



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO**  
**UNIDAD ACADÉMICA**

**POSGRADO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL  
AGUA**

**EFFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LOS VALORES  
EXTREMOS DE LLUVIA Y TEMPERATURA EN EL RÍO ATOYAC,  
OAXACA**

**TESIS DE GRADO**

que como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA**

PRESENTA:

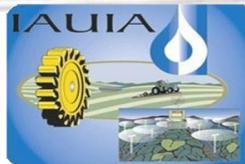
**GARCÍA SANTOS JESÚS QUETZALCÓATL**

Bajo la supervisión de:

**LAURA ALICIA IBÁÑEZ CASTILLO, DRA.**



**APROBADA**



Chapingo, Estado de México. Jueves 07 de diciembre de 2023

**EFFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LOS VALORES  
EXTREMOS DE LLUVIA Y TEMPERATURA EN EL RÍO  
ATOYAC, OAXACA**

Tesis realizada por **GARCÍA SANTOS JESÚS QUETZALCÓATL** bajo la supervisión del comité asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener:

DIRECTORA:   
\_\_\_\_\_  
DRA. LAURÁ ALICIA IBÁÑEZ CASTILLO

ASESOR:   
\_\_\_\_\_  
DR. RAMÓN ARTEAGA RAMÍREZ

ASESOR:   
\_\_\_\_\_  
DR. MAURICIO CARRILLO GARCÍA

**MAESTRO EN INGENIERÍA AGRÍCOLA Y USO INTEGRAL DEL AGUA**

## CONTENIDO

CONTENIDO .....	II
ÍNDICE DE CUADROS .....	IV
ÍNDICE DE FIGURAS .....	V
DEDICATORIA.....	VII
AGRADECIMIENTOS .....	VIII
DATOS BIOGRÁFICOS.....	IX
RESUMEN GENERAL.....	X
GENERAL ABSTRACT .....	XI
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. JUSTIFICACIÓN.....	3
1.2. ANTECEDENTES.....	5
1.3. OBJETIVOS.....	5
1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....	5
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	5
1.4. LITERATURA CITADA .....	6
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	7
2.1. EL CICLO HIDROLÓGICO .....	7
2.2. CUENCA.....	7
2.2.1. CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA .....	8
2.3. CAMBIO CLIMÁTICO .....	9
2.3.1. CLIMA .....	9
2.3.2. CAMBIO CLIMÁTICO.....	9
2.3.3. ÍNDICES DE CAMBIO CLIMÁTICO .....	19
2.3.4. CÁLCULO DE LOS INDICADORES DE ETCCDI .....	20
2.3.5. HOMOGENEIZACIÓN DE DATOS CLIMÁTICOS .....	26
2.4. DATOS METEOROLÓGICOS UTILIZADOS .....	28

2.5.	DESCRIPCIÓN PRECISA DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	30
2.5.1.	CLIMA .....	33
2.6.	LITERATURA CITADA .....	35
3.	EFFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LOS VALORES EXTREMOS DE LLUVIA Y TEMPERATURA EN EL RÍO ATOYAC, OAXACA.....	39
3.1.	RESUMEN.....	39
3.2.	INTRODUCCIÓN.....	40
3.3.	DISCUSIÓN TEÓRICA.....	41
3.4.	METODOLOGÍA .....	42
3.5.	RESULTADOS .....	47
3.6.	DISCUSIÓN.....	56
3.7.	CONCLUSIONES .....	56
3.8.	AGRADECIMIENTOS.....	57
3.9.	LITERATURA CITADA .....	57
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	61
4.1.	CONCLUSIONES .....	61
4.2.	RECOMENDACIONES.....	62
5.	ANEXOS .....	65
5.1.	ANEXO 1. ÍNDICES DE TEMPERATURA .....	65
5.2.	ANEXO 2 ÍNDICES DE PRECIPITACIÓN .....	79
5.3.	ANEXO 3 TENDENCIA DE LAS PENDIENTES POR ESTACIÓN.....	90

## ÍNDICE DE CUADROS

### CAPÍTULO 2

### CAPÍTULO 2

Cuadro 1. Lista de los índices climáticos básicos de ETCCDMI.....	22
Cuadro 2. Estaciones climatológicas utilizadas. ....	29

### CAPÍTULO 3

Cuadro 1. Lista de los índices climáticos básicos de ETCCDMI.....	45
Cuadro 2. Estaciones meteorológicas utilizadas.....	47
Cuadro 3. Pronóstico de precipitación anual en un escenario lejano 2075-2099. .....	54
Cuadro 4. Pronóstico de la temperatura máxima en un escenario lejano 2075- 2099.....	55
Cuadro 5. Pronóstico de la temperatura mínima en un escenario lejano 2075- 2099.....	55

### CAPÍTULO 5

Cuadro 1. Estaciones por cada tendencia de pendientes de los índices. ....	90
--	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO 2

Figura 1. Ejemplo de formato de datos para el archivo de datos inicial. ....	26
Figura 2. Estaciones meteorológicas suspendidas y operando, vistas en google earth.....	29
Figura 3. localización del área de estudio.....	31

### CAPÍTULO 3

Figura 1: localización del área de estudio.....	43
Figura 2. Tendencia de los índices de cambio climático en las 29 estaciones..	49

### CAPÍTULO 5

Figura 1. Tendencia en la cuenca del índice CSDI. ....	65
Figura 2. Tendencia en la cuenca del índice DTR.....	66
Figura 3. Tendencia en la cuenca del índice GSL.....	67
Figura 4. Tendencia en la cuenca del índice SU. ....	68
Figura 5. Tendencia en la cuenca del índice tn10p. ....	69
Figura 6. Tendencia en la cuenca del índice TN90P. ....	70
Figura 7. Tendencia en la cuenca del índice TNN.....	71
Figura 8. Tendencia en la cuenca del índice TNX.....	72
Figura 9. Tendencia en la cuenca del índice TR. ....	73
Figura 10. Tendencia en la cuenca del índice TX10P.....	74
Figura 11. Tendencia en la cuenca del índice TX90P. ....	75

Figura 12. Tendencia en la cuenca del índice TXN.....	76
Figura 13. Tendencia en la cuenca del índice TXX. ....	77
Figura 14. Tendencia en la cuenca del índice WSDI.....	78
Figura 15. Tendencia en la cuenca del índice CDD. ....	79
Figura 16. Tendencia en la cuenca del índice CWD. ....	80
Figura 17. Tendencia en la cuenca del índice PRCPTOT. ....	81
Figura 18. Tendencia en la cuenca del índice R10. ....	82
Figura 19. Tendencia en la cuenca del índice R20. ....	83
Figura 20. Tendencia en la cuenca del índice R25. ....	84
Figura 21. Tendencia en la cuenca del índice R95P.....	85
Figura 22. Tendencia en la cuenca del índice R99P.....	86
Figura 23. Tendencia en la cuenca del índice Rx1day.....	87
Figura 24. Tendencia en la cuenca del índice Rx5day.....	88
Figura 25. Tendencia en la cuenca del índice SDII.....	89

## DEDICATORIA

A Diosito... por haber trazado el camino que ahora estamos siguiendo y tener siempre lo mejor para nosotros.

A mi papá y a mi mamá porque son quienes más han aportado a que este trabajo se realice.

A mis dos hermanitos por la gran familia que fuimos y seguiremos siendo

A mis sobrinitos... por la alegría de la casa

A mi abuelita que nos acompaña, así como mi abuelita paterna y mis dos abuelitos que nos siguen desde donde ahora están

A todos los compañeros y amigos que han creído que yo puedo hacer cosas importantes.

A todo aquel que haya aportado su granito de arena para que este trabajo quedara terminado sugiriendo desde una buena idea hasta facilitando cosas materiales...

A quien un día me dijo que sería buena idea regresar a hacer una maestría después de ejercer la profesión un ratito.

A todos con mucho cariño...

*Chuy*

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT), por la beca otorgada que fue de gran ayuda durante el programa de maestría cursado y la realización de este trabajo

A la Universidad Autónoma Chapingo por haberme brindado durante todo el tiempo una educación de calidad, además de un hogar y servicios asistenciales invaluable.

Al Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua (IAUIA) por proporcionarme las herramientas el conocimiento y la formación académica que son y serán de gran utilidad hoy y siempre

A los profesores que ponen todo su esfuerzo, empeño tiempo y dedicación para hacer de nosotros cada vez mejores, así como también al personal de apoyo.

A la Dra. Laura Ibáñez Castillo por ser una excelente guía, por aportar todo su conocimiento, resolver las dudas que surgían, por su tiempo, esfuerzo, dedicación empeño y todo lo aportado como buena directora de tesis durante la elaboración del presente trabajo.

Al Dr. Ramón Arteaga Ramírez por sus aportes en clases, por su tiempo por los consejos y correcciones durante la elaboración del proyecto .

Al Dr. Mauricio Carrillo García por su tiempo, por las correcciones y sugerencias al elaborar el trabajo.

