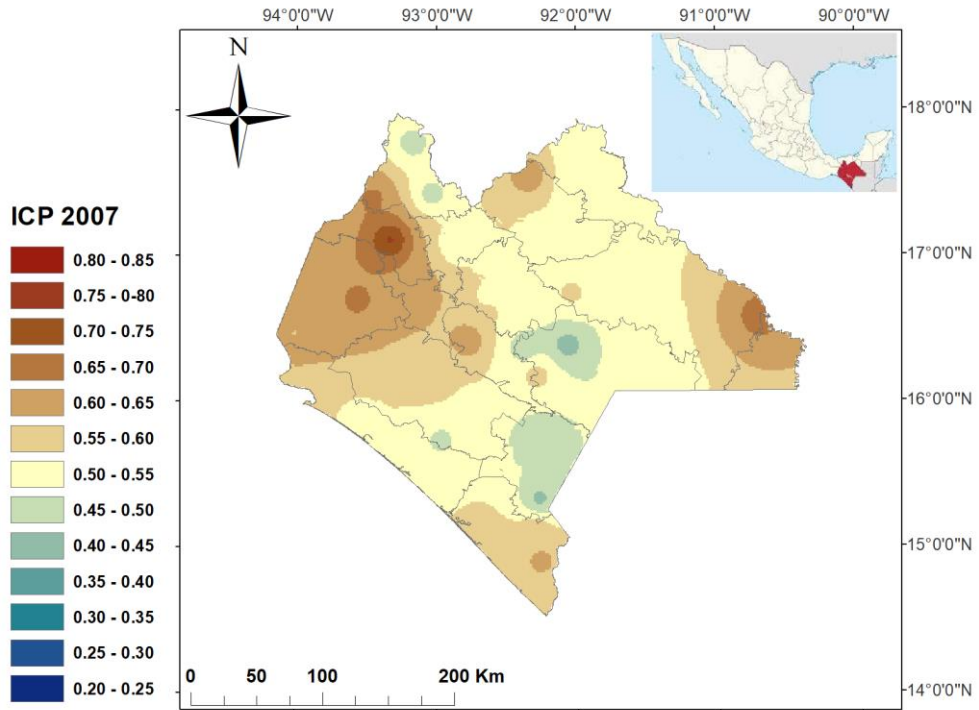


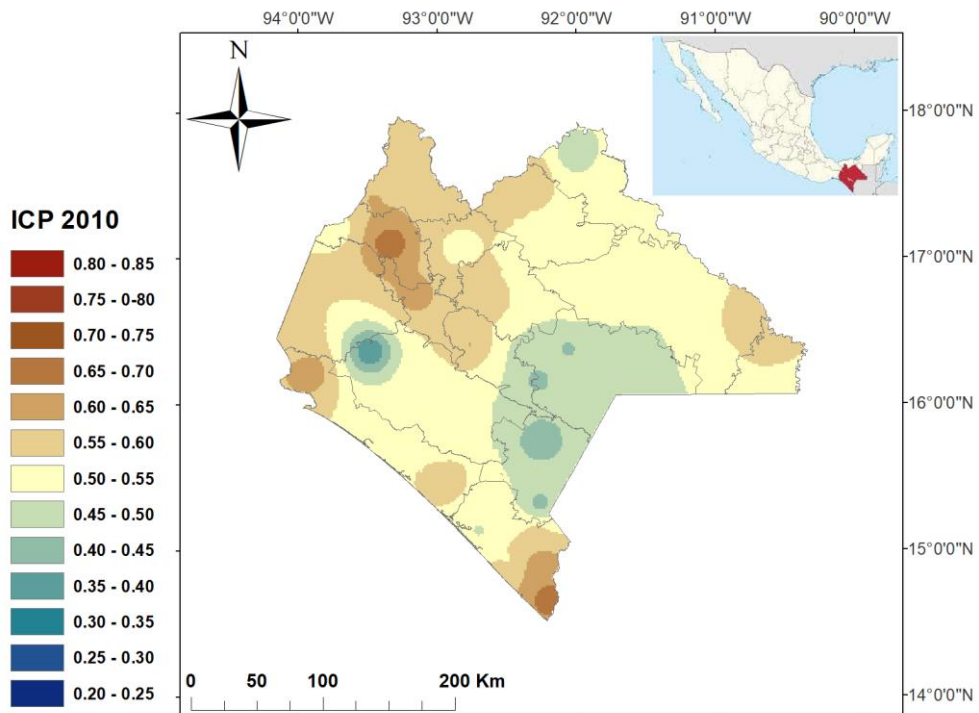
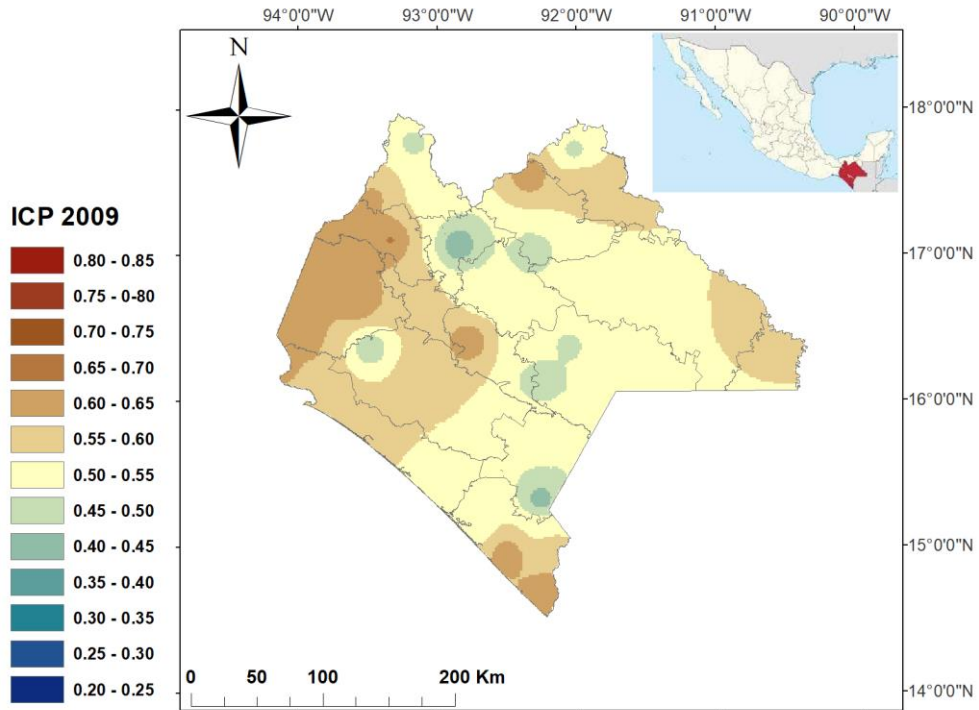


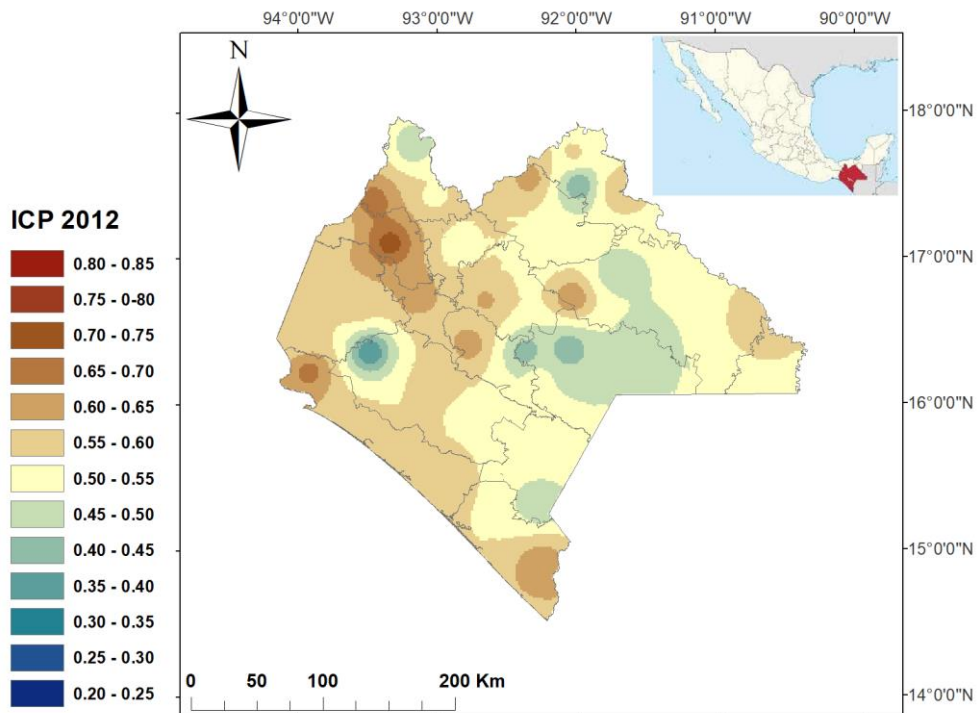
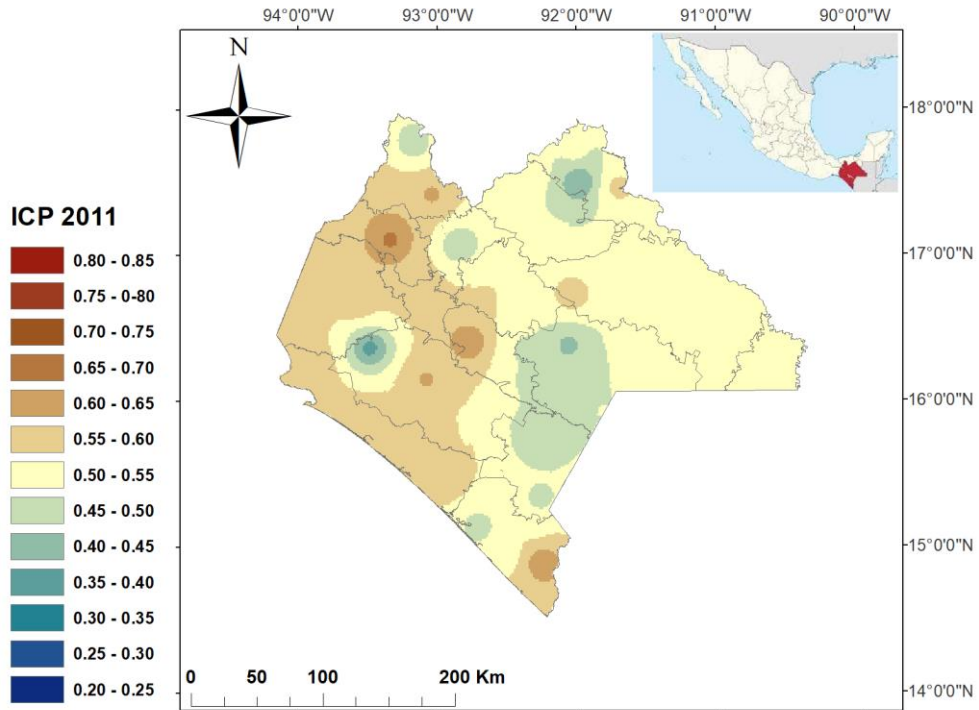


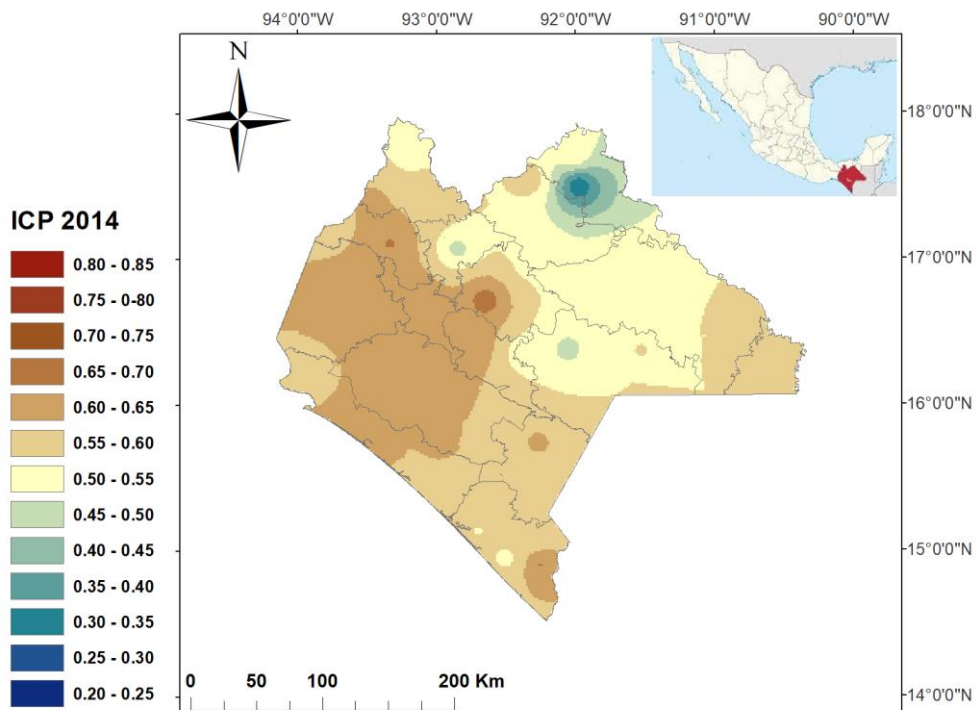
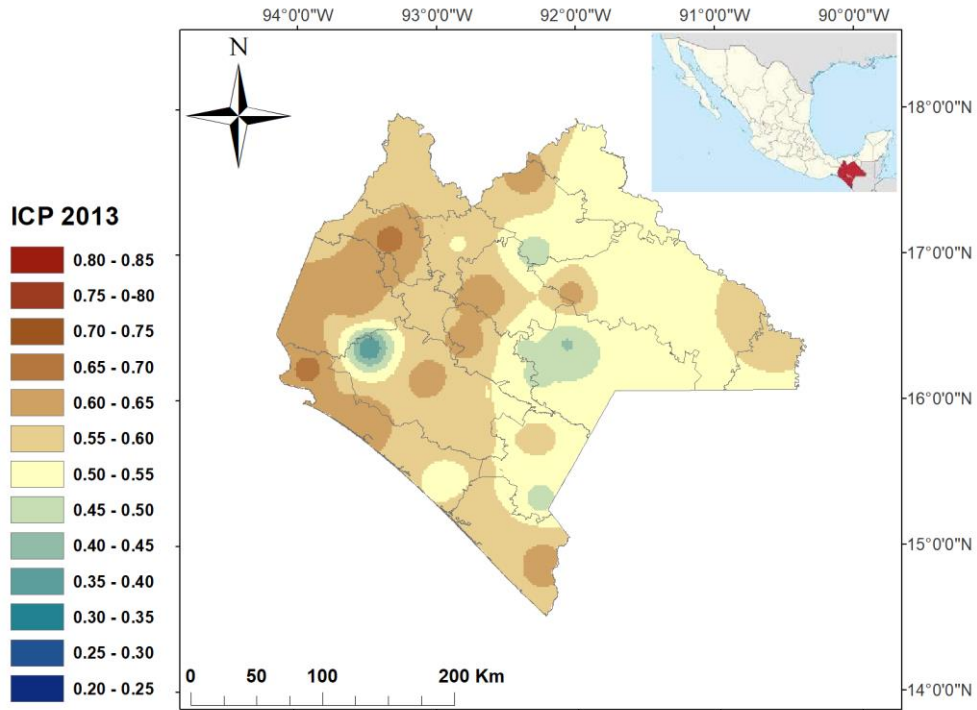


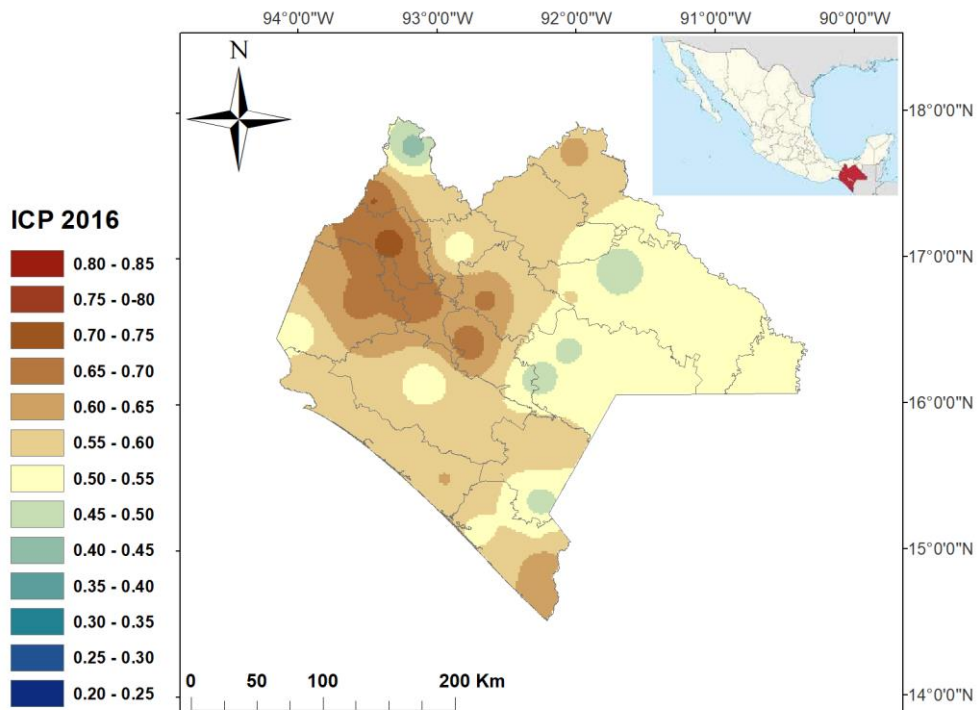
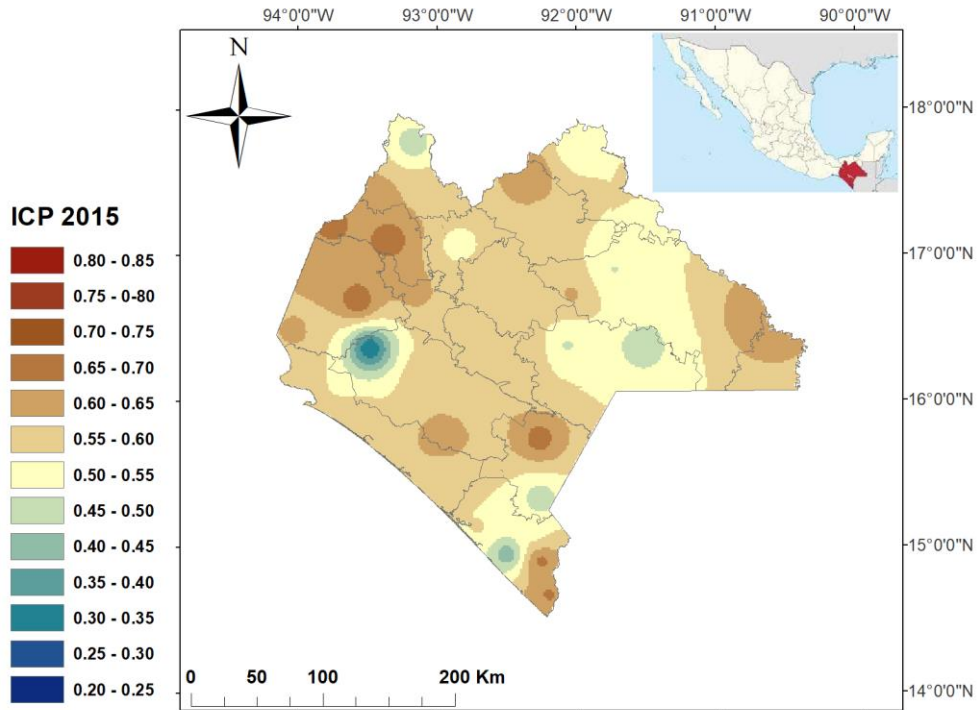




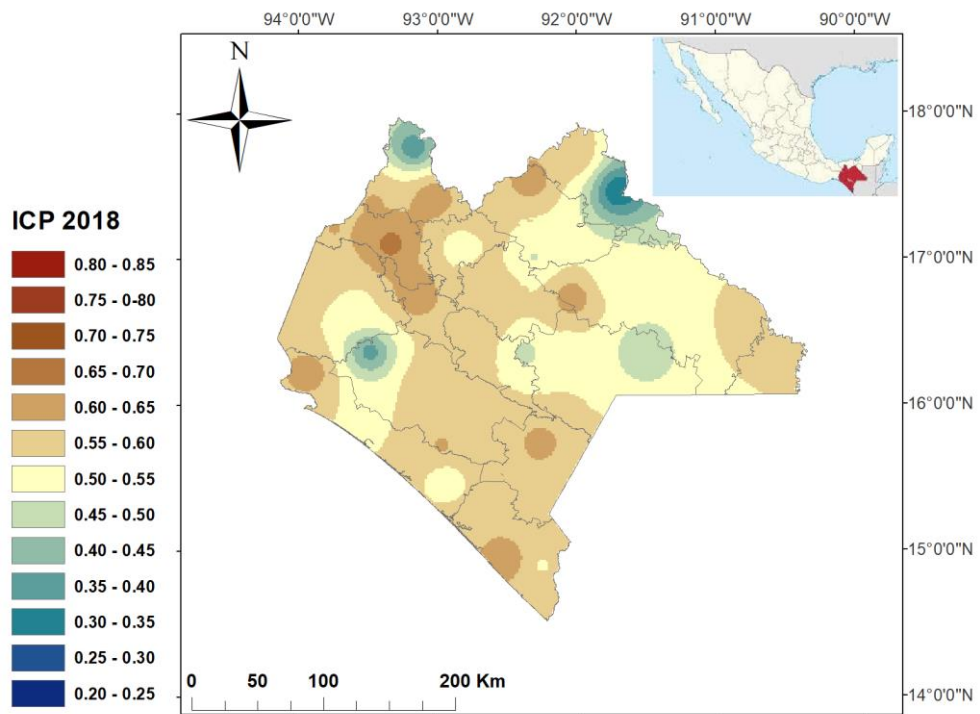
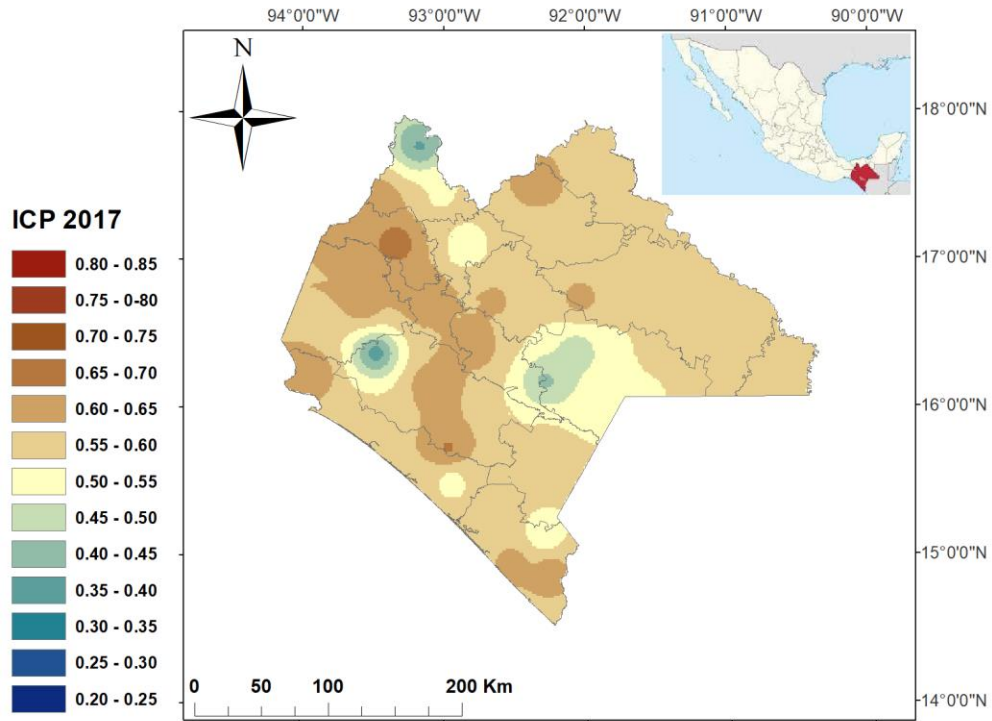






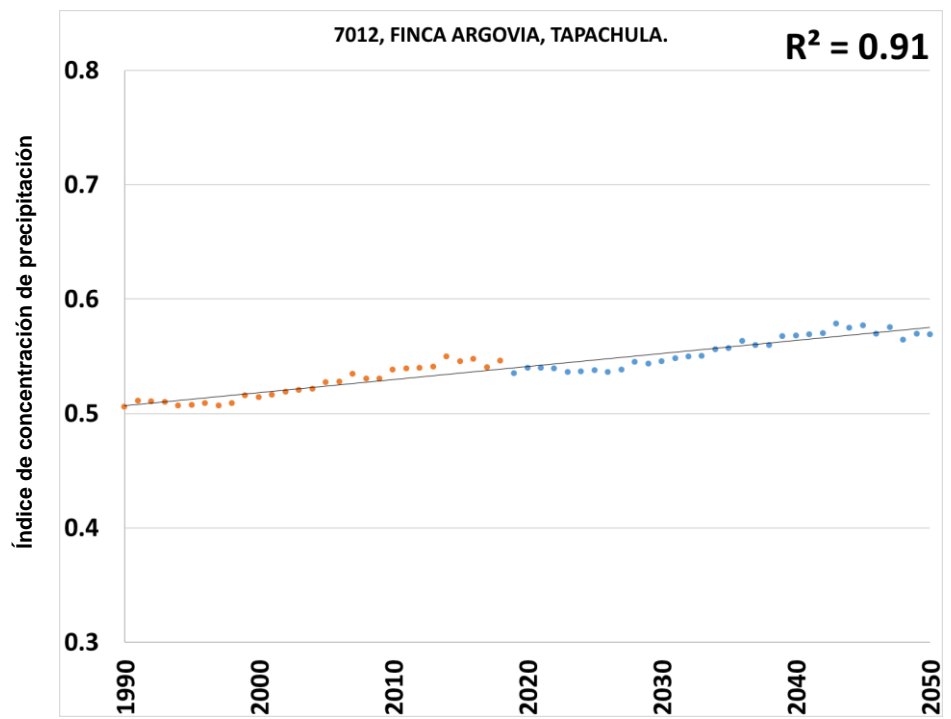
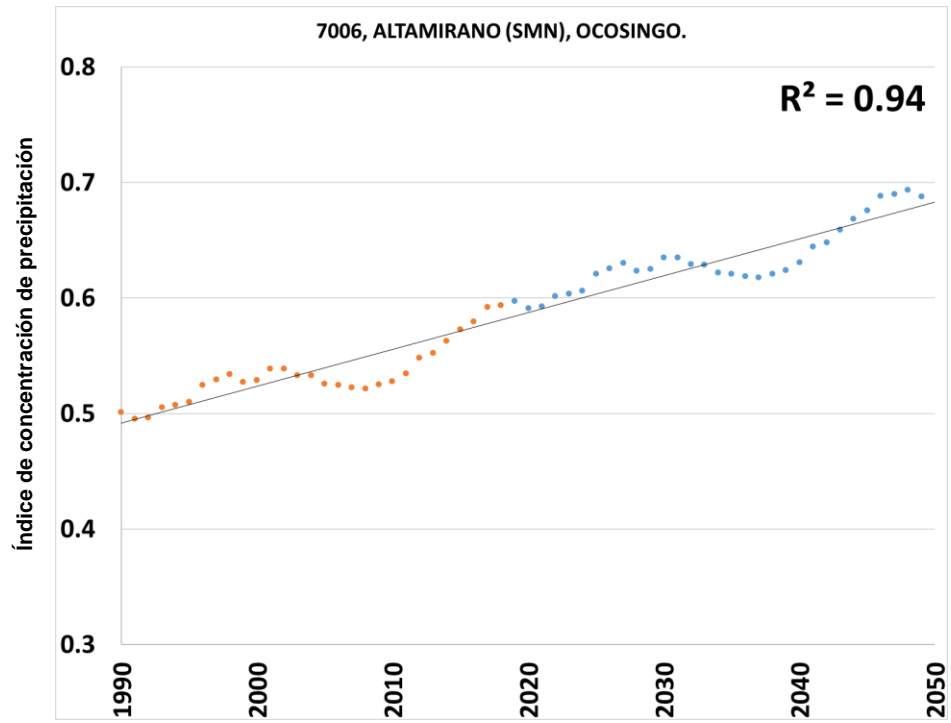


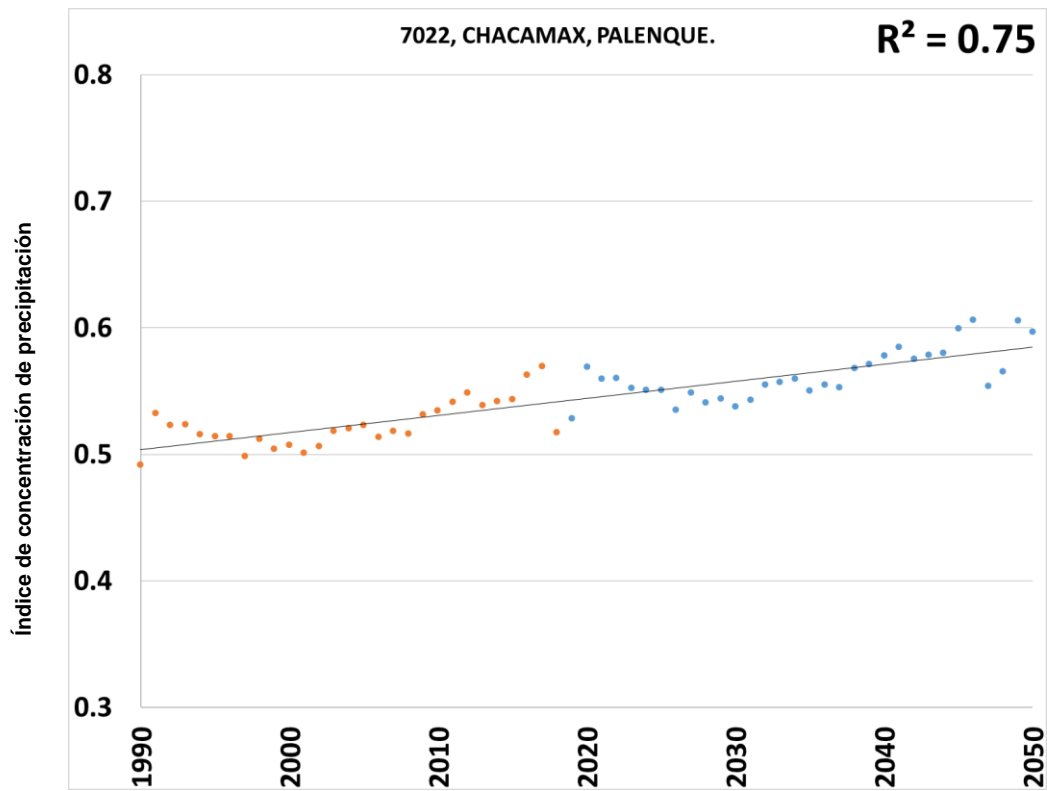
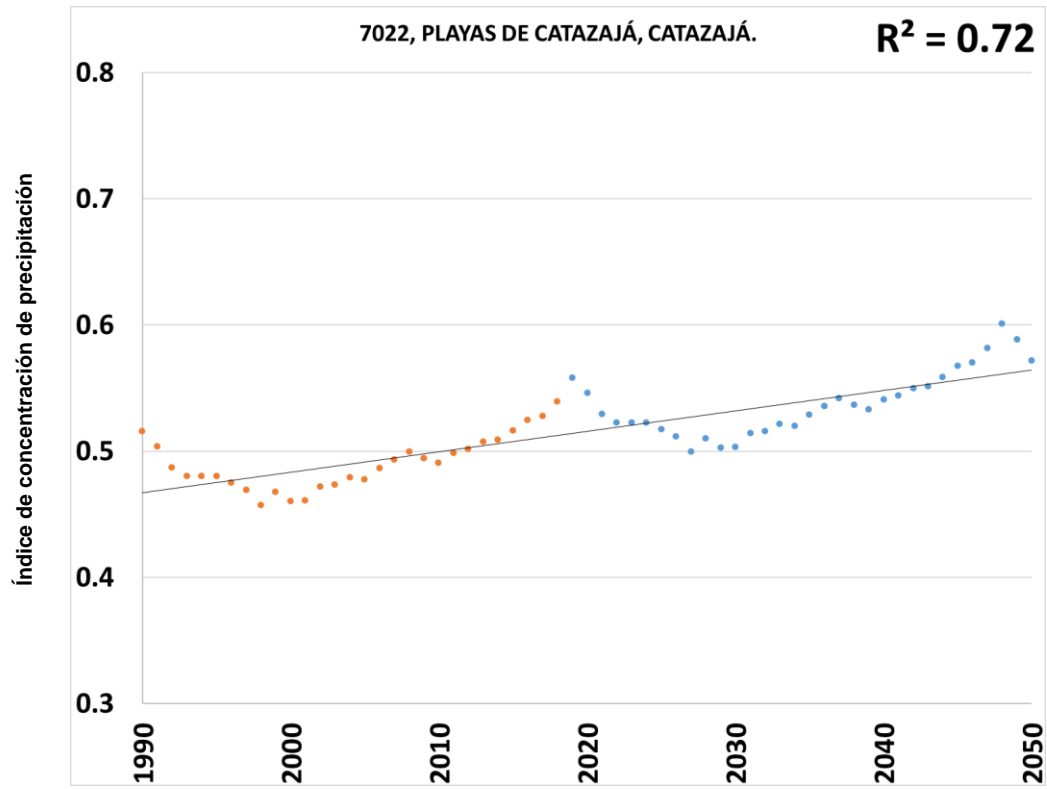