A todo aquel que haya influido en la elaboración del presente documento, o que haya seguido muy de cerca los avances

A Dios Padre, por permitirme llegar hasta acá

...Infinitas gracias a todos

*Chuy*

## DATOS BIOGRÁFICOS



Nombre	García Santos Jesús Quetzalcóatl
Fecha de nacimiento	08 de diciembre de 1988
Lugar de nacimiento	San Mateo Piñas, Oaxaca
No. Cartilla militar	3927460
CURP	GASQ881208HOCRNT06
Profesión	Ingeniero en Irrigación
Cédula profesional	12994665

## DESARROLLO ACADÉMICO

Bachillerato	Colegio de estudios científicos y tecnológicos del estado de Oaxaca (CECyTE) EMSaD 15
Licenciatura	Ingeniería en Irrigación en Universidad Autónoma Chapingo

## RESUMEN GENERAL

### EFFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LOS VALORES EXTREMOS DE LLUVIA Y TEMPERATURA EN EL RÍO ATOYAC, OAXACA

El clima se relaciona con las condiciones atmosféricas (temperatura promedio, precipitación y vientos) durante un intervalo de tiempo que comúnmente se determina en treinta años. La variación estadística significativa del mismo a lo largo de un período prolongado se conoce como cambio climático, el cual puede ser el resultado de factores naturales o antropogénicos, como la quema de combustibles fósiles o en modificaciones en el uso del suelo. México presenta alta susceptibilidad a los impactos del cambio climático. Su población está en riesgo de presenciar inundaciones, por otro lado, existe la posibilidad de que la desertificación afecte hasta el 40% de la extensión nacional usada para la agricultura. En ese sector, se visualiza disminución de la productividad del maíz para la década de 2050, pérdida en la fertilidad de suelos en las unidades de producción, también existe evidencia de que la mayoría de los cultivos resultarán menos apropiados para la producción hacia 2030. En Oaxaca también se presentan cambios considerables. ha disminuido el periodo de lluvias presentándose ahora entre los meses de julio a octubre siendo que anteriormente se daba desde mayo hasta noviembre, las tormentas tropicales y los huracanes cada vez son más frecuentes. Al analizar los datos de precipitación y temperatura de las estaciones meteorológicas de la cuenca río Verde-Atoyac se observa que se presentan cada vez más días con temperaturas altas, menor cantidad de días con temperaturas bajas, mayor presencia de periodos fríos y estos cada vez con mayor duración, una diferencia cada vez mayor entre la temperatura máxima y la mínima. En cuanto a la precipitación se observó, mayor cantidad de días secos consecutivos, mayor lamina precipitada en un día, mayor presencia de lluvias torrenciales.

**Palabras clave:** cambio climático índices de cambio climático, temperatura, extrema, precipitación, RClimDex.

---

Tesis de Maestría en Ingeniería, Posgrado en Ingeniería Agrícola y Uso Integral del Agua, Universidad Autónoma Chapingo.

Autor: García Santos Jesús Quetzalcóatl

Director: Dra. Laura Ibáñez Castillo

## GENERAL ABSTRACT

### EFFECT OF CLIMATE CHANGE ON EXTREME VALUES OF RAINFALL AND TEMPERATURE IN ATOYAC RIVER BASIN OAXACA MEXICO

The climate is related to the atmospheric conditions such as temperature, rainfall, and wind, commonly considering a 30-year data period to really define it. Climate change is when, during that period there is a significant statistical variation; climate change may result from of natural or anthropogenic factors, such as fossil combustion or land use change. Mexico presents a high susceptibility to climate change impacts. In the one hand we can have floodings and in the other hand, we can have desertification affecting the 40% of farming land. It is predicted that Mexican agriculture will decrease in corn productivity for the year 2050. Also the soil will loss fertility and many crops will not adapt to the climate change. Mexican state of Oaxaca is presenting some of that mentioned climate changes: rainfall period has shortened from may-november to july-october, tropical rainfall, and hurricane are presenting more often than before. As result of our 30-year analysis of temperature and rainfall data in our study area, it is observed that there are more days with high temperatures, less days with low temperatures but those few low temperatures tend to form a consecutive block of cold period days. Also it is observed a higher difference between high and low temperature. With respect to rainfall, it is observed more consecutive dry days and, higher daily rainfall when it is presented.

**Key words:** climate change, climate change, indices, temperature, extreme, precipitation RCLimDex

---

Master Degree Thesis in Engineering, Graduate Program in Agricultural and Water Engineering, Universidad Autónoma Chapingo.

Author: García Santos Jesús Quetzalcóatl

Advisor: Dra. Laura A. Ibáñez Castillo

# 1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático se ha convertido en uno de los más grandes retos que afronta el ser humano en la actualidad. Conforme las acciones del ser humano arrojan grandes cantidades de gases de efecto invernadero a la superficie, el clima de la Tierra está experimentando cambios significativos. Este fenómeno no solo amenaza la estabilidad de los ecosistemas, sino que también impacta directamente en la vida de millones de personas en todo el mundo.

Por "cambio climático" se entiende una modificación en el clima debido directa o indirectamente a la acción del hombre que modifica la estructura de la atmósfera terrestre y que se une a los cambios naturales del clima que se han visto durante lapsos de tiempo comparables (ONU, 1992).

Las consecuencias del cambio climático se han evidenciado en todo el mundo, a nivel mundial, regional y local. Desde una óptica mundial, 11 de los 12 años más calurosos que se tienen conocimiento a partir de 1850, han tenido lugar entre 1995 y 2006 (Guido-Aldana, 2017).

De acuerdo con Flores-Martínez et al. (2009), es fundamental destacar que, aunque el clima evoluciona de forma natural, los expertos mencionan que hay pruebas sólidas de que el incremento en la temperatura de la tierra observado en las últimas cinco décadas puede ser imputado a las actividades humanas. Los datos que se tienen de los últimos cien años confirman, que la temperatura media se ha incrementado en aproximadamente  $0,1^{\circ}\text{C}$  por década. (Power, 2009).

La atmósfera está compuesta en mayor proporción por gases diatómicos y monoatómicos, entre ellos, el oxígeno ( $O_2$ ) Nitrógeno ( $N_2$ ) y el argón (Ar) (Arcos, 2007), quienes son transparentes a la radiación térmica infrarroja, o sea que,

dejan salir y entrar libremente la energía. Los otros gases que se encuentran en menos proporción, principalmente son poliatómicos, por ejemplo, el dióxido de carbono ( $CO_2$ ), el metano ( $CH_4$ ), el óxido nitroso ( $N_2O$ ), el ozono ( $O_3$ ) y el vapor de agua ( $H_2O$ ), en distintas proporciones como humedad del aire y en las nubes. Esos gases pueden absorber y reemitir la radiación infrarroja provocando el denominado efecto invernadero al retener en la atmósfera una cantidad de la energía recibida del Sol (Power, 2009).

Durante millones de años, el efecto invernadero natural mantuvo el clima del planeta con una temperatura media regularmente estable que ayudaba a que la vida se llevara a cabo de la manera en que se conoce. Los gases invernadero atrapaban el calor proporcionado por el sol cerca de la superficie del planeta, lo que permitía la evaporación del agua superficial formando así las nubes, mismas que regresan este líquido a la Tierra, en un ciclo importante que se estaba sosteniendo en equilibrio (Arcos, 2007). Pero gracias a la humanidad el ciclo se ha alterado al emitir cada vez más este tipo de gases a la atmósfera.

Cuando el Cambio Climático se debe a las actividades realizadas por la especie humana se llama Cambio Climático Antropogénico. Por esto se pronostica que el calentamiento global se prolongará si se sigue emitiendo dióxido de carbono ( $CO_2$ ) al aire, debido al consumo de combustibles fósiles (Arcos, 2007).

Desde que empezó la revolución industrial, el gasto de combustibles fósiles ha aumentado firmemente, pero en los periodos recientes el acrecentamiento se ha notado más acentuado. La mayoría vienen de tres fuentes: la producción de energía por combustión de carbón, petróleo y gas natural; la industria del cemento, la combustión de los gases excedentes de la extracción y refinación de petróleo (Power, 2009).

## **1.1. Justificación**

México es un país con alta susceptibilidad a los impactos del cambio climático. Numerosas personas en México están en riesgo de presenciar los efectos de las inundaciones, por otro lado, existe la posibilidad de que la desertificación afecte hasta el 40% de la extensión nacional que es usada para la agricultura (Guido-Aldana, 2017).

Los análisis de vulnerabilidad realizados recientemente indican que los asentamientos litorales son las más propensas, pues se espera un acrecentamiento del nivel del mar, así como de la periodicidad y tamaño de los eventos hidrometeorológicos (Guido-Aldana, 2017).

Debido a sus particularidades geográficas, México es una de las naciones más propensas a sufrir las consecuencias del cambio climático. Su posición entre dos mares, su latitud y las características de su relieve lo exponen a variados fenómenos hidrometeorológicos. Se ha observado un aumento en los impactos provocados por huracanes de alta intensidad en las últimas décadas; un análisis sobre la frecuencia de huracanes que afectaron el territorio entre 1970 y 2009 señala un incremento en la ocurrencia de estos fenómenos, especialmente de categoría 3, 4 y 5, en el Golfo de México y el Mar Caribe. Durante este lapso, el Atlántico mexicano ha sufrido 264 ciclones tropicales, mientras que el Pacífico ha sido impactado por 549. Los efectos ambientales, económicos, culturales y sociales causados por el cambio climático afectan directamente a los sectores productivos (agricultura, recursos hídricos, salud, zonas costeras, energía, producción de alimentos) y a las comunidades humanas de distintas zonas geográficas del país.

En nuestro país ya se presentan algunos efectos de los incrementos de la temperatura, por ejemplo, en la agricultura se prevé una disminución de la productividad del maíz para la década de 2050, aunado a la complicación presente del 25% de los módulos de producción con desgaste en la fertilidad de suelos. Hay pruebas de que gran cantidad de los productos que se cultivan serán menos apropiados para la cosecha en nuestro país en los próximos siete años, provocando un escenario crítico al finalizar este siglo (Guido-Aldana, 2017).

En la vida costera se verá un incremento del nivel del mar poniendo en peligro a las poblaciones establecidas en zonas de playa. Además, existe la certeza de que las áreas hídricas y agrícolas se verán perjudicados por la intrusión salina. También se prevé que haya mayor riesgo de inundaciones y deslizamientos de laderas (Guido-Aldana, 2017).

En los mares, una ampliación en la temperatura podría provocar un colapso demográfico en las especies acuáticas, causando que los pescadores disminuyan la cantidad conseguida diariamente. En cuanto a los mamíferos, se prevé que a mediados de este siglo disminuyan a casi de la mitad de las especies analizadas (Guido-Aldana, 2017).

El desconocimiento sobre qué cambios habrá y de qué magnitud serán intensidad dificulta predecir qué consecuencias traerán a nuestra nación; solo se pronostica que mientras mayor sea la categoría de las tormentas, los impactos tienen mayores efectos importantes sobre la sociedad y su economía (Guido-Aldana, 2017), situaciones que ya se están viendo con la presencia de huracanes de categorías cada vez mayor por ambas partes del país, con esto será menor la temporada lluviosa provocando que más de la mitad del territorio nacional será cada vez más árida, con sequías más consecutivas, un incremento en la

necesidad del vital líquido principalmente en los estados de la frontera con Estados Unidos y en muchas ciudades (Guido-Aldana, 2017).

## **1.2. Antecedentes**

el análisis de la información meteorológica con ayuda del software RClimDex, utilizando los 27 índices de ETCCDI, para detectar cambio climático ya se ha llevado a cabo en algunas zonas del país pero hasta el momento, son muy pocos o nulos los registros que se tengan de algún estudio hecho en Oaxaca, los más cercanos con los que se cuenta son realizados en Veracruz, Chiapas y Puebla, en los que se concluyó que sí existe prueba de que últimamente se están presentando temperaturas más altas y algunas alteraciones en la distribución de la precipitación anual|

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. objetivo general**

Analizar de qué manera el cambio climático ha afectado a la precipitación y el escurrimiento dentro de la cuenca del Río Atoyac – Río Verde, en el estado de Oaxaca; presentándose cada vez valores más altos y más bajos a los que se tienen registro.

### **1.3.2. objetivos específicos**

- Comparar los registros de precipitación y temperatura de años pasados contra periodos recientes que se tengan en las estaciones ubicadas dentro del área de estudio para notar algunos cambios
- Detectar presencia de cambio climático en la zona estudiada, con ayuda de algún modelo climático.

- Proponer algunas prevenciones para la población y algunas medidas para mitigar el cambio.

#### **1.4. Literatura Citada**

Arcos N., G. (2007). Calentamiento global CienciaUAT, 2(2), 10-14. Recuperado el 08 de noviembre de 2023, de <https://www.redalyc.org/pdf/4419/441942910004.pdf>

Guido-Aldana, P. (2017). Cambio climático: selección, clasificación y diseño de medios de adaptación (1a ed.). Jiutepec, Morelos, México: IMTA. Recuperado el 05 de noviembre de 2023, de [https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros\\_html/cambio-climatico/files/assets/common/downloads/publication.pdf](https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/cambio-climatico/files/assets/common/downloads/publication.pdf)

ONU. (1992). convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. Nueva York: ONU. Recuperado el 06 de noviembre de 2023, de <https://www.acnur.org/fileadmin/Documentos/BDL/2009/6907.pdf>

Power P. G.. (2009). El calentamiento global y las emisiones de carbono. Ingeniería Industrial(27), 101-122. Recuperado el 08 de noviembre de 2023, de <https://www.redalyc.org/pdf/3374/337428493007.pdf>

## **2. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1. EL CICLO HIDROLÓGICO**

El ciclo hidrológico se considera el principio básico de la hidrología. El agua que se encuentra en la superficie terrestre o cerca de ella se evapora debido a la radiación solar y al viento. El vapor de agua desarrollado se encumbra y se desplaza por el aire dando lugar a la formación de nubes esperando a que se condense y vuelva a la tierra como precipitación. En su camino hacia la superficie terrestre, el agua que ha caído puede evaporarse de nuevo o ser capturada por las plantas o edificaciones; luego fluye por los terrenos hacia ríos o se infiltra en el suelo. El líquido capturado, parte del que se ha infiltrado y el que fluye por la tierra se vaporiza de nuevo. De la lluvia que se dirige a los ríos, una cantidad se infiltra y otra parte desemboca en el mar o algún otro cuerpo de agua grande, como presas o lagos. De la cantidad que se ha infiltrado, parte es absorbida por las plantas, luego se libera de nuevo en forma de vapor rumbo a la atmósfera, y otra cantidad camina bajo el suelo hacia ríos, el océano u otros cuerpos de agua, o se dirige hacia capas subterráneas de la tierra para almacenarse como agua subterránea y luego surgir en forma de nacimientos, corrientes, arroyuelos o el océano. (Aparicio, 1992).

### **2.2. CUENCA**

Es un área de la tierra en donde, si fuera impermeable, la lluvia que cae en ella es drenada mediante ríos o arroyuelos rumbo el mismo sitio de desemboque. La descripción anterior hace referencia a una cuenca superficial; adjunta a cada una de ellas se encuentra una cuenca subterránea, la cual debe ser muy parecida a la primera. Por esto se aclara que la definición es válida si la superficie fuera impermeable. Con base en la salida, se definen principalmente dos cuencas

diferentes: endorreicas y exorreicas. En el primer caso, el punto de concentración del agua está dentro del área estudiada, rodeada por el perímetro, y regularmente es un lago; en las otras, el desembocadero se ubica en una orilla de la cuenca y desemboca en algún camino de agua o en el mar (Aparicio, 1992).

### **2.2.1. Características de la cuenca**

El parteaguas es un límite imaginario compuesto por los puntos de mayor altitud con respecto al nivel del mar, que aísla la cuenca de sus vecinas. La superficie se define como la zona, en proyección horizontal, que encierra el parteaguas (Aparicio, 1992).

La corriente principal de una cuenca es la que pasa por la salida de esta. Las otras se llaman corrientes tributarias. Cada punto a lo largo de un curso de agua tiene una región de influencia; toda cuenca hidrográfica está conectada a una única corriente principal. Las áreas que corresponden a los afluentes o a los puntos de desagüe se denominan tributarias o subcuencas. A medida que aumenta el número de afluentes en una cuenca, su capacidad de respuesta ante la precipitación se intensifica. (Aparicio, 1992). Debido a esto, se propusieron distintos criterios para determinar el grado de bifurcación, a continuación, son mencionados algunos de ellos:

Un curso de agua de categoría 1 se caracteriza por ser un tributario sin divisiones; uno de categoría 2 tiene únicamente afluentes de categoría 1, y así sucesivamente. La fusión de dos cursos de agua de categoría 1 resulta en uno de categoría 2, mientras que la combinación de dos de categoría 3 genera uno de categoría 4, y así sucesivamente. Sin embargo, es importante notar que, por ejemplo, la combinación de un curso de agua de categoría 2 y otro de categoría

3 resulta en uno de categoría 3. El nivel de categoría de una cuenca es determinado por el curso de agua principal en su punto de salida. (Aparicio, 1992)

## **2.3. CAMBIO CLIMÁTICO**

### **2.3.1. Clima**

El clima se relaciona con las condiciones atmosféricas (temperatura promedio, precipitación y vientos) durante un intervalo de tiempo que comúnmente se determina en treinta años (Guido-Aldana, 2017), mismos que caracterizan a una zona, varía entre regiones y a través del tiempo (Flores-Martínez, Rodríguez-Ortega, Solares-Rojas, & González-Ruiz, 2009). Algunos factores que determinan estas diferencias son la continentalidad o proximidad del sitio con el mar, la altitud con respecto al nivel del mar, su orientación con respecto al sol, las corrientes marinas y la latitud.

### **2.3.2. Cambio climático**

La variación estadística significativa a lo largo de un período prolongado se conoce como cambio climático, la cual puede ser el resultado de componentes naturales o antropogénicos, como la ignición de combustibles fósiles, que se observa en la composición de la atmósfera o en modificaciones en el uso del suelo (Guido-Aldana, 2017).

El término "cambio climático" se utiliza para describir una modificación en las condiciones del clima que se asigna directa o indirectamente a la intervención de las actividades humanas que modifican la constitución de la atmósfera del planeta y que se une a la variabilidad natural del clima detectada dentro de ciertos lapsos de tiempo confrontables (ONU, 1992).

Los cambios en el clima, notados en los últimos cincuenta años, es producto de la intervención humana, con la economía mundial y la urbanización como los principales elementos desencadenantes. Las zonas urbanas son especialmente susceptibles a los impactos del cambio climático, como inundaciones, lluvias copiosas, sequías y olas de calor, por lo que es esencial tomar medidas para reducir y adaptarse a estos peligros. (Soares & Peña, 2018)

Las consecuencias del cambio climático se han evidenciado en todo el mundo, a nivel mundial, regional y local. Desde una óptica mundial, 11 de los 12 años más calurosos que se tienen conocimiento a partir de 1850, han tenido lugar entre 1995 y 2006. Así mismo, la temperatura promedio de nuestro planeta se ha elevado en 0.74 °C en el último siglo (Guido-Aldana, 2017).