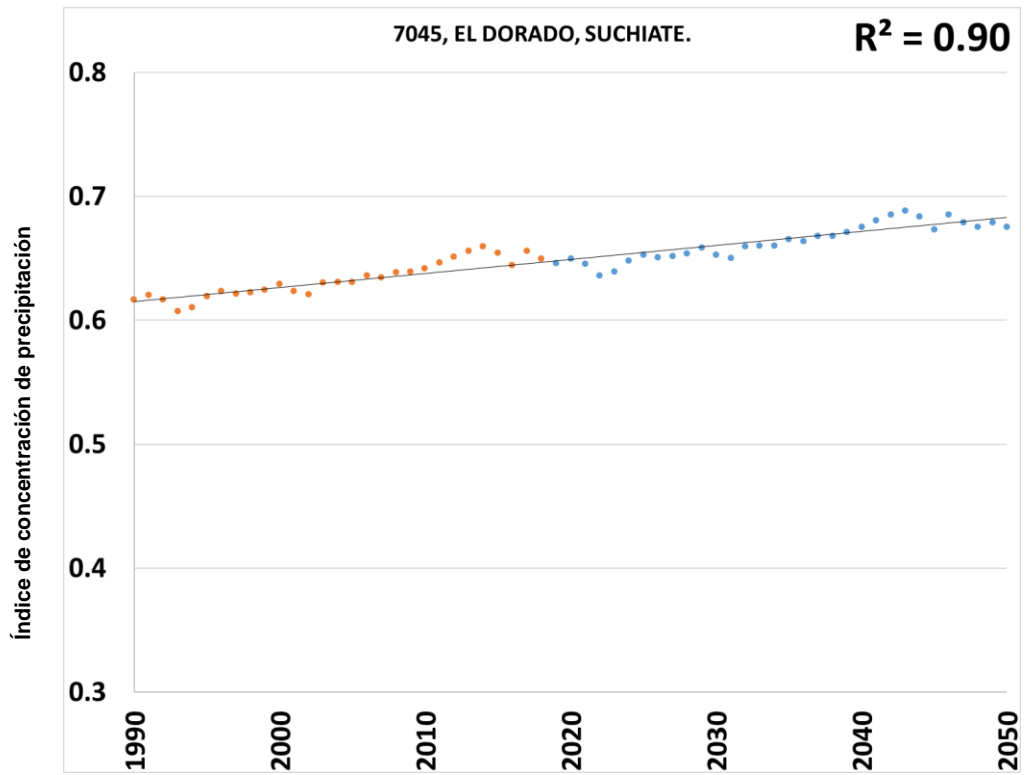
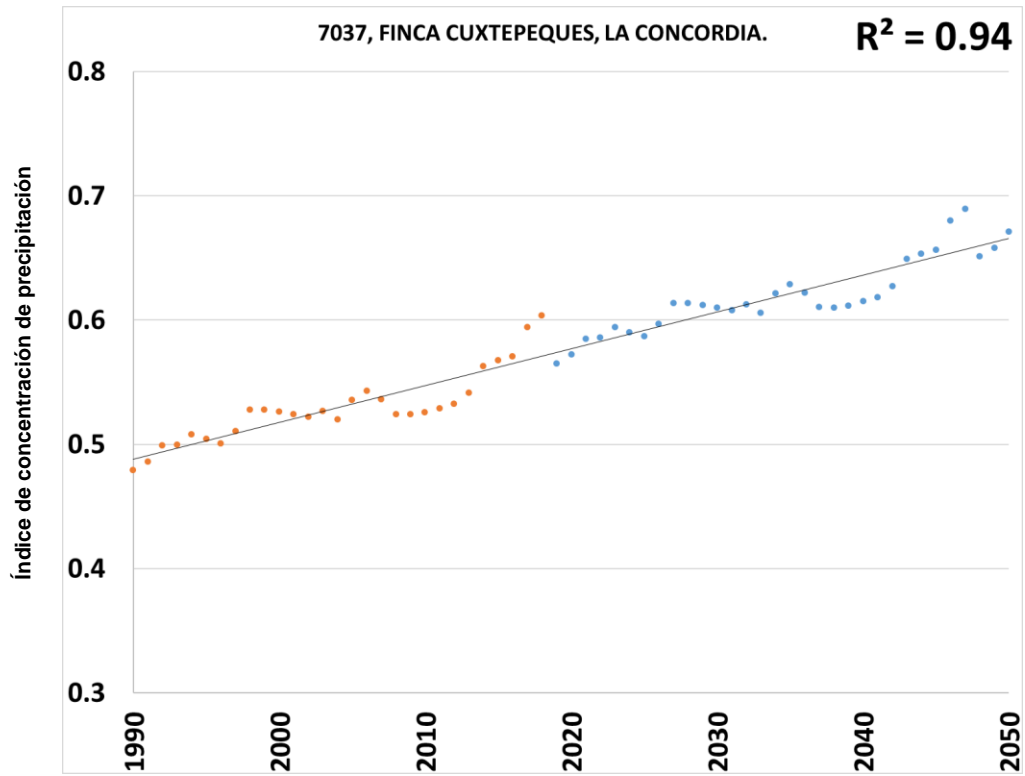


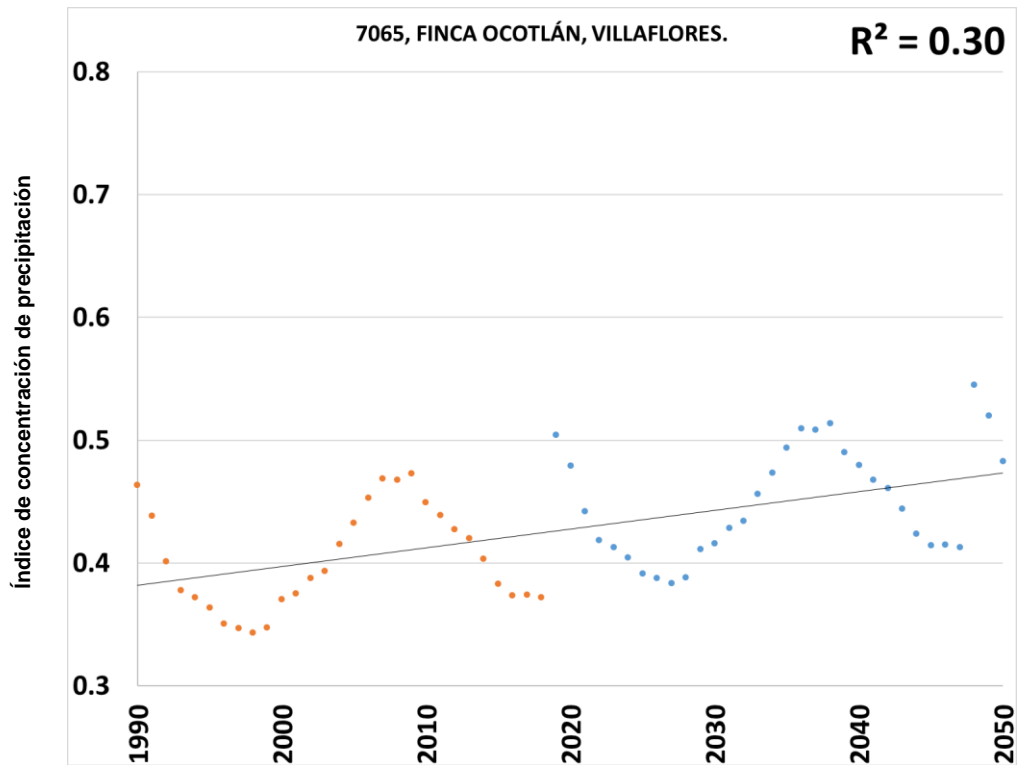
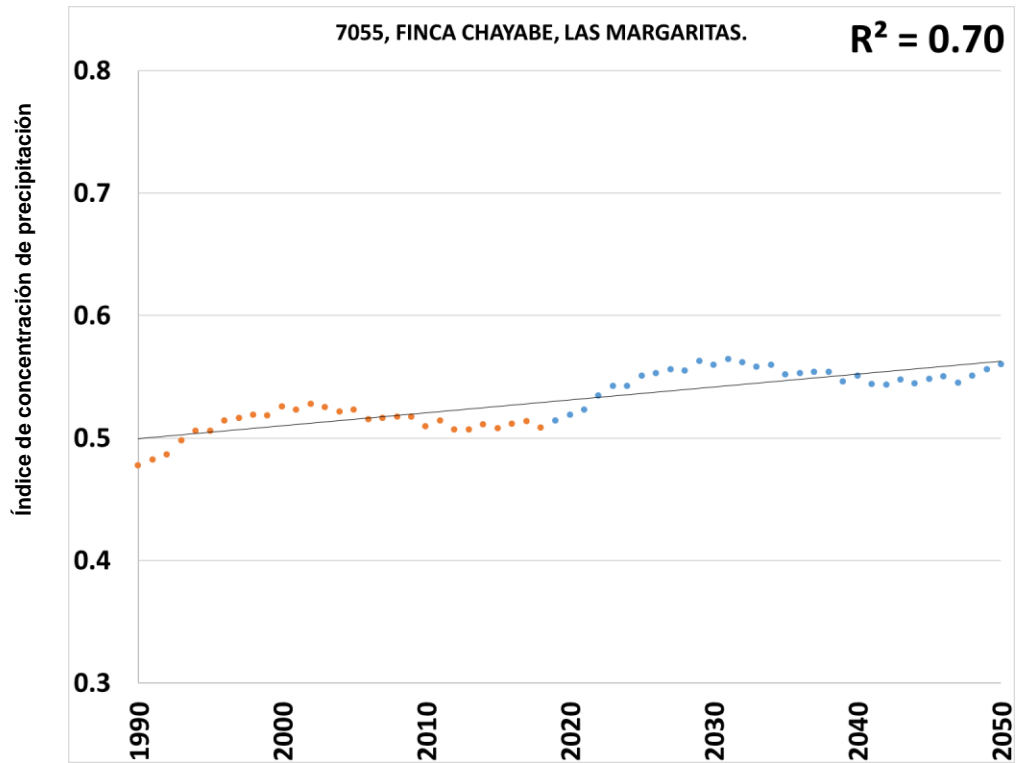
## **ANEXO 3**

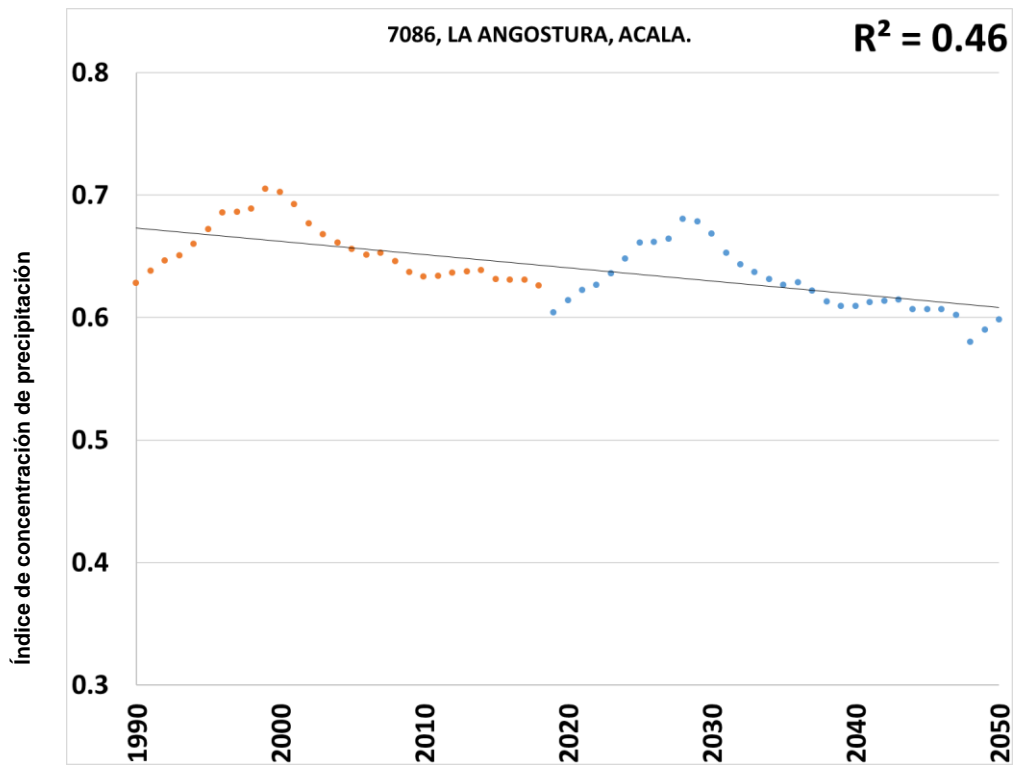
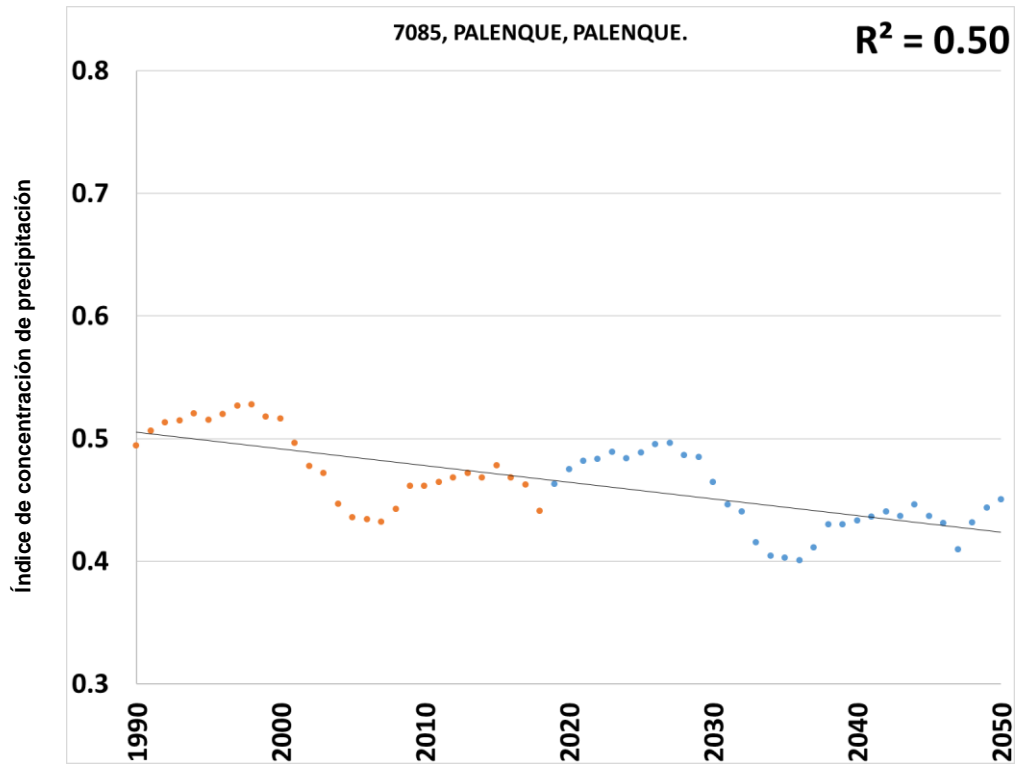
**Ajuste de recta al índice de concentración a través de la media móvil de 10 años de 1981 a 2018 y de la proyección del comportamiento del índice de 2019 a 2050.**