Los expertos caracterizan al cambio climático como "...cualquier alteración en las condiciones climáticas a lo largo del tiempo, ya sea como consecuencia de la variabilidad natural o de las acciones del hombre" (Flores-Martínez et al. 2009)

### **2.3.2.1. Calentamiento global**

De acuerdo con Flores-Martínez et al. (2009), es la forma más clara que se tiene para detectar el cambio climático, se relaciona con el acrecentamiento medio de las temperaturas globales tanto en la tierra como en los océanos. Es fundamental destacar que, aunque el clima evoluciona de forma natural, los sabios indican que se tienen pruebas sólidas de que el calentamiento de la tierra observado en las últimas cinco décadas puede ser imputado a las actividades humanas.

Los datos que se tienen de los últimos cien años confirman, que la temperatura promedio se ha elevado en aproximadamente 0,1°C cada diez años. Por lo general, los registros muestran la incoherencia o desviación de la temperatura

con respecto a un promedio identificado entre los años 1951 y 1980 (donde el promedio es muy aproximado a los 14°C). (Power, 2009).

El efecto se llama así por su parecido con un invernadero, es la acumulación de la radiación recibida directamente del sol en un sitio aislado que deja entrar la energía, no permitiendo salidas al exterior. De forma que, la temperatura adentro del invernadero sube y a los vegetales se les facilita progresar en contextos más adecuados que al aire libre (Power, 2009).

La atmósfera se encuentra constituida en su mayoría por gases diatómicos y monoatómicos, como el oxígeno ( $O_2$ ) en un 21%, el nitrógeno ( $N_2$ ) en un 78% y el argón (Ar) en un 9% (Arcos, 2007), mismos que en pocas palabras son transparentes a la radiación térmica infrarroja, es decir, permiten tanto el ingreso como la salida de energía. Los otros gases que se encuentran en menos proporción, principalmente son poliatómicos, por ejemplo, el dióxido de carbono ( $CO_2$ ), el metano ( $CH_4$ ), el óxido nitroso ( $N_2O$ ), el ozono ( $O_3$ ) y el vapor de agua ( $H_2O$ ), en distintas proporciones como humedad del aire y en las nubes. Esos gases pueden absorber y reemitir la radiación infrarroja provocando el denominado efecto invernadero al retener en la atmósfera una cantidad de la energía recibida del Sol (Power, 2009).

Durante millones de años, el efecto invernadero natural mantuvo el clima del planeta con una temperatura media regularmente estable que ayudaba a que la vida se llevara a cabo de la manera en que se conoce. Los gases invernadero atrapaban el calor proporcionado por el sol cerca de la superficie del planeta, lo que permitía la evaporación del agua superficial formando así las nubes, mismas que regresan este líquido a la Tierra, en un ciclo importante que se estaba sosteniendo en equilibrio (Arcos, 2007).

El 11 de diciembre de 1997, en la ciudad de Kyoto, las naciones industrializadas acordaron implementar una serie de acciones destinadas a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. Los gobiernos que suscribieron este acuerdo se comprometieron a reducir, en promedio, un 5% las emisiones contaminantes entre 2008 y 2012, tomando como base los niveles registrados en 1990. El acuerdo entró en vigor el 16 de febrero de 2005. La meta primordial para el IPCC es reducir el Cambio Climático de origen antropogénico que tiene su principal causa en el efecto invernadero. De acuerdo con las estadísticas de la ONU, se anticipa un incremento en la temperatura promedio de la superficie terrestre en un rango de 1,4 a 5,8 °C para el año 2100, a pesar de que los inviernos puedan ser más fríos y extremos. Este fenómeno se denomina Calentamiento Global. Estas alteraciones tendrán consecuencias significativas en los ecosistemas y en nuestras actividades económicas. (Arcos, 2007).

Cuando el Cambio Climático se debe a las actividades realizadas por la especie humana se llama Cambio Climático Antropogénico. Por esto se pronostica que el calentamiento global se prolongará si se sigue emitiendo bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) al aire, debido al consumo de combustibles fósiles (Arcos, 2007).

Desde que empezó la revolución industrial, el gasto de combustibles fósiles ha aumentado firmemente, pero en los periodos recientes el acrecentamiento se ha notado más acentuado. Las últimas emisiones de carbono conocidas comúnmente de CO<sub>2</sub> han sido de aproximadamente 8 mil millones de toneladas cada año cantidad que tiende a duplicarse en el próximo medio siglo. La mayoría vienen de tres fuentes: la producción de energía por combustión de carbón, petróleo y gas natural; la industria del cemento, la combustión de los gases excedentes de la extracción y refinación de petróleo (Power, 2009).

## **Cambio climático en México**

México es un país con alta susceptibilidad a los impactos del cambio climático. Numerosas personas en México están en riesgo de presenciar los efectos de las inundaciones, por otro lado, existe la posibilidad de que la desertificación afecte hasta el 40% de la extensión nacional que es usada para la agricultura (Guido-Aldana, 2017).

Los análisis de vulnerabilidad realizados recientemente indican que los asentamientos litorales son los más propensos, pues se espera un acrecentamiento del nivel del mar, así como de la periodicidad y tamaño de los eventos hidrometeorológicos (Guido-Aldana, 2017).

Debido a sus particularidades geográficas, México es una de las naciones más propensas a sufrir las consecuencias del cambio climático. Su posición entre dos mares, su latitud y las características de su relieve lo exponen a variados fenómenos hidrometeorológicos. Se ha observado un aumento en los impactos provocados por huracanes de alta intensidad en las últimas décadas; un análisis sobre la frecuencia de huracanes que afectaron el territorio entre 1970 y 2009 señala un incremento en la ocurrencia de estos fenómenos, especialmente de categoría 3, 4 y 5, en el Golfo de México y el Mar Caribe. Durante este lapso, el Atlántico mexicano ha sufrido 264 huracanes y tormentas tropicales, mientras que el Pacífico ha sido impactado por 549. Los efectos ambientales, económicos, culturales y sociales causados por el cambio climático afectan directamente a los sectores productivos (agricultura, recursos hídricos, salud, zonas costeras, energía, producción de alimentos) y a las comunidades humanas de distintas zonas geográficas del país.

## **Afectaciones del cambio climático en México**

**Costero:** El incremento del nivel del mar constituye un peligro para las poblaciones establecidas en poblaciones costeñas. Aunado a esto, las áreas hídricas y agrícolas serían seriamente invadidas por la intrusión salina. Además, existirán áreas en las que la lluvia será más fuerte y recurrente, aumentando la probabilidad de desbordamientos, sin mencionar la probabilidad de deslizamientos de laderas (Guido-Aldana, 2017).

**Hídrico:** Será menor la temporada lluviosa provocando que más de la mitad del territorio nacional será cada vez más árida, con sequías más consecutivas, un incremento en la necesidad del vital líquido principalmente en los estados de la frontera con Estados Unidos y en muchas ciudades (Guido-Aldana, 2017).

**Ecosistemas y biodiversidad:** La disminución en la extensión de los bosques de coníferas, así como la afectación de especies adaptadas a áreas áridas, semiáridas y bosques de zonas templadas, son consecuencias de la reducción de hábitats. En los mares, una ampliación en la temperatura podría provocar un colapso demográfico en las especies acuáticas, causando que los pescadores disminuyan la cantidad conseguida diariamente. En cuanto a los mamíferos, se prevé que a mediados de este siglo disminuyan a casi de la mitad de las especies analizadas, acabando con más de cuatro quintas partes de su rango de repartición que habían tenido hasta ahora (Guido-Aldana, 2017).

**Tormentas y clima severo:** El desconocimiento sobre qué cambios habrá y de qué magnitud serán intensidad dificulta predecir qué consecuencias traerán a nuestra nación; solo se pronostica que mientras mayor sea la categoría de las tormentas, los impactos tienen mayores efectos importantes sobre la sociedad y su economía (Guido-Aldana, 2017).

**Agricultura:** Disminución de la productividad del maíz para la década de 2050, aunado a la complicación presente del 25% de los módulos de producción con desgaste en la fertilidad de suelos. Hay pruebas de que gran cantidad de los productos que se cultivan serán menos apropiados para la cosecha en nuestro país en los próximos siete años, provocando un escenario crítico al finalizar este siglo (Guido-Aldana, 2017).

### **El sector agropecuario y el cambio climático**

Siendo un sector altamente vulnerable y amenazado por el cambio climático, también es uno que contribuye al problema, debido a sus emisiones de gases de efecto invernadero y a la utilización de los recursos naturales. En contraste es una sección con mucho terreno en aras de ser partidario del clima, debido a la capacidad de capturar carbono en los métodos de producción, especialmente en términos de gestión del suelo, cobertura vegetal y preservación de la biodiversidad, es esencial. El objetivo es alcanzar una producción agroalimentaria que sea respetuosa con el clima y, al mismo tiempo, capaz de resistir los impactos del cambio climático. es la clave para garantizar la seguridad y la soberanía alimentaria de México, las oportunidades de progreso y el trabajo en el mercado; pero, sobre todo, ayudar a erradicar la pobreza, y a preservar la producción y las oportunidades de mejorar la economía para la mayoría de la población en el país (IICA, 2018).

El incremento del cambio climático, de cada qué tiempo se presentan y de qué magnitud, los eventos climáticos extremos son consecuencias del cambio climático que intimidan la producción del sector agroalimentario, pues pueden generar la disminución de la extensión dedicada a la producción, la reducción de los rendimientos de los cultivos y la disminución del número de días con disponibilidad de humedad. Aunado a esto, actualmente se están presentando

nuevos retos ambientales asociados, por ejemplo: aumento en la erosión y salinización de los suelos, sobreexplotación de acuíferos, contaminación de cuerpos de agua dulce, emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero (GyCEI) y daño a ecosistemas. Con todo eso se ven afectaciones directas en la pobreza, la seguridad alimentaria y el bienestar de la población rural (IICA, 2018).

De acuerdo con la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), en el medio rural se producen distintos servicios ambientales como los siguientes:

- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, a través de la captura, almacenamiento de dióxido de carbono. El suelo es guardián de uno de los almacenes de carbono más extensos del planeta. Los bosques, selvas, y la capa vegetal absorben el bióxido de carbono emitido por otras actividades emisoras de gases y compuestos de efecto invernadero (IICA, 2018).
- La protección de la biodiversidad, mediante la conservación de los ecosistemas.
- La belleza escénica de bosques, paisajes naturales y biodiversidad, base para desarrollo del ecoturismo
- Los bosques humedales, arrecifes y manglares mitigan las consecuencias de las inundaciones y deslaves

Alrededor de 30% de las emisiones anuales son secuestradas por los ecosistemas marinos y costeros, especialmente manglares, algas marinas, bosques aluviales, sedimentos costeros (conocidos como «carbono azul»); por lo que, Es crucial frenar la interrupción del proceso de captura de carbono que resulta de la destrucción de los hábitats costeros (IICA, 2018).

En su informe de actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC), el país informó que en 2012 el sector agrícola representaba el 11.2% de las emisiones de (GyCEI), y si a esta cifra se le añade el 4.5% proveniente de las emisiones relacionadas con el cambio de uso del suelo y silvicultura (USCUSS), las actividades productivas primarias emiten en grupo el 15.7% del total (IICA, 2018).

Durante los últimos años han incrementado los efectos adversos con consecuencias extremas para el sector agropecuario y rural. Se prevé que algunas consecuencias derivadas de las variaciones de temperatura y precipitación sobre el cultivo de maíz, serán que la producción tiende a crecer ligeramente y después disminuir, teniendo pérdidas entre el 0.9% y 1.7% del PIB. En cuanto al frijol, la temperatura causaría importantes disminuciones en el rendimiento de entre 0.5% y 4.4%. Estas pérdidas, al 2100 representan un porcentaje aproximado de 19% del PIB de 2007 (CEPAL, 2011).

De acuerdo con resultados emitidos por el INIFAP (2010, publicados por el CEPAL 2011), el patrón de cambio climático para el presente siglo describe un incremento en la temperatura y menor proporción una disminución en la precipitación. Para la climatología de un periodo corto de 2010-2034, se espera un aumento de 0.38 a 1.63°C, con un intervalo preponderante de 0.5 a 1.0°C y un decremento en la precipitación anual de 0 a 150 mm.

Lo anterior tiene como consecuencia un aumento en la cantidad de evapotranspiración potencial (EPT), aumento en el acumulado de grados-días de desarrollo (GDD) de los cultivos, menos humedad disponible para las plantas en la época de crecimiento vegetativo. Para el periodo de 2010 a 2040, en zonas productoras de maíz y frijol la ETP aumentará de 90 a 105 mm, durante el ciclo

de producción; para lugares con producción de aguacate y naranja, la ETP incrementará en el mismo periodo de 157 a 184 mm. Los GDD en zonas de maíz y frijol aumentará de 96 a 144 y de 108 a 162 correspondientemente; en tanto, en sitios de aguacate y naranja el aumento se prevé de 256 a 402, reduciendo el ciclo vegetativo de 6-9, 7-10, 17-20, y 19-22 días en frijol, maíz aguacate y naranja respectivamente (CEPAL, 2011).

Tomando en cuenta estos pronósticos se planea

La creación de nuevas variedades a través de la formación de poblaciones genéticas mediante la incorporación de líneas de plantas existentes y la generación de nuevas líneas a partir de plantas silvestres y razas de especies cultivadas que se desarrollan bajo ambiente con diversa intensidad de sequía, así como de altas temperaturas estacionales (CEPAL, 2011).

En cuanto a la actividad ganadera, la producción de carne y leche de bovino es a quien se le atribuye gran parte de las emisiones, colaborando con el 41 y el 29 %, respectivamente, de lo registrado en este ramo. La carne de cerdo y los huevos de aves de corral ayudan con el 9 y el 8 % de las emisiones de esta sección. La producción de silos y la fermentación entérica debida a los rumiantes son dos fuentes primordiales de emisiones, encargadas del 45 y el 39 % de las emisiones del ramo. La acumulación y producción del estiércol representa el 10 %. El resto se imputa a la producción y la movilización de productos pecuarios (Sánchez, Flores, Rodríguez, Anaya, & Contreras, 2020).

De acuerdo con Sánchez et al. (2020), el cambio climático afecta al ganado favoreciendo Las enfermedades infecciosas son influenciadas por una combinación de factores que incluyen las características del patógeno, el vector, el huésped, la epidemiología y otros elementos indirectos. La capacidad de los

microorganismos para adaptarse a cambios ambientales se manifiesta a través de la mutación. El cambio climático no solo impacta la distribución y cantidad de vectores, sino que también altera la relación entre el patógeno y el vector, facilitando su transmisión a nuevas especies. Además de la mutación, los virus evolucionan mediante procesos de recombinación. Las modificaciones climáticas pueden reducir los hábitats disponibles, obligando a especies a coexistir en espacios más reducidos, lo que propicia el intercambio de patógenos entre distintas especies animales..

### **2.3.3. Índices de cambio climático**

Para propósitos de detección del cambio climático, no se necesita saber la temperatura diaria real en una estación, sino saber cómo ha cambiado con el tiempo. La información proporcionada por los índices no solo incluye cómo cambiaron los valores medios a lo largo del tiempo sino también cómo cambió la distribución estadística de los datos (Peterson, y otros, 2001).

Existe un consenso general dentro de la corporación climática de que toda modificación en la periodicidad o gravedad de los fenómenos climáticos excesivos poseería importantes huellas en el ambiente y la humanidad. Por eso es importante el análisis de los eventos extremos. El seguimiento, descubrimiento y asignación de modificaciones en los extremos climáticos suelen requerir información de resolución cotidiana. Sin embargo, la colección, suministro y actualización de un conjunto de datos diarios a nivel globalmente completo y fácilmente disponible es una actividad difícil. Debido, en su mayoría, a que no todos los Servicios Meteorológicos e Hidrometeorológicos Nacionales (SMHN) tienen el mandato para repartir libremente los datos diarios que recopilan. En consecuencia, el equipo internacional de expertos y su predecesor, el Grupo de

Trabajo (TW) CCI/CLIVAR sobre Detección del Cambio Climático han estado reorganizando un esfuerzo universal para trabajar, deducir y examinar un grupo de indicadores para que los humanos, las naciones y las zonas sean capaces de obtenerlos fielmente de la misma forma, de modo que sus estudios encajen perfectamente en la perspectiva universal. Se espera que la participación en este esfuerzo permita a todas las partes interesadas, incluidos los contribuyentes del índice, beneficiarse de un mejor seguimiento del cambio con una cobertura espacial más amplia que actualmente no está disponible (ETCCDI, 2020).

En total se trabaja con 27 índices básicos basados en temperatura y precipitación diarios, algunos se basan en umbrales fijos que son relevantes para aplicaciones particulares, otros se basan en umbrales que varían de un lugar a otro, se definen como percentil de la serie de datos relevante (Peterson, 2005)

#### **2.3.4. Cálculo de los indicadores de ETCCDI**

Para el cálculo de Índices de extremos climáticos que permiten identificar y estudiar cambio climático, uno de los programas desarrollados por el ETCCDI es RClimeDex, desarrollado por Byron Gleason del National Climate Data Centre (NCDC) de NOAA (Zhang, Feng, & Chan, 2018).

El programa obtiene todos los 27 índices básicos recomendados por el Equipo de Expertos de CCI/CLIVAR para “Climate Change Detection Monitoring and Índices” (ETCCDMI), también otros índices de temperatura y precipitación con límites determinados por el usuario. Uno de los primordiales objetivos de erigir índices de extremos climáticos es utilizarlos en estudios de monitoreo y detección de cambios climáticos. Lo que necesita que los índices sean asemejados. La homogenización de datos no ha sido implementada en esta versión.

## **Control de calidad en el programa RClimDex**

El control de calidad (CC) de la información es un prerrequisito para obtener los índices. RClimDex desarrolla los pasos siguientes: 1) cambia los valores faltantes (asignados como -99.9) en un formato interno que reconoce R (i.e. NA, no disponible), y 2) Suple los datos no razonables por NA. Estos valores incluyen a) valores de lluvia diarias menores que cero y b) Temperatura máxima cotidiana menor que temperatura mínima el mismo día. Además, el control de calidad también halla datos extremos (“outliers”) en temperaturas diarias máximas y mínimas. Esos números son cantidades diarias que están fuera de una zona definida por el usuario. Esa región se identifica como “n” veces la desviación estándar del valor del día, esto es,  $[(media-n)*std, (media+n)*std]$ . Donde std es la desviación estándar para el día y n es una entrada del usuario (Zhang, Feng, & Chan, 2018).