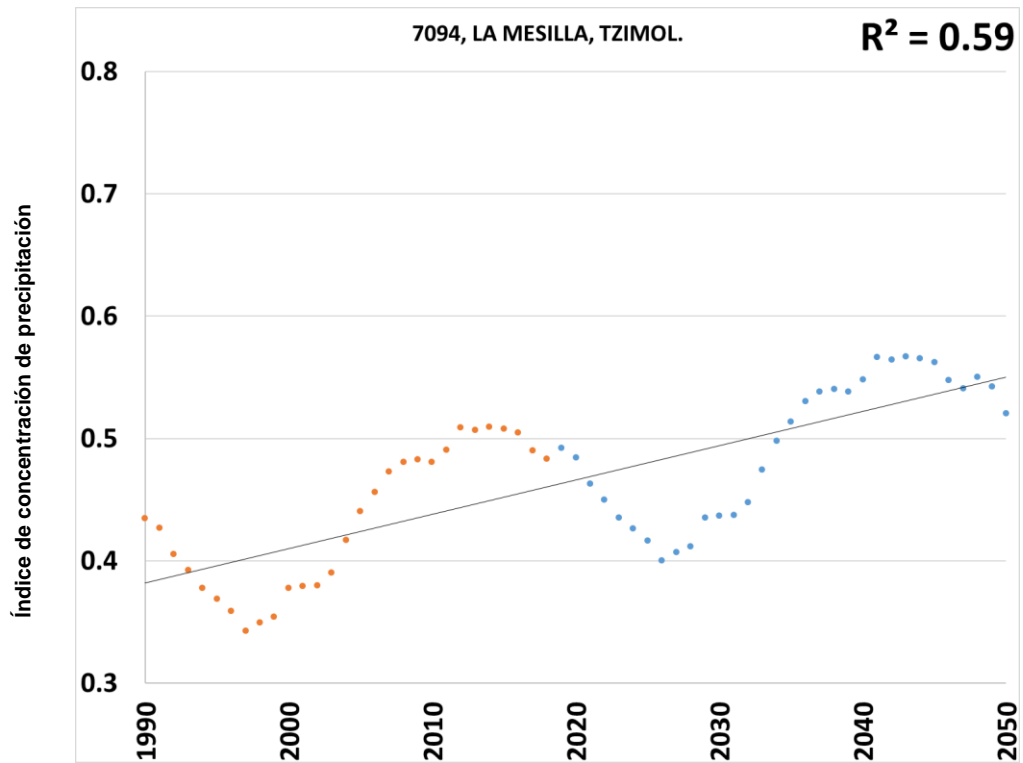
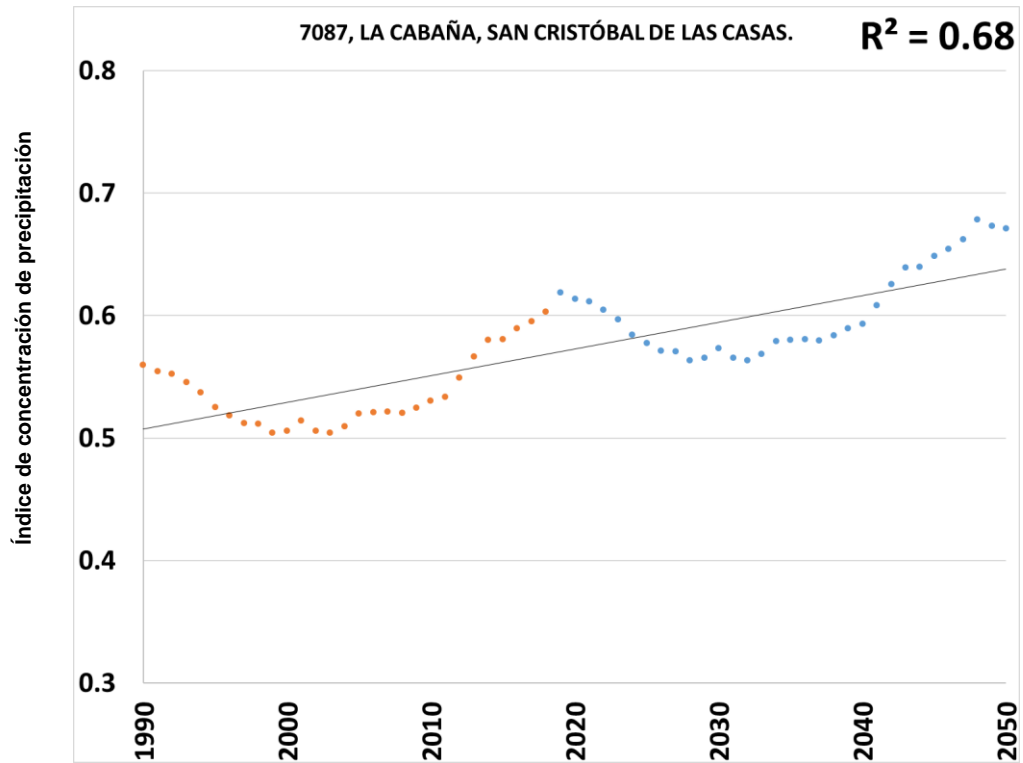




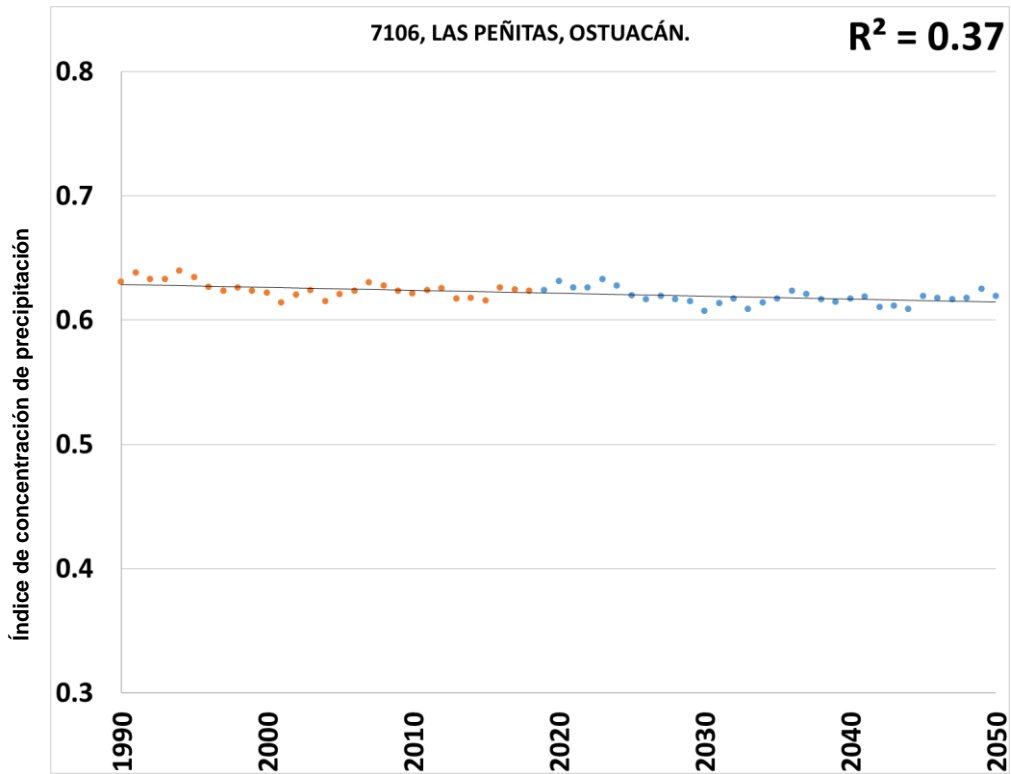
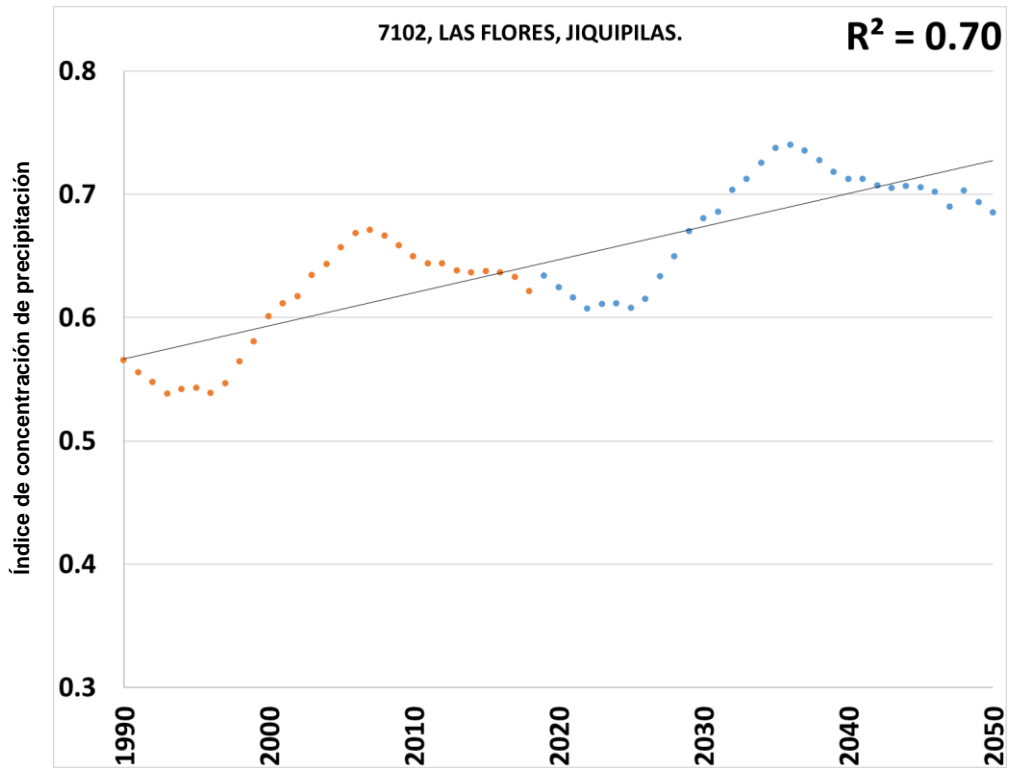


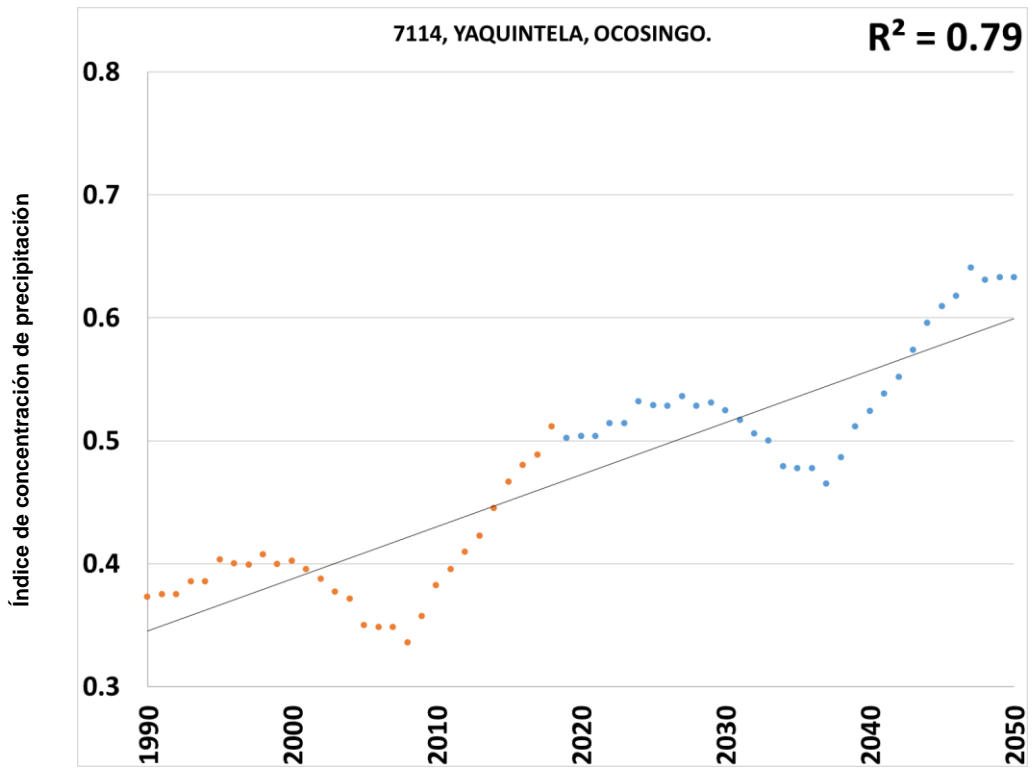
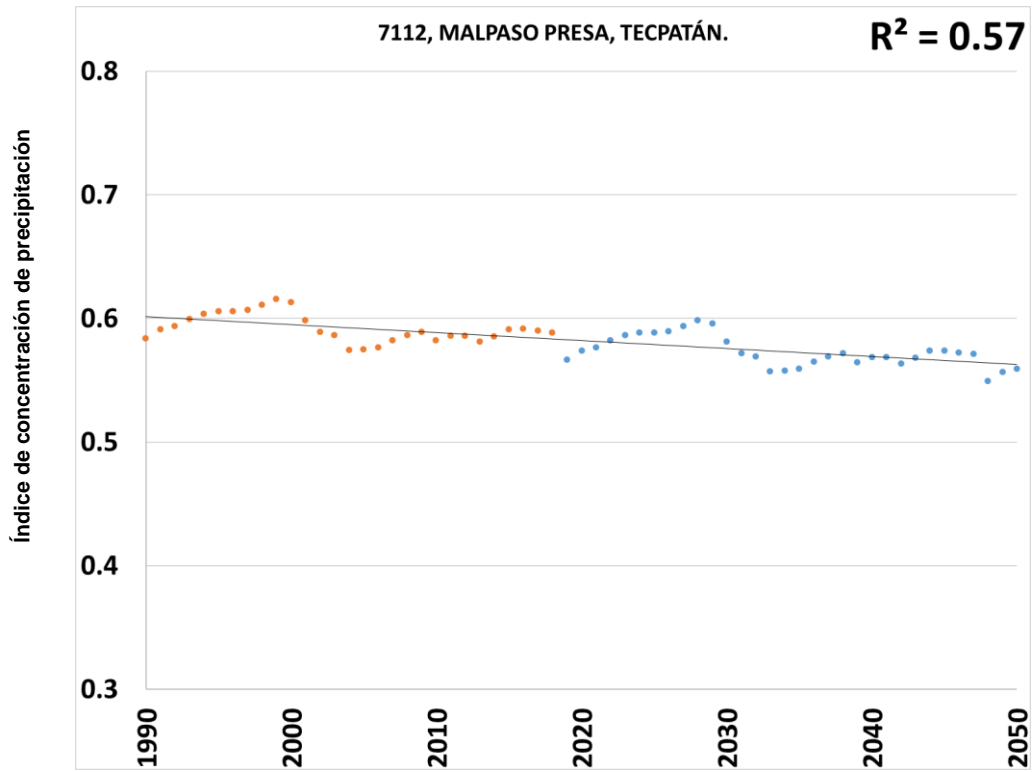