Cuando está completado el control de calidad, cuatro archivos Excel, “21946tempQC.csv”, “21946prcpQC.csv”, “21946tepstdQC.csv”, y “21946indcal.csv” son creados en un subdirectorio “log”. Los primeros dos tienen valores no razonables para temperatura y precipitación. El tercero, marca las cantidades extremas posibles en temperatura diaria junto con las fechas en que esos eventos pasaron. El último documento tiene los valores conseguidos después de correr el control de calidad, y que serán utilizados para obtener los índices. En este documento solo los datos faltantes y no razonables son cambiados por NA, posibles valores extremos que sean marcados NO son cambiados. Para una fácil visualización, en “log” también aparecen 4 archivos PDF que tienen gráficas de las series de tiempo (datos faltantes representados como puntos rojos) de lluvia diaria, y temperaturas diarias máximas y mínimas (Zhang, Feng, & Chan, 2018).

## Cálculo de índices en RClimDex

RClimDex calcula los 27 índices básicos de cambio climático. pero los usuarios tienen el poder de seleccionar solo los que desean. Luego de seleccionar "Índices Calculation" desde el menú principal, se pide al usuario que configure ciertos parámetros para el cálculo de los índices. En la ventana "Set Parameter Values", se le pide al usuario ingresar el primer y último año del período base para calcular los umbrales, así como la latitud de la estación (con valores negativos en el hemisferio sur), mismo caso cuando la longitud es oeste se representa negativa (Zhang, Feng, & Chan, 2018).

Los índices obtenidos se guardan en una carpeta llamada índices en formato Excel. Los archivos son nombrados "21946\_XXX.csv" donde XXX indica el nombre del índice, las columnas de valores se separan por coma(","). Para ver y analizar, son graficadas series anuales, junto con tendencias obtenidas mediante regresión lineal de mínimos cuadrados (línea sólida) y regresión lineal con ponderamientos locales (línea punteada). En los gráficos se pueden apreciar valores estadísticos del ajuste de curvas lineal. Estas figuras se guardan en una carpeta llamada plots en formato JPEG. Los nombres de los documentos que tienen los gráficos siguen la misma regla excepto que "csv" aparece por "jpg" (Zhang, Feng, & Chan, 2018).

Cuadro 1. Lista de Los Índices Climáticos básicos de ETCCDMI.

ID	Nombre del Indicador	Definición	UNIDAD
FD0	Días de heladas	Número de días en un año cuando TN (mínimo diario) <0°C	Días

SU25	Días de verano	Número de días en un año cuando TX (máximo diario) >25°C	Días
ID0	Días de hielo	Número de días en un año cuando TX (máximo diario) <0°C	Días
TR20	Noches tropicales	Número de días en un año cuando TN (mínimo diario) >20°C	Días
GSL	Duración de la estación de cultivo	Anual (1 Ene a 31 Dic en HN, 1 Julio a 30 junio en HS) conteo entre el primer periodo de al menos 6 días con TG>5°C y primer periodo después de Julio 1 (enero 1 en HS) de 6 días con TG<5°C	Días
TXx	Max Tmax	Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria	°C
TNx	Max Tmin	Valor mensual máximo de temperatura mínima diaria	°C
TXn	Min Tmax	Valor mensual mínimo de temperatura máxima diaria	°C
TNn	Min Tmin	Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria	°C
TN10p	Noches frías	Porcentaje de días cuando TN<10th percentil	Días
TX10p	Días fríos	Porcentaje de días cuando TX<10th percentil	Días
TN90p	Noches calientes	Porcentaje de días cuando TN>90th percentil	Días

TX90p	Días calientes	Porcentaje de días cuando TX>90th percentil	Días
WSDI	Indicador de la duración de periodos calientes	Contaje anual de días con por lo menos 6 días consecutivos en que TX>90th percentil	Días
CSDI	Indicador de la duración de periodos fríos	Contaje anual de días con por lo menos 6 días consecutivos en que TN<10th percentil	Días
DTR	Rango diurno de temperatura	Diferencia media mensual entre TX y TN	°C
RX1day	Cantidad Máxima de precipitación en un día	Máximo mensual de precipitación en 1 día	mm
Rx5day	Cantidad Máxima de precipitación en 5 días	Máximo mensual de precipitación en 5 días consecutivos	mm
SDII	Índice simple de intensidad diaria	Precipitación anual total dividida para el número de días húmedos (definidos por PRCP>=1.0mm) en un año	mm/día
R10	Número de días con precipitación intensa	Número de días en un año en que PRCP>=10mm	Días
R20	Número de días con precipitación muy intensa	Número de días en un año en que PRCP>=20mm	Días
Rnn	Número de días sobre nn mm	Número de días en un año en que PRCP>=nn mm, nn es un parámetro definido por el usuario	Días

CDD	Días secos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con RR<1mm	Días
CWD	Días húmedos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con RR>=1mm	Días
R95p	Días muy húmedos	Precipitación anual total en que RR>95 percentil	Mm
R99p	Días extremadamente secos	Precipitación anual total en que RR>99 percentil	mm
PRCPTOT	Precipitación total anual en los días húmedos	Precipitación anual total en los días húmedos (RR>=1mm)	mm

---

Fuente: (Zhang, Feng, & Chan, 2018).

### **Formato de entrada de datos**

Todos los archivos de deben estar en formato de “list formatted”. La única excepción se presenta en el primer archivo de datos, el cual es procesado durante la etapa de “Quality Control”. Este archivo de entrada de datos tiene algunas indicaciones:

- Archivo de texto ASCII
- Columnas ordenadas por: Año, Mes, Día, PRCP, TMAX, TMIN. (NOTA: precipitación en mm, y Temperatura= grados Centígrados)
- El formato descrito arriba debe ser delimitado por espacios(e.g. cada elemento separado por uno o más espacios).
- Para los registros de datos, los valores faltantes se remplazan por -99.9; los registros de información deben estar ordenados cronológicamente. Se aceptan fechas faltantes.

1965	6	8	1.4	31	21
1965	6	9	23.4	30	21
1965	6	10	5.2	29	19
1965	6	11	0	29	20
1965	6	12	4	29	20

Figura 1. Ejemplo de formato de datos para el archivo de datos inicial.

### 2.3.5. Homogeneización de datos climáticos

Los datos climáticos son registros de las condiciones climáticas observadas tomadas en sitios y momentos específicos con instrumentos particulares bajo un conjunto de procedimientos estándar. Por lo tanto, un conjunto de datos climáticos contiene información climática en los sitios de observación, así como otros factores no relacionados con el clima, como el entorno de la estación de toma de datos, e información sobre los instrumentos y procedimientos de observación bajo los cuales se recolectó la información. Se supone que los registros de la estación son representativos de las condiciones climáticas de una región cuando los datos se utilizan en el análisis climático. Desafortunadamente, este no es siempre el caso. Por ejemplo, si una estación es trasladada desde la cima de una colina al fondo de la zona, 300 metros más abajo, el estudio de sus valores de temperatura tal vez indique un calentamiento salvaje en el instante en que se cambia de lugar la estación. Ese brinco provocado no representaría el cambio de temperatura en la zona. Considere también una estación ubicada en el jardín de un observador competente y concienzudo durante 50 años, y suponga que se plantó un árbol al oeste del jardín en el momento en que se estableció la estación de observación. Los instrumentos se mantienen en buenas condiciones y el observador registra con precisión la temperatura en el jardín. El árbol crece lentamente y da sombra al lugar de observación durante las últimas horas del

día, cuando se observa la temperatura máxima diaria. Como resultado, ese número registrado sería gradualmente más baja que la del área vecina que no está sombreada por el árbol. De manera que, la estación se iría volviendo cada vez menos representativa de la zona circundante. Como se muestra en un ejemplo real, donde una estación canadiense fue trasladada a unos 100 m de su sitio original, el análisis de tendencias realizado con datos no homogéneos puede ser muy poco confiable. Por lo tanto, es importante eliminar los factores no climáticos de la información tanto como sea posible, antes de que los datos climáticos puedan usarse de forma confiable para estos estudios (ETCCDI, 2020).

Para detectar y ajustar múltiples puntos de cambio (desplazamientos) que podrían existir en una serie de datos que pueden tener errores autorregresivos de primer orden se puede usar el programa RHTests (pero excluyendo las series de datos de precipitación diaria, para las cuales el paquete RHtests\_dlyPrpc debe usarse). Se basa en la prueba t máxima penalizada y la prueba F máxima penalizada, que están integradas en un algoritmo de prueba recursivo. La serie temporal que se está probando puede tener una tendencia cero o una tendencia lineal durante todo el período de registro. Se sugiere usar como valores para guiarse una serie temporal uniforme que esté bien armonizada con la serie de guía. Sin embargo, la detección de puntos de cambio también es posible con el paquete RHtestsV4 cuando no se dispone de una serie de referencia homogénea. Pero los resultados son menos fiables y necesitan una investigación intensiva.

### **Formato de entrada de datos**

Cada serie de datos de entrada debe almacenarse en un archivo separado (por ejemplo, un archivo llamado Ejemplo.dat), en el que las primeras tres columnas

son las fechas (año AAAA, mes MM y día DD) de las observaciones, y la cuarta columna , los valores de datos observados (o código de valor faltante). Nótese que para las series mensuales DD=00, y para las series anuales MM=00 y DD=00 (Wang & Feng, 2013).

Las fechas de los datos ingresados deben ser consecutivas y en el orden del calendario. De lo contrario, el programa saldrá con un mensaje de error que contiene la primera fecha en la que se produce el error de datos (Wang & Feng, 2013).

#### **2.4. Datos meteorológicos utilizados**

Los datos utilizados al realizar este proyecto fueron descargados directamente de la página del servicio meteorológico nacional (SMN). Esta página permite consultar información histórica de las estaciones climatológicas convencionales que forman la Red Nacional de la CONAGUA. Esta información guarda desde el primer valor apuntado hasta el número más reciente que aparezca en las bases de datos del SMN apuntado por los Organismos de Cuenca y Direcciones Locales de la CONAGUA (SMN, 2020).

La página cuenta con información diaria de poco más de 5,400 estaciones climatológicas, de las que alrededor de 2,800 registran información, pero las otras dejaron de trabajar momentáneamente o ya desaparecieron, sin embargo, en su momento tomaron un importante cúmulo de información. Las primordiales variables climatológicas que se pueden obtener de ahí son: Temperaturas máxima y mínima, precipitación acumulada en 24 horas, algunos fenómenos como la tormenta eléctrica, niebla, granizo etc. Se cuenta con dos distintas formas de investigación: una a través del mapa interactivo superior y la otra descargando el archivo KMZ, que se puede abrir en el software "Google Earth".



Figura 2. estaciones meteorológicas suspendidas y operando, vistas en Google Earth

Fuente (Lira-Colorado, 2010).

Las estaciones que se encuentran dentro de la cuenca, que aparecen en el cuadro 2, son las que fueron tomadas en cuenta para este trabajo. En el área de estudio hay más estaciones, pero no cuentan con suficiente información teniendo muchos datos faltantes, en algunos casos hasta de años completos, por lo que era más complicado rellenar esos espacios vacíos corriendo el riesgo de que no fueran unos valores tan acertados, poniendo en duda la autenticidad de los resultados finales.

Cuadro 2. estaciones climatológicas utilizadas.

Clave	Latitud	Longitud	Altitud	Precipitac	Tmmx	Tmmn	Municipio
20009	16.64	-95.96	639	549.33	32.8	19.4	Nejapa de Madero

20010	16.61	-98.15	420	2095.80	34.3	19.1	San Juan Cacahuatpec
20018	17.25	-98.30	2432	1988.38	23.1	6.9	Coicayan de las Flores
20022	16.96	-96.70	1504	552.80	28.9	11.2	San Bartolo Coyotepec
20034	17.03	-96.80	1673	744.85	27.2	12.2	Villa de Etla
20038	16.57	-97.67	596	1642.83	33.5	18.6	Santiago Ixtayutla
20044	17.07	-96.88	1745	788.38	26.0	11.7	San Felipe Tejalapam
20047	16.23	-97.30	1408	1489.48	26.1	13.2	Santa Catarina Juquila
20070	16.33	-96.59	1560	604.66	27.6	12.0	Miahuatlán d Porfirio Díaz
20079	17.08	-96.71	1588	767.12	29.3	13.2	Oaxaca de Juárez
20080	16.80	-96.67	1522	791.84	27.0	12.6	Ocotlán de Morelos
20085	16.37	-96.88	1344	805.14	29.6	13.7	San Vicente Coatlán
20094	17.12	-97.87	1321	2519.31	31.1	17.1	Putla Villa de Guerrero
20099	16.51	-96.98	1412	862.81	29.8	12.1	Santa Cruz Zenzontepec
20103	17.57	-97.52	2313	731.02	23.3	7.6	San Andrés Lagunas
20118	16.58	-96.74	1448	678.86	29.1	13.3	San Miguel Ejutla
20120	16.09	-96.47	2457	1281.34	20.4	8.6	San Miguel Suxhixtepec
20121	17.50	-97.14	2206	907.17	23.8	8.1	San Pedro Coxcaltepec
20122	16.34	-97.09	861	908.13	31.9	17.4	San Pedro Juchatengo
20126	16.54	-97.50	960	1387.87	29.9	17.4	Santa Cruz Zenzontepec
20130	17.02	-97.80	1888	1898.74	25.4	15.1	Santa María Yucuhiti
20135	16.43	-97.22	1182	1375.37	30.3	13.8	Santiago Minas
20141	17.50	-98.15	1667	949.73	29.6	11.9	Silacayoapam
20150	17.23	-97.00	2278	821.12	22.5	11.1	Santiago Tenango
20153	16.60	-97.20	1778	2263.89	30.0	15.2	Sto. Domingo Teojomulco
20178	17.03	-97.58	2432	902.60	21.4	6.5	Chalcatongo de Hidalgo
20188	16.76	-97.99	355	1731.16	32.9	19.8	Santa María Zacatepec
20191	16.55	-96.37	1162	398.57	30.7	16.2	Santa María Zoquitlán
12061	16.68	-98.40	316	1358.18	32.5	20.2	Ometepec

Fuente (SMN, 2020).

## 2.5. Descripción precisa del área de estudio

La cuenca se encuentra ubicada en el sur de la entidad federativa número 20, Oaxaca dentro de las coordenadas 96° 16'47" y 98° 05'42" longitud oeste y 17° 37'11" y 15° 58' 46" de latitud norte. Su extensión es de 18 569  $km^2$ , que representa el 19.8% de los 93 793.33  $km^2$  de la superficie total del estado. Existen 243 municipios en la cuenca, en los cuales viven aproximadamente de 1 360 000 habitantes que representan el 36% de la población total del estado y que

ha permanecido estable entre 2010 y 2015 (Zorrilla, De la Lanza, González, Martínez, & Hernández, 2017).

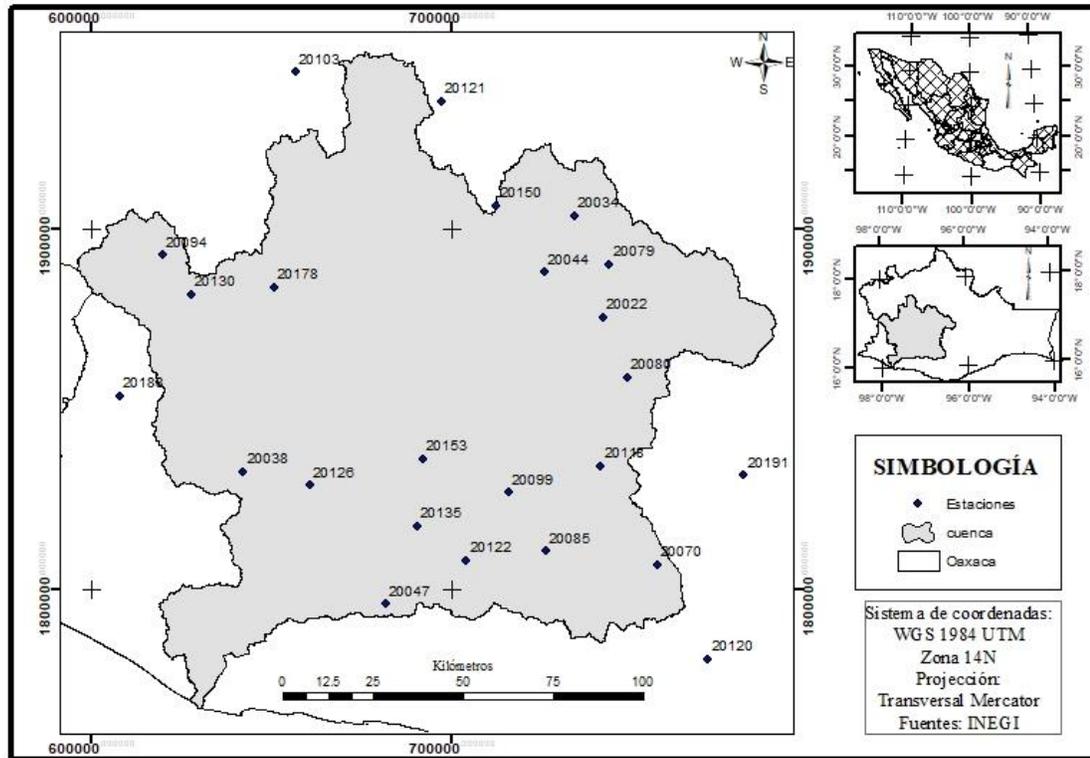


Figura 3. Localización del área de estudio.

Corresponde a la Región Hidrológica No. 20 (rh20) “Costa Chica Río Verde”, debido a que este río es el más importante de la cuenca. Esta región hidrológica abarca territorio guerrerense en su lado occidental y territorio oaxaqueño en la porción oriental (Zorrilla, De la Lanza, González, Martínez, & Hernández, 2017). Las áreas con drenado más grande son el Valle de Nochixtlán, donde empieza a formarse el Río Verde, teniendo una altura entre 2,000 y 2,500 msnm, y los Valles centrales en la capital del estado, donde inicia el Río Atoyac, con alturas sobre el nivel del mar de alrededor de 1,450 y 1,700 metros (INSO, 2014). La cuenca se ubica en su totalidad dentro del territorio oaxaqueño. para efectos administrativos, la CONAGUA la dividió en cinco subcuencas hidrológicas

Río Atoyac-Salado, con una superficie de  $1\,193.77\text{ km}^2$ , Río Atoyac-Tlapacoyan con  $2\,360.98\text{ km}^2$ , Río Sordo-Yolotepec Tiene  $7\,840.78\text{ km}^2$  de superficie, Río Atoyac-Paso de la Reina Tiene una superficie de  $5\,834.45\text{ km}^2$  y finalmente Río Verde con el resto de superficie,  $1\,122.71\text{ km}^2$

De acuerdo con Zorrilla et al (2017), la cuenca incluye regiones con atributos biológicos relevantes o con un bajo impacto antrópico lo cual las vuelve importantes para su conservación, preservación o restauración. Por tal razón, han sido consideradas por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) como regiones prioritarias, o bien como Áreas Naturales Protegidas (ANP) o áreas destinadas voluntariamente a la conservación (ADVC) reconocidas por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas.