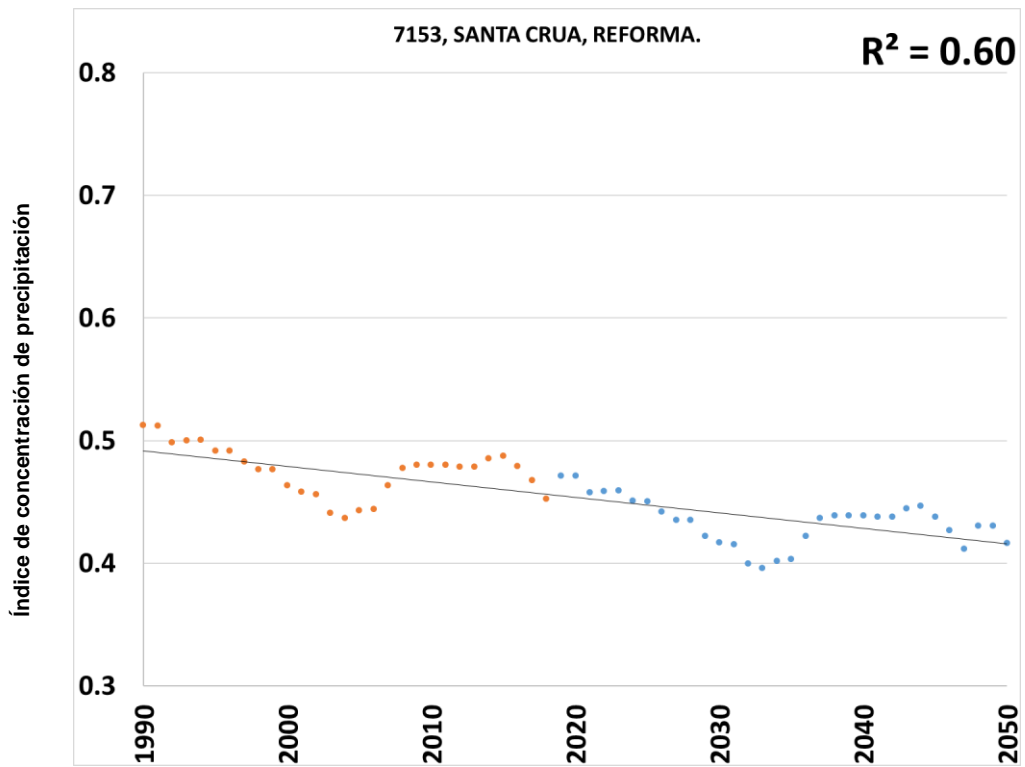
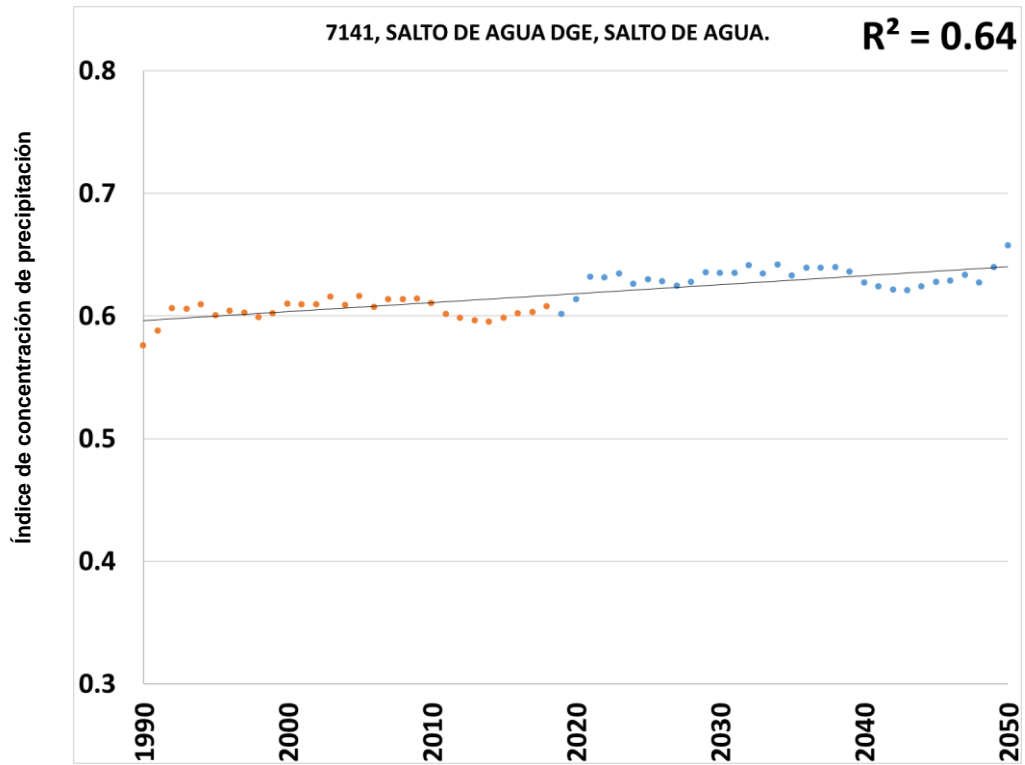


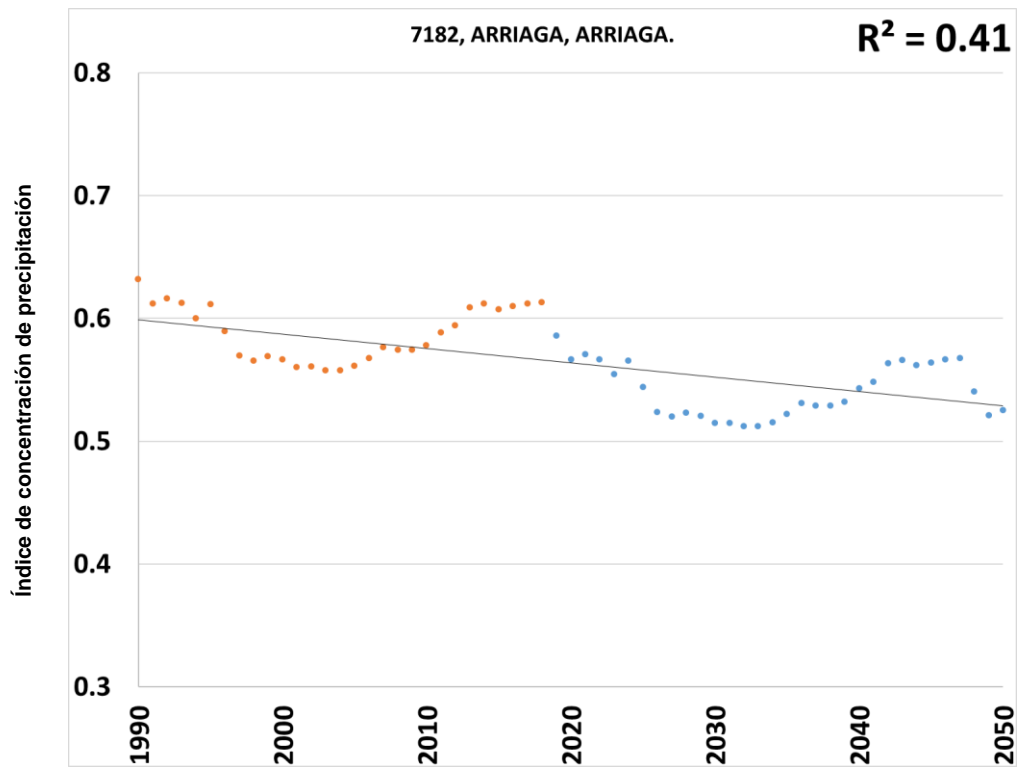
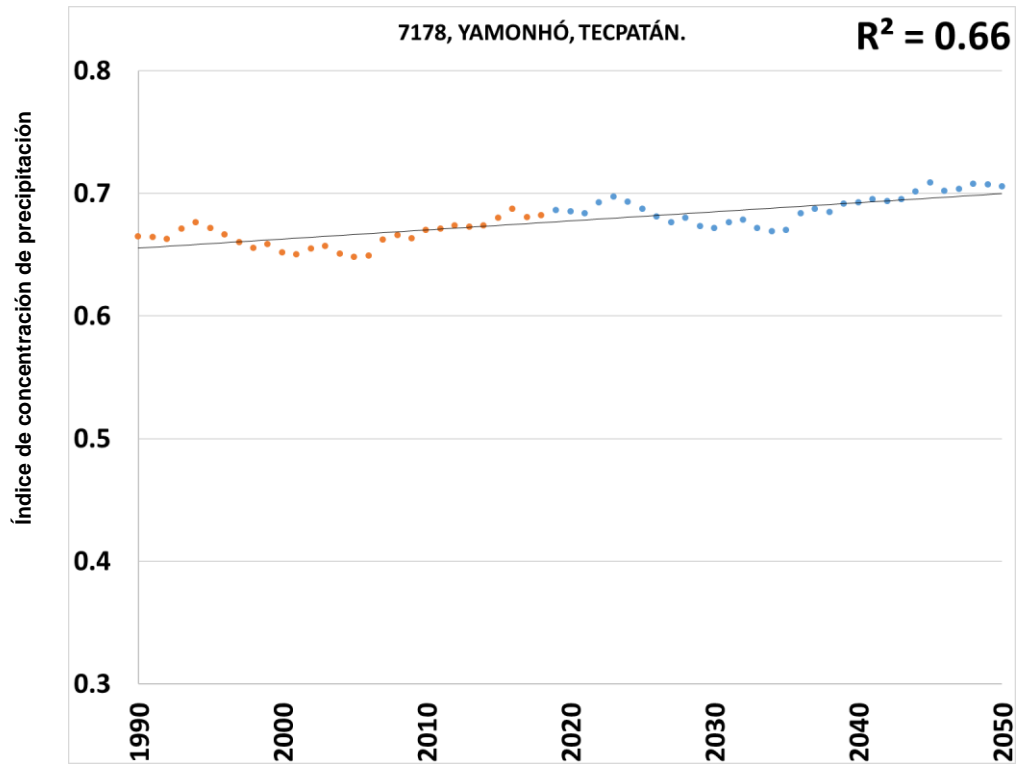


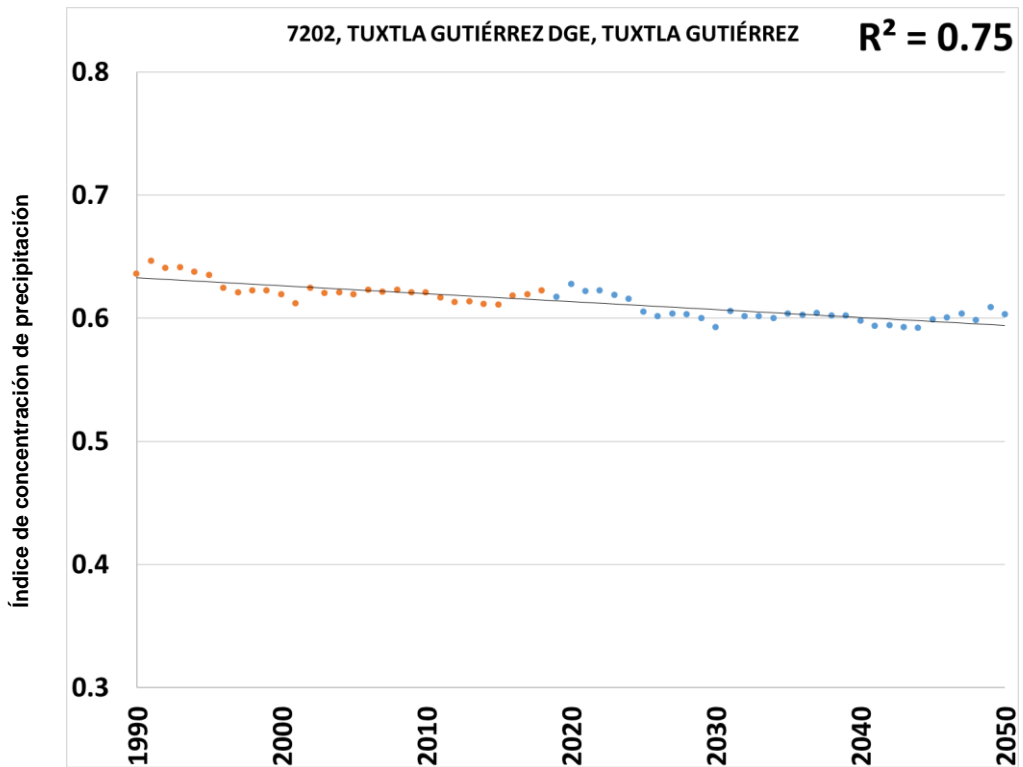
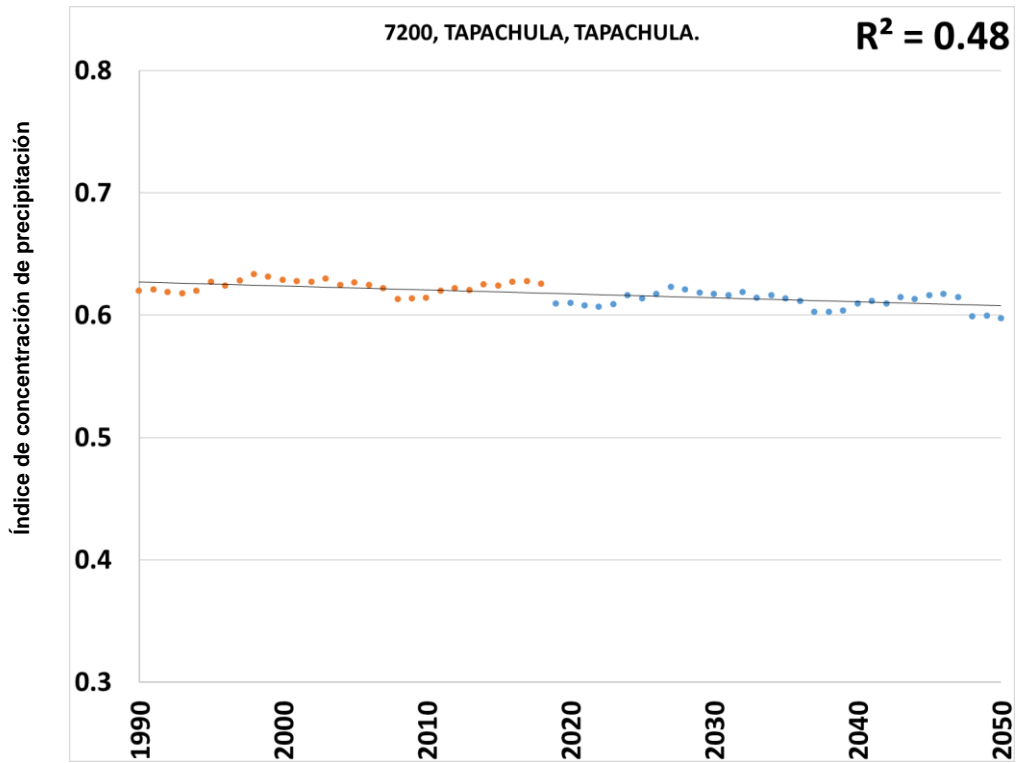


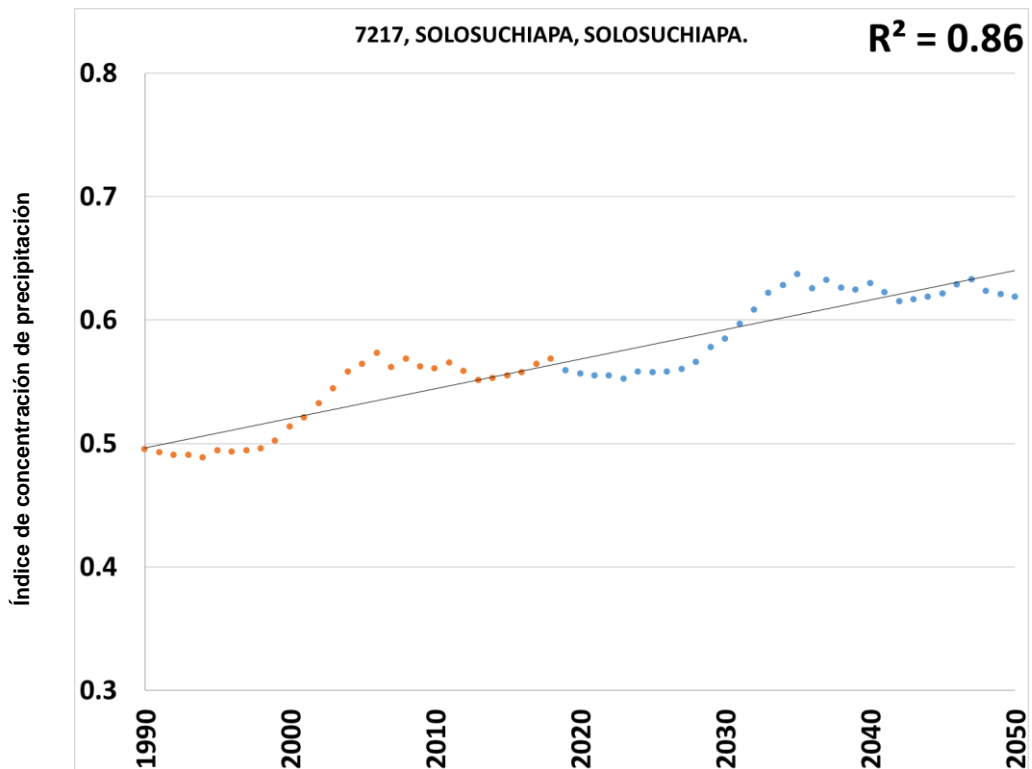
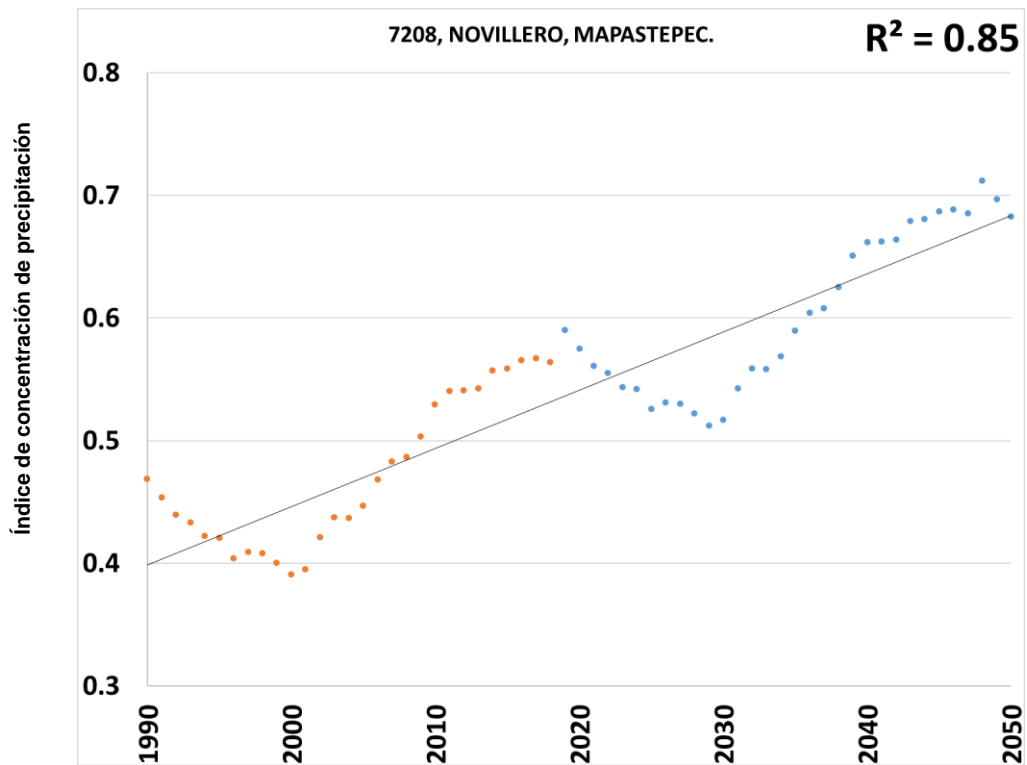


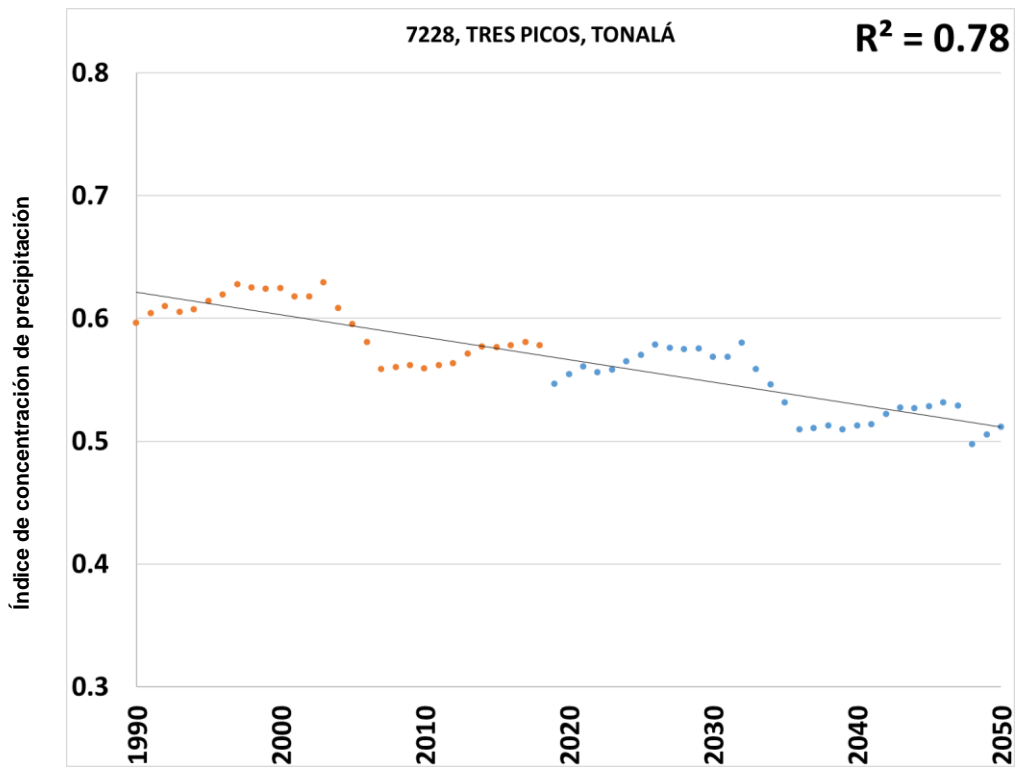
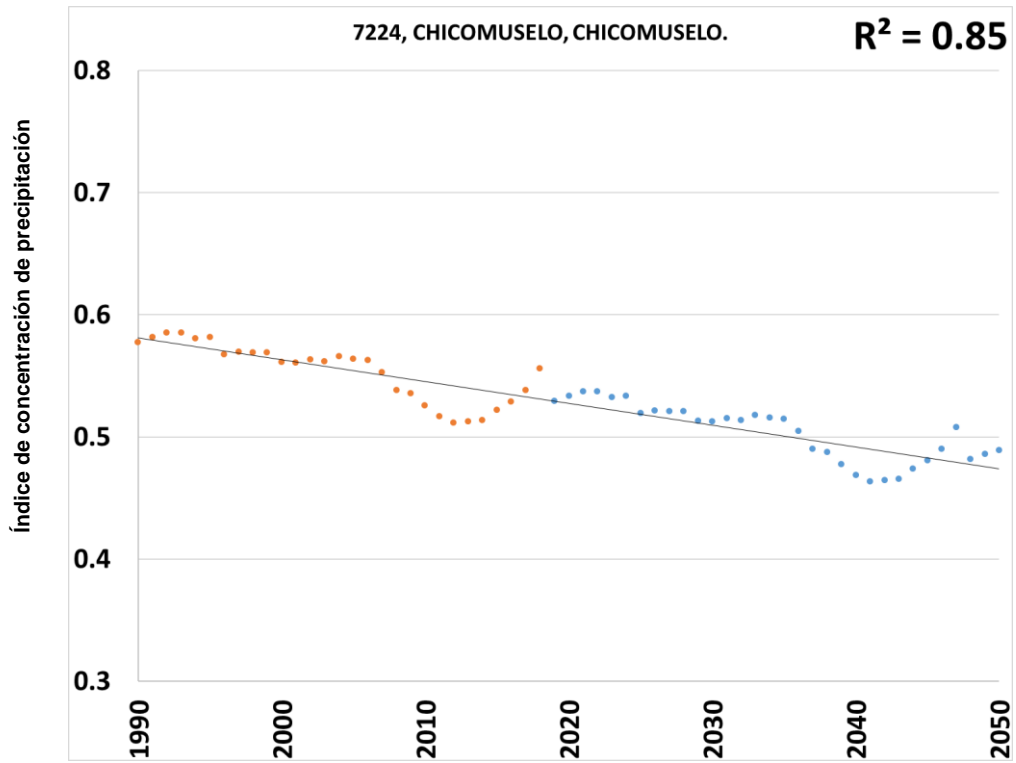


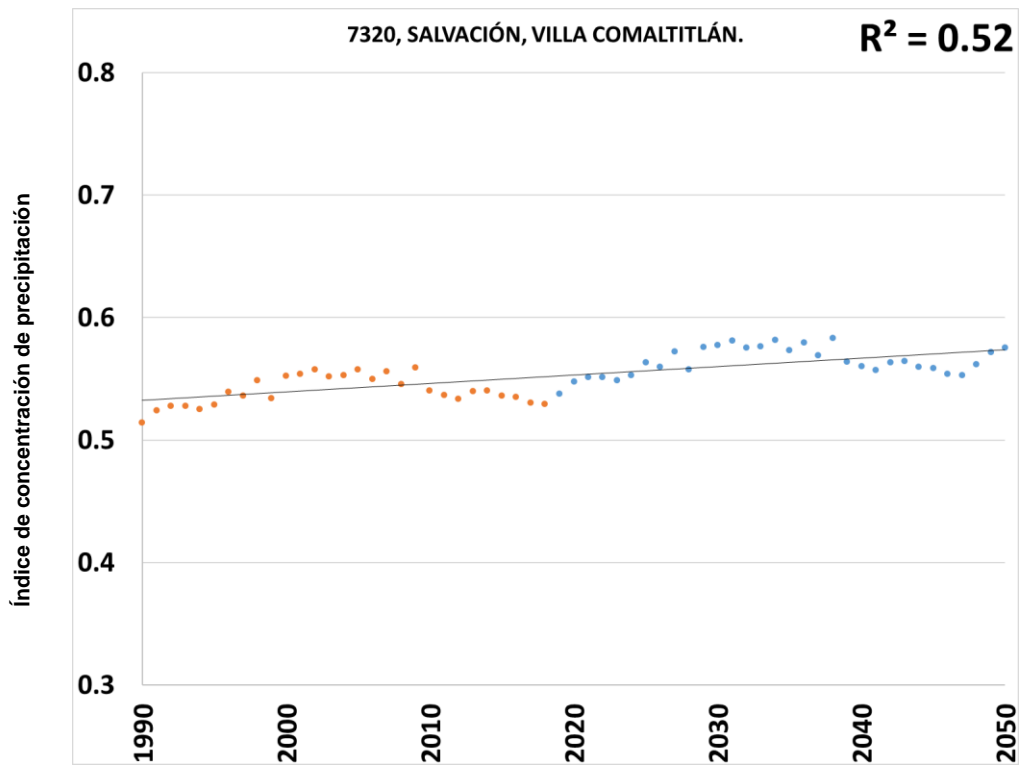
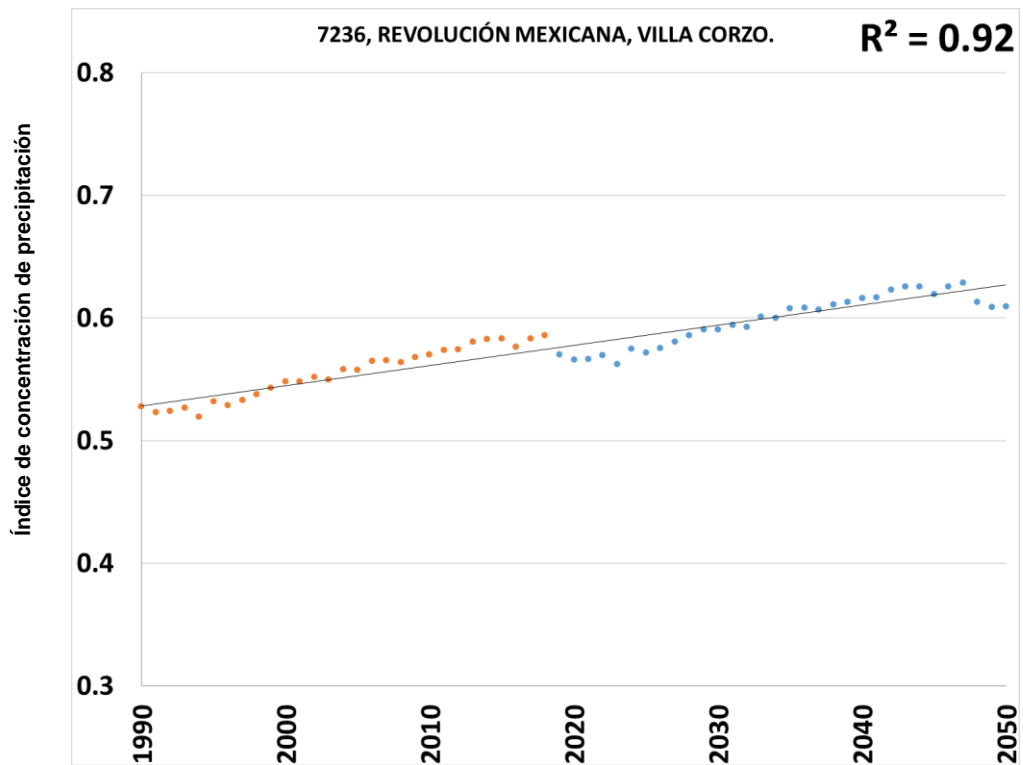




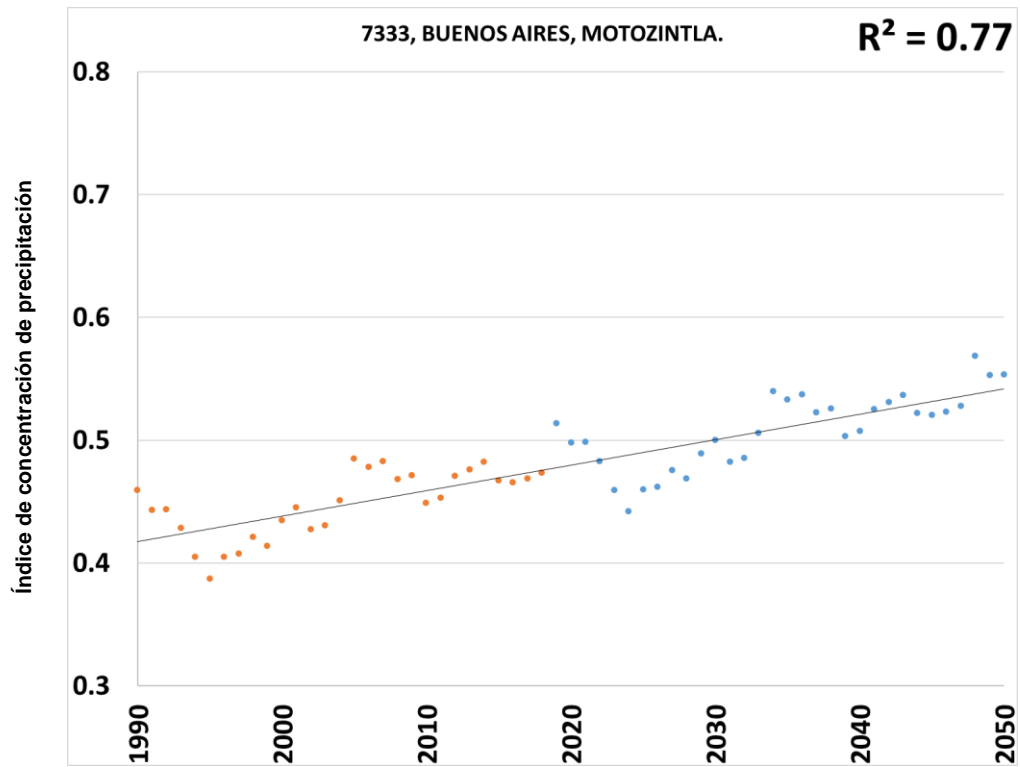
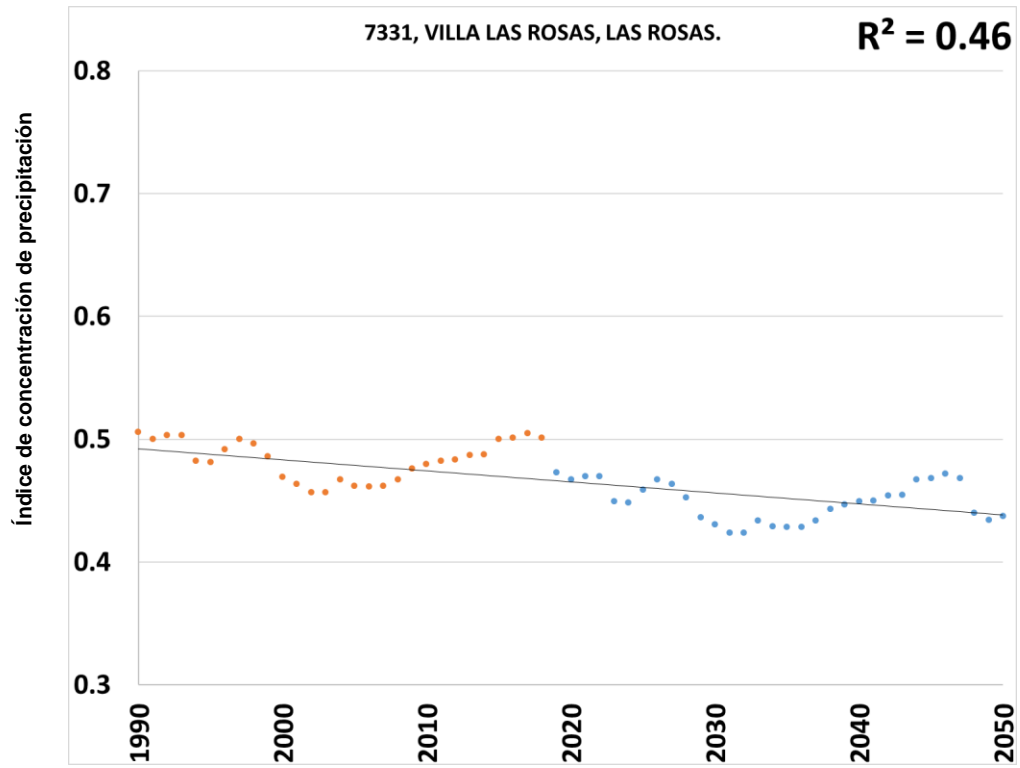


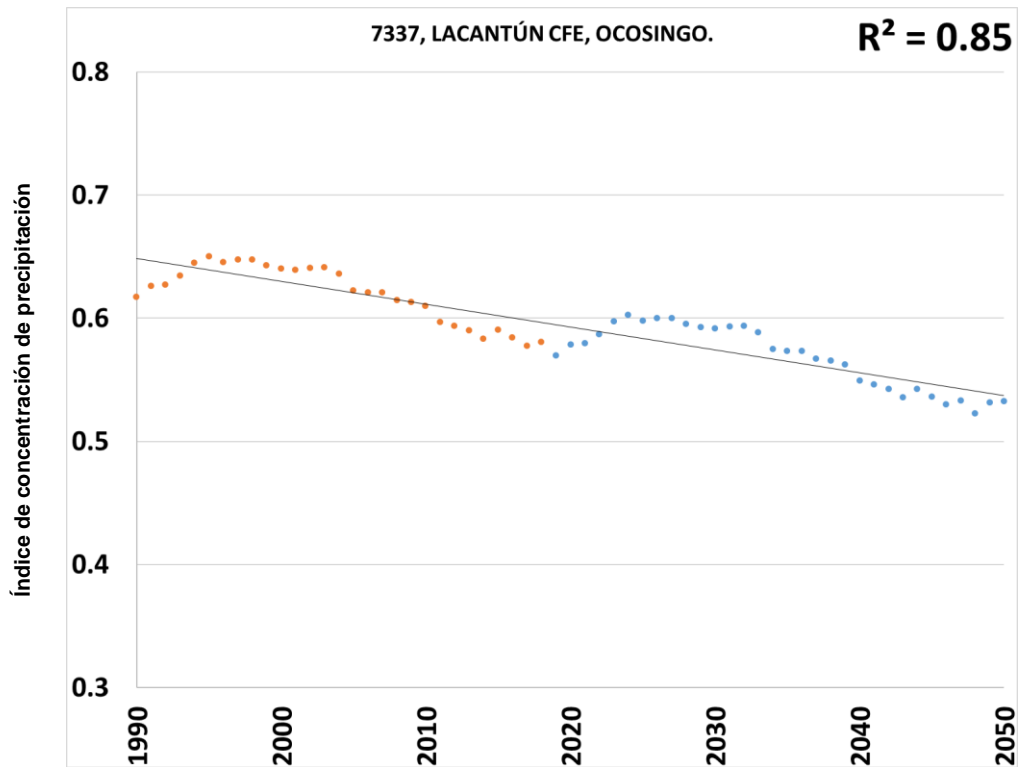
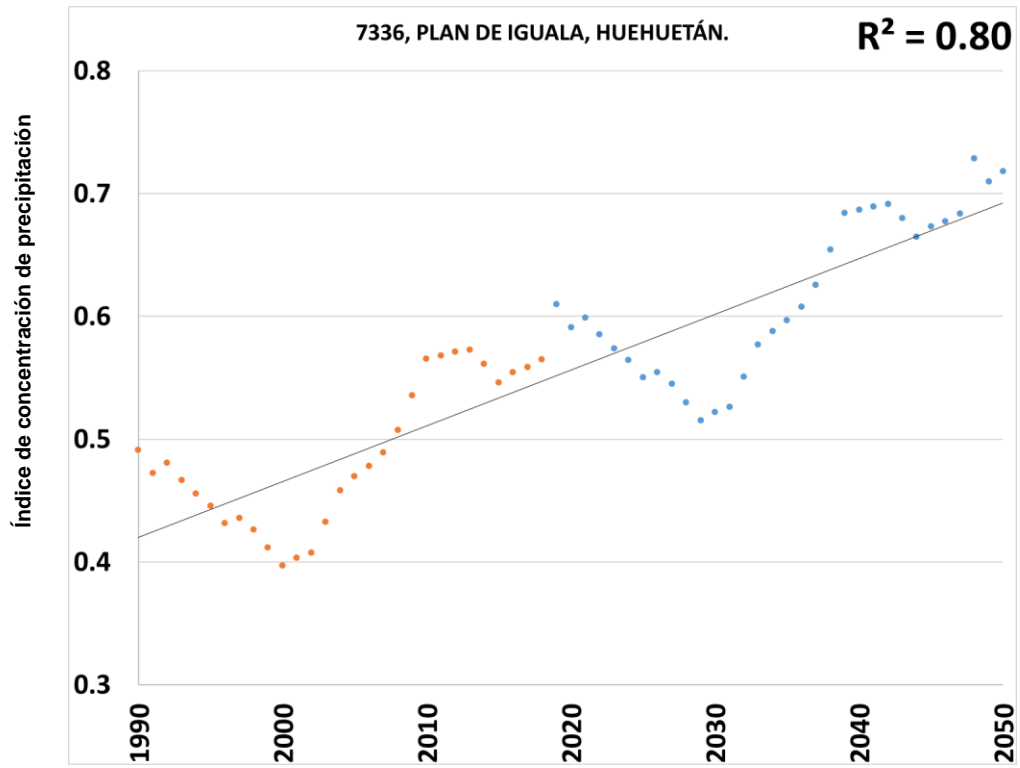


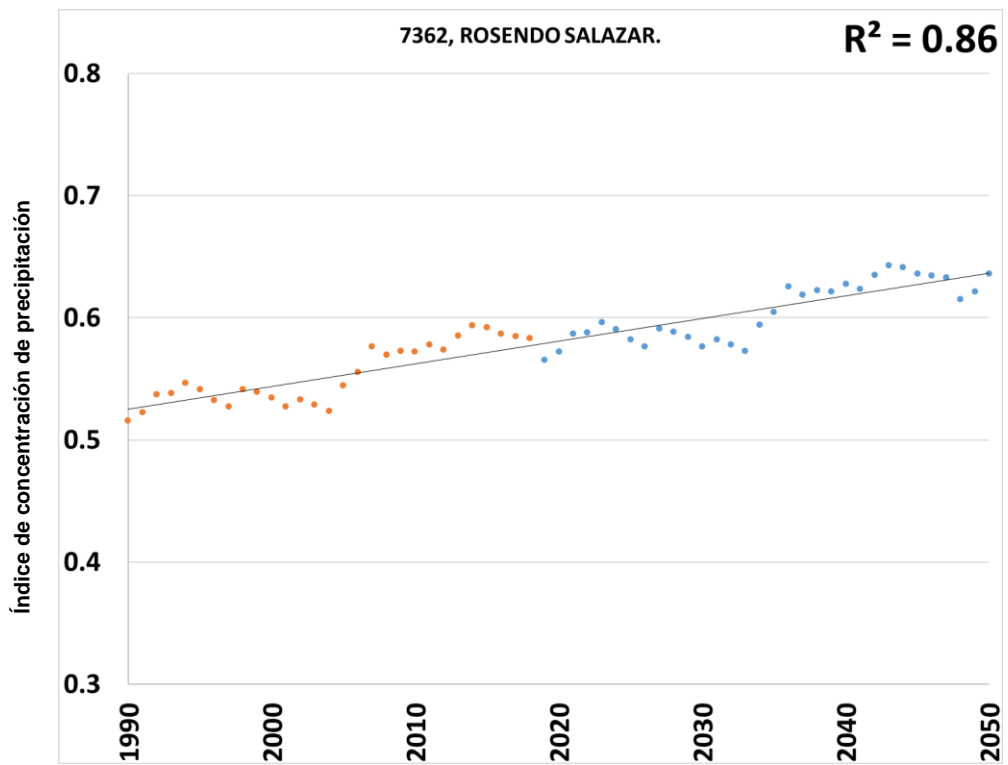
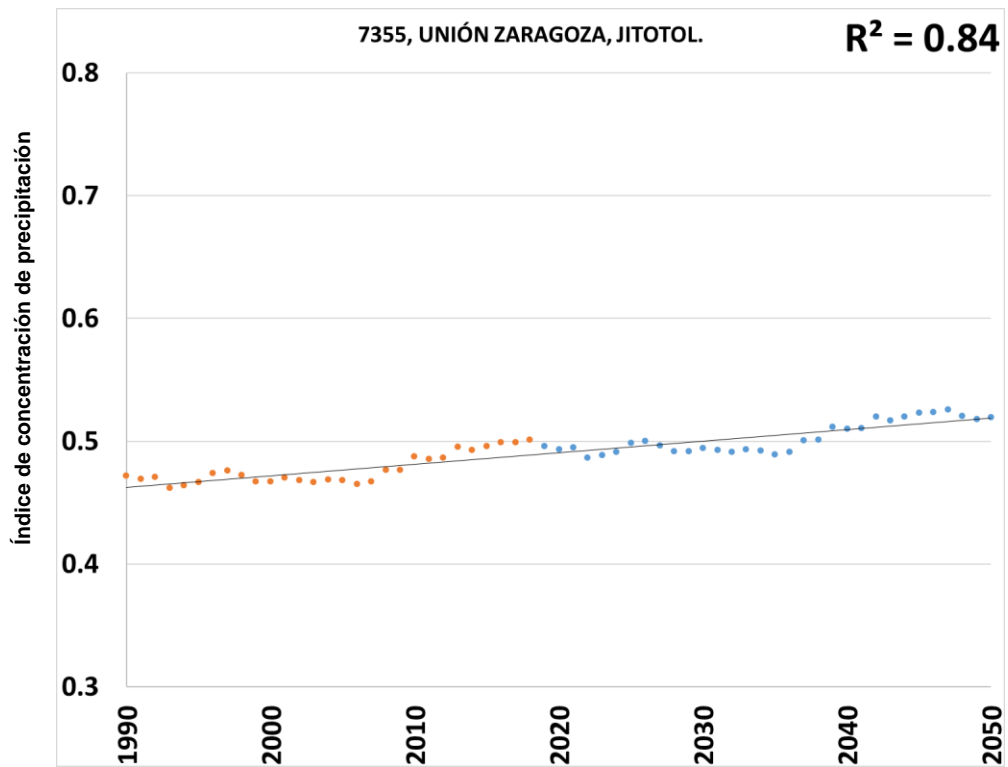


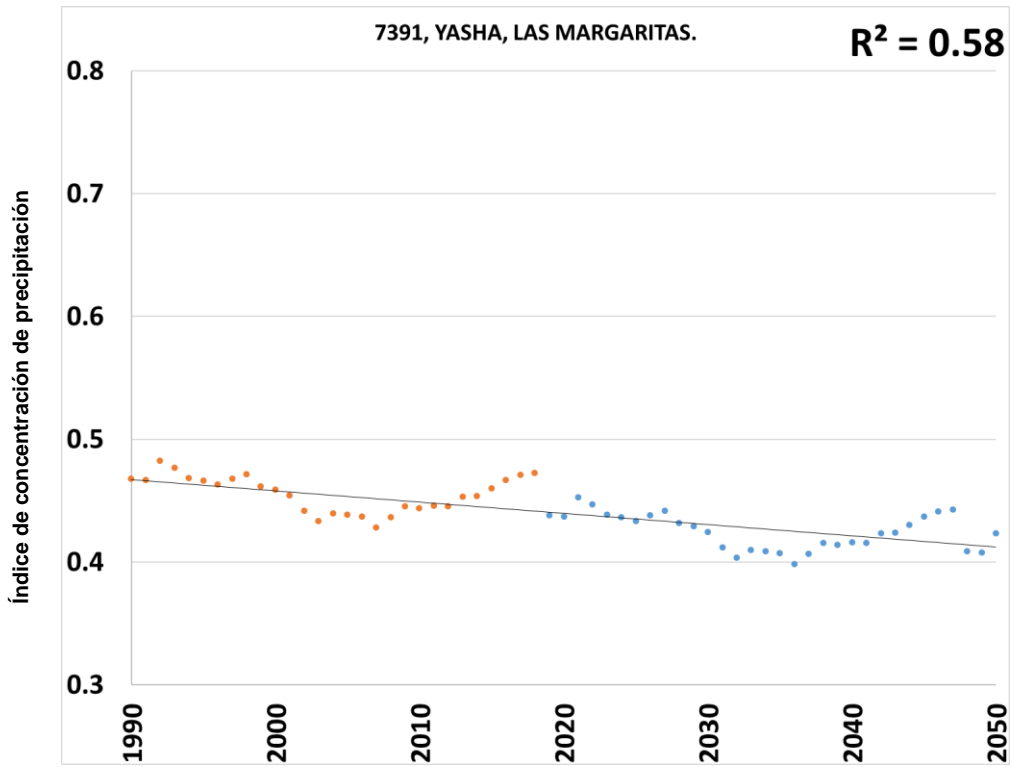
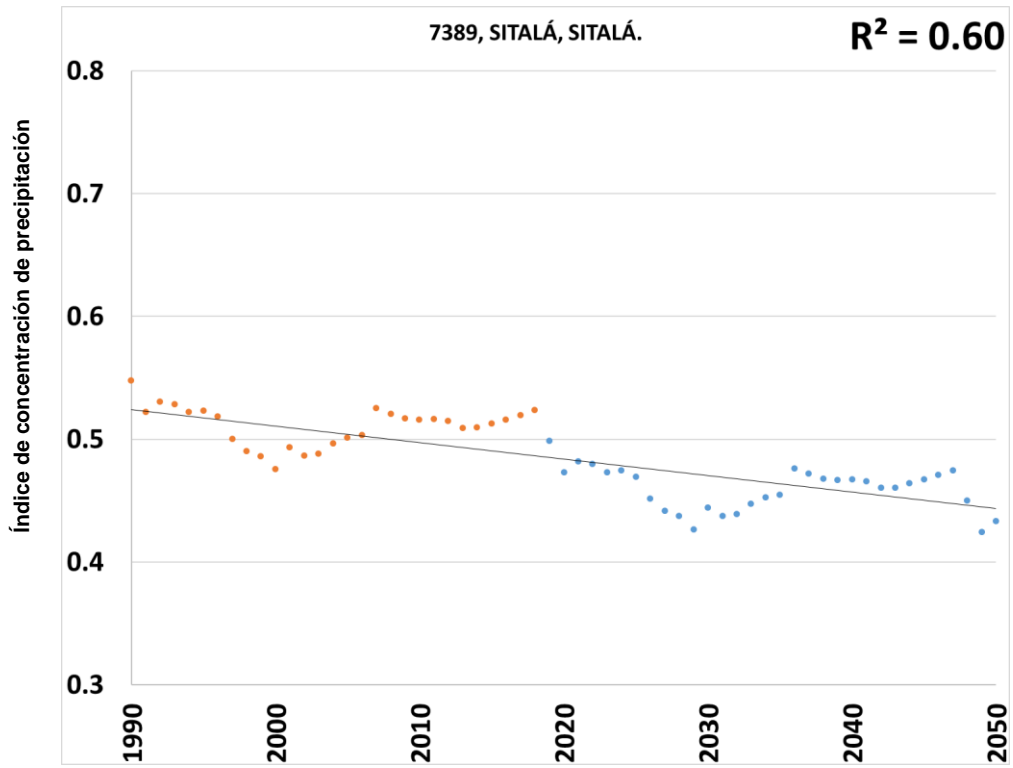












## BIBLIOGRAFÍA

- Aparicio, J. (2013). Conceptualización del Programa Nacional de Prevención contra Contingencias Hidráulicas. CONAGUA-OMM. México. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/164280/Conceptualizaci\\_n.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/164280/Conceptualizaci_n.pdf) (Consultado el 24 de noviembre de 2021).
- Back, A., Sonogo M., y Pereira J. (2020). Índices de concentración de lluvia en la región sur de Brasil. Revista Brasileña de Climatología. <https://gestiopolis.com/pioneros-del-cambio-climatico/> (Consultado el 22 de marzo de 2021).
- CEIEG. Comité Estatal de Información Estadística y Geográfico de Chiapas. Compendio de Información Geográfica y Estadística de Chiapas Geografía y Medio Ambiente (2020). [http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/home/wp-content/uploads/downloads/productosdgei/CIGECH/GeoMA/cigech\\_geo\\_medioamb.html](http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/home/wp-content/uploads/downloads/productosdgei/CIGECH/GeoMA/cigech_geo_medioamb.html) (Consultado el 04 de abril de 2021).
- CEIEG. Comité Estatal de Información Estadística y Geográfico de Chiapas. Chiapas Información Agrícola 2019 (2021). [http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/productos/files/BECH/Cuaderno\\_Agricultura\\_2020.pdf#:~:text=En%202019%2C%20Chiapas%20ocup%C3%B3%20el,represent%C3%B3%2018%2C630.8%20millones%20de%20pesos.](http://www.ceieg.chiapas.gob.mx/productos/files/BECH/Cuaderno_Agricultura_2020.pdf#:~:text=En%202019%2C%20Chiapas%20ocup%C3%B3%20el,represent%C3%B3%2018%2C630.8%20millones%20de%20pesos.) (Consultado el 10 de mayo de 2021).
- Christensen, J.H., B. Hewitson, A. Busuioc, A. Chen, X. Gao, I. Held, R. Jones, R.K.

Kolli, W.-T. Kwon, R. Laprise, V. Magaña Rueda, L. Mearns, C.G. Menéndez, J. Räisänen, A. Rinke, A. Sarr and P. Whetton, 2007: Regional Climate Projections. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University. <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1/regional-climate-projections/> (Consultado el 10 de febrero de 2021).

CONAGUA. (2011). Manual para el control de inundaciones. CONAGUA-SEMARNAT. México. <http://cenca.imta.mx/pdf/manual-para-el-control-de-inundaciones.pdf> (Consultado el 24 de noviembre de 2020).

CONAGUA. (2013). Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía en la Cuenca de la Costa de Chiapas. *Informe final noviembre de 2013*. 39 pp.

CONAGUA. (2019). Centro Hidrometeorológico Regional Tuxtla Gutiérrez. Boletines Climatológicos, de 2015 a 2018. Chiapas, México.

CONAGUA. (2020). Centro Hidrometeorológico Regional Tuxtla Gutiérrez. Boletines y reportes meteorológicos, 28-30 de septiembre; 29-31 de octubre y 01-06 de noviembre de 2020. Chiapas, México.

Escalante C., y Amores L. (2014). Análisis de tendencia de las variables hidroclimatológicas de la Costa de Chiapas. *Revista mexicana de ciencias*

agrícolas. 5(1), 61-75.

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342014000100006&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014000100006&lng=es&tlng=es). (Consultado el 20 de febrero de 2021).

Figuerola, A., Escobar, D. Guillen, H., y Ruíz, S. (2016). Índices de cambio climático en la cuenca del río Sabinal, Chiapas, México. *Aqua-LAC*. 8 (2), 36-42.

Gerendas, S. (2018, 19 de marzo). Pioneros del cambio climático. *Gestiopolis.com* <https://gestiopolis.com/pioneros-del-cambio-climatico/> (Consultado el 10 de marzo de 2021).

IPCC. (2014). *AR5 Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B Regional Aspects*. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2/> (Consultado el 24 de febrero de 2021).

IPCC. (2018 a). IPCC DDC Glossary. IPCC. [https://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/glossary/glossary\\_r.html](https://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/glossary/glossary_r.html) (Consultado el 20 de febrero de 2021).

IPCC. (2018 b). Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza. Paris. Resumen de responsabilidades del IPCC.

<https://public.wmo.int/es/resources/bulletin/el-ipcc-publica-el-informe-especial-sobre-el-calentamiento-global-de-15-%C2%B0c>. (Consultado el 20 de febrero de 2021).

Khurshid A. (2010). Inundaciones: aprendiendo de anteriores operaciones de emergencia y recuperación. IECAH. México. <https://www.iecah.org/index.php/libros/110-inundaciones-aprendiendo-de-antiores-operaciones-de-emergencia-y-recuperacion> (Consultado el 24 de noviembre de 2020).

Magaña, V., Matías, J., Morales, R., y Millán, C. (2004). Consecuencias presentes y futuras de la variabilidad y el cambio climático en México. En: Martínez, J., y Fernández, A. (comp.). Cambio climático: una visión desde México (pp. 203-213). México, DF, México: Secretaría de Medio.

Magaña, V., Mendez, A., Neri, C., Vázquez, G. (2018). El Riesgo ante la sequía meteorológica en México. [https://www.researchgates.net/publication/325768344\\_El\\_riesgo\\_ante\\_la\\_sequia\\_meteorologica\\_en\\_Mexico](https://www.researchgates.net/publication/325768344_El_riesgo_ante_la_sequia_meteorologica_en_Mexico). (Consultado el 10 de febrero 2021).

Martín-Vide, J. (2003). El Tiempo y el Clima. Rubes. España.

Martínez, R., Zambrano, E., Nieto, J., Hernández, J., y Costa, F. (2017). Evolución, vulnerabilidad e impactos económicos y sociales de El Niño 2015-2016 en América Latina. Investigaciones Geográficas. <https://doi.org/10.14198/INGEO2017.68.04> (Consultado el 10 de febrero de



2021).

Mather, A. y Chapman, K. (1995). *Environmental Resources*. Londres: Routledge.

Monterroso et al. (2014). *Vulnerabilidad y adaptación a los efectos del cambio climático en México*. Universidad Nacional Autónoma de México. México.  
<http://atlasclimatico.unam.mx/VyA/> (Consultado el 22 de febrero de 2021).

Díaz-Nigenda, E. (16 de octubre de 2015). *Actualización del inventario de emisiones de gases de efecto invernadero en Chiapas*. 5º Congreso Nacional de Investigación en Cambio Climático. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

Ochoa, C. (2006). *La concentración de precipitación en el centro del estado de Veracruz*. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana. Xalapa Veracruz, México. 87 pp.

OMM (Organización Meteorológica Mundial). (2020). *OMM Declaración sobre el Estado del Clima Global en 2019*. Ginebra: OMM.

ONU. (2022). *Población | Naciones Unidas*. <https://www.un.org/es/global-issues/population> . (Consultado el 15 de diciembre de 2022)

ONU-FAO. (2013). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia*. Chile.  
[www.fao.org/3/i3247s/i3247s.pdf](http://www.fao.org/3/i3247s/i3247s.pdf) (Consultado el 23 de febrero de 2021).

Oswald, Ú. (2012). *Vulnerabilidad social en eventos hidrometeorológicos extremos: una comparación entre los huracanes Stan y Wilma en México*. *Revista*

Internacional de Ciencias Sociales y Humanidades, SOCIOTAM. México.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=65429255006> (Consultado el 24 de noviembre de 2020).

PACCCH. (2011). Programa de Acción Ante el Cambio Climático del Estado de Chiapas. Secretaría de Medio Ambiente e Historia Natural. Chiapas. México.  
[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/316394/PACC\\_Chiapas-compressed.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/316394/PACC_Chiapas-compressed.pdf) (Consultado el 10 de febrero de 2021).

Pascual, J., Añó, C., Sánchez, J., Masiá, J. y Arnau, E. (2001). Valoración de la idoneidad de los índices PCI y MFI para estimar la concentración y agresividad de las precipitaciones en la Comunidad Valenciana. Cuaternario y geomorfología. España.  
[https://www.researchgate.net/publication/40745218\\_Valoracion\\_de\\_la\\_idoneidad\\_de\\_los\\_indices\\_PCI\\_y\\_MFI\\_para\\_estimar\\_la\\_concentracion\\_y\\_agresividad\\_de\\_las\\_precipitaciones\\_en\\_la\\_Comunidad\\_Valenciana](https://www.researchgate.net/publication/40745218_Valoracion_de_la_idoneidad_de_los_indices_PCI_y_MFI_para_estimar_la_concentracion_y_agresividad_de_las_precipitaciones_en_la_Comunidad_Valenciana) (Consultado el 11 de marzo de 2021).

Quiroz, C. (2011). "Anexo del Informe Técnico: Elaboración de un boletín con información hidroclimática de los mares de México.  
<https://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/BOLETINES/hidroclimatico/INDICES-CLIMATICOS.pdf> (Consultado el 08 de marzo de 2021).

Ruiz-Corral, J. A., Medina-García, G., Rodríguez-Moreno, V. M., Sánchez-González, J. D. J., Villavicencio García, R., Durán Puga, N., Grageda

- Grageda, J., & García Romero, G. E. (2016). Regionalización del cambio climático en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263144472001> (Consultado el 15 de agosto de 2020).
- Ruiz, L., Álvarez, G., Ramírez, N., y Cruz, B. (2017). Vulnerabilidad social y biológica ante el cambio climático en la Reserva de la Biosfera Selva El Ocote. *El Colegio de la Frontera Sur*. [https://www.researchgate.net/publication/322552222\\_Vulnerabilidad\\_social\\_y\\_biologica\\_ante\\_el\\_cambio\\_climatico\\_en\\_la\\_Reserva\\_de\\_la\\_Biosfera\\_Selva\\_El\\_Ocote](https://www.researchgate.net/publication/322552222_Vulnerabilidad_social_y_biologica_ante_el_cambio_climatico_en_la_Reserva_de_la_Biosfera_Selva_El_Ocote) (Consultado el 11 de mayo de 2021).
- Roblero, R., Chávez, J., Ibáñez, L., Palacios, O., Quevedo, A., y González, J. (2018). Índice de concentración de la precipitación diaria en la cuenca del Río
- Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI). (2020). Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI). <https://climexp.knmi.nl/> (Consultado el 20 de febrero de 2021).
- SAGARPA. (2010). Diagnóstico Sectorial del Estado de Chiapas. SAGARPA. México. [http://www.fec-chiapas.com.mx/sistema/biblioteca\\_digital/chs-2011-diagnostico-sectorial.pdf](http://www.fec-chiapas.com.mx/sistema/biblioteca_digital/chs-2011-diagnostico-sectorial.pdf). (Consultado el 10 de mayo de 2021).
- SEMARNAT. (2013). Estrategia Nacional de Cambio Climático Visión 10-20-40. SEMARNAT. México. <https://www.gob.mx/inecc/documentos/estrategia->

nacional-de-cambio-climatico-vision-10-20-40 (Consultado el 24 de febrero de 2021).

SMN. (2021). Lluvia normal climatológica de 1981 a 2010. CONAGUA. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/mapas-de-climatologia-1981-2010> (Consultado el 11 de mayo de 2021).