Como regiones terrestres prioritarias (RTP), dentro del área de estudio destacan seis de estas: Sierra Norte Oaxaca-Mixe, Cerros Negro-Yucaño, Sierras Triqui-Mixteca, El Tlacuache, Bajo Río Verde-Chacahua y Sierra Sur, así como Costa de Oaxaca. En regiones marinas prioritarias (RMP) se encuentran las lagunas de Chacahua, las cuales son consideradas sitio Ramsar, y la RMP "Chacahua-Escobill. En las Regiones Hidrológicas Prioritarias (RHP) dentro de la cuenca está la Río "Verde-Laguna de Chacahua". En cuanto a las Áreas de Importancia para la Conservación de Aves (AICA), incluye cuatro: Tlaxiaco, Unión Zapata-Chinanteca, Sierra Norte y laguna de Chacahua-Pastoría. En Áreas Naturales Protegidas (ANP) y sitios prioritarios se encuentran: Parque Estatal Cerro del Fortín decretado el 2004, Monumento Natural Yagul decretado el 1999, los Parques Nacionales Benito Juárez y Lagunas de Chacahua decretados en 1937; La Cruz Corral de Piedra (en 2006), El Negro-La Hierbabuena-El Capulín y la

Huerta (2007), La Capitana (2010), El Campanario-Laancaloo Cruz y El Fuerte (2011) (Zorrilla et al. 2017).

### **2.5.1. Clima**

El área tiene una variedad de 18 tipos de climas, 19 tipos de suelo y 18 tipos de rocas que, en sus combinaciones, generan unidades de diversidad compleja. De acuerdo con la clasificación de Köppen la cuenca presenta una diversidad de climas que incluye el tropical con invierno seco, tropical monzónico, semiárido, semiárido cálido, templado y sus variaciones. El clima dominante es de tipo templado, subhúmedo, con temperatura media anual entre 12°C y 18°C. Las temperaturas más frías rondan entre -3°C y 18°C, las más cálidas 22°C (Zorrilla et al. 2017).

De acuerdo a Zorrilla et al (2017), las lluvias en esta zona se presentan en verano en los meses de junio a octubre con un intervalo de precipitación media anual de 400 a 4 000 mm anuales. Los sitios donde se registró la mayor precipitación se dan en las cuencas hidrológicas de los ríos Sordo-Yolotepec, Atoyac-Paso de la Reina y Verde, alcanzando los 4 000 mm. Aproximadamente la mitad del área oscila entre los 400 y 1 500 mm de precipitación media anual. La cuenca es tipo exorreica, desemboca en el mar cerca del Sistema Lagunar de Chacahua. abarca 3 400 km de ríos perennes y más de 29 000 km de ríos intermitentes. La mayoría de sus tributarios son de tipo perenne y se localizan en las cuencas hidrológicas de los ríos Sordo-Yolotepec, Atoyac-Paso de la Reina y Verde. Respecto a las aguas subterráneas, el acuífero de los Valles Centrales es el más conocido, con superficie entre 4 200 y 8 120  $km^2$ , Es el acuífero que representa el mayor suministro de agua para los Valles Centrales de Oaxaca (Etlá, Zaachila, Zimatlán, Ocotlán, Tlacolula y Oaxaca de Juárez) (INSO, 2014).

De acuerdo con la CONAGUA, 56.2% de la que se utiliza en la cuenca se destina a la agricultura, 41.1% termina siendo empleada en el uso público urbano; 0.6% va hacia el sector pecuario; 1.7% para distintos propósitos, y finalmente 1.01% para uso doméstico. La infraestructura hidráulica es poca: no hay presas ni distritos de riego (INSO, 2014).

Según Zorrilla et al. (2017), existen 17 tipos de vegetación en la zona: bosque de encino, bosque de encino-pino, bosque de mezquite, bosque mesófilo de montaña, bosque de pino, bosque de pino-encino, bosque de táscate, chaparral, manglar, palmar inducido, pastizal inducido, selva baja caducifolia, selva baja subcaducifolia, selva mediana subcaducifolia, selva mediana subperennifolia, vegetación de dunas costeras y vegetación sabanoide.

En cuanto a la fauna, zorrilla et al, (2017) dice que cobija 950 especies de vertebrados, distribuidas en 85 especies de peces, 59 de anfibios, 113 de reptiles, 545 de aves y 148 de mamíferos. Por lo tanto, más de 200 especies de flora y fauna vertebrada se catalogan en peligro de desaparecer. Y a pesar de que casi dos tercios de la zona se considera lugar primordial de preservación a nivel país, el área con algún estatus de protección legal no llega ni al 4%, debido a que es muy poco el tratamiento de aguas residuales: si bien, se tiene alrededor de 58 plantas de tratamiento, 90% de estas no sirve y, por el contrario, sirven como focos de contaminación. El uso cada vez mayor de agroquímicos genera consecuencias muy contaminantes. También existen amenazas de poner en marcha megaproyectos de riego, represas y minería, los cuales provocarán en mayor cantidad cambio climático (INSO, 2014).

## 2.6. LITERATURA CITADA

Aparicio M., F. J. (1992). Fundamentos de hidrología de superficie. México: Limusa.

Arcos N, G. (2007). Calentamiento global. CienciaUAT, 2(2), 10-14. Recuperado el 08 de noviembre de 2023, de <https://www.redalyc.org/pdf/4419/441942910004.pdf>

CEPAL. (2011). Agricultura y cambio climático: instituciones políticas e innovación. Santiago, Chile: ONU. Recuperado el 08 de noviembre de 2023, de [https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/7021/LCL3353s\\_es.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/7021/LCL3353s_es.pdf)

ETCCDI. (06 de octubre de 2020). ETCCDI Climate Change Indices. Obtenido de Climate Change Indices: <http://etccdi.pacificclimate.org/indices.shtm>

Flores-Martínez, A., Rodríguez-Ortega, C., Solares-Rojas, V., & González-Ruiz, T. (2009). Cambio climático. Ciencia, evidencia y acciones. Ciudad de México, DF, México: SEMARNAT. Recuperado el 06 de noviembre de 2023, de [https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/cambio\\_climatico\\_09-web.pdf](https://www.conafor.gob.mx/biblioteca/cambio_climatico_09-web.pdf)

Guido-Aldana, P. (2017). Cambio climático: selección, clasificación y diseño de medios de adaptación (1a ed.). Jiutepec, Morelos, México: IMTA. Recuperado el 05 de noviembre de 2023, de [https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros\\_html/cambio-climatico/files/assets/common/downloads/publication.pdf](https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/cambio-climatico/files/assets/common/downloads/publication.pdf)

IICA. (2018). Agenda de Cambio Climático y Producción Agroalimentaria. México, CDMX, México: IICA. Recuperado el 09 de noviembre de 2023

- INSO. (2014). Hacia una estrategia articuladora de esfuerzos en pro del agua en la cuenca del Río Verde Atoyac Oaxaca. México: INSO. Recuperado el 07 de noviembre de 2023, de <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2014/04/plan-comun-para-un-bien-comun-completo.pdf>
- Lira-Colorado, R. (2010). Estaciones climatológicas en Google Earth, manual de usuario. DF: CONAGUA. Recuperado el 08 de noviembre de 2023, de [https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Normales\\_Climatologicas/EstacionesClimatologicas.pdf](https://smn.conagua.gob.mx/tools/RESOURCES/Normales_Climatologicas/EstacionesClimatologicas.pdf)
- ONU. (1992). convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático. Nueva York: ONU. Recuperado el 06 de noviembre de 2023, de <https://www.acnur.org/fileadmin/Documentos/BDL/2009/6907.pdf>
- Peterson, P., Folland, C., Gruza, G., Hogg, W., Mokssit, A., & Plummer, N. (2001). Report on the Activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs. Ginebra: WMO. Recuperado el 07 de noviembre de 2023, de <http://etccdi.pacificclimate.org/indices.shtml>
- Peterson, T. (2005). climate change indices. Carolina del Norte: OMM. Recuperado el 07 de noviembre de 2023, de <http://etccdi.pacificclimate.org/papers/WMO.Bulletin.April.2005.indices.pdf>
- Power P, G. (2009). El calentamiento global y las emisiones de carbono. Ingeniería Industrial(27), 101-122. Recuperado el 08 de noviembre de 2023, de <https://www.redalyc.org/pdf/3374/337428493007.pdf>
- Sánchez M., B., Flores V., S., Rodríguez H., E., Anaya E., A. M., & Contreras C., E. A: (2020). Causas y consecuencias del cambio climático en la producción pecuaria y salud animal. Revista Mexicana de ciencias pecuarias, 126-145.

Recuperado el 08 de noviembre de 2023, de <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmcp/v11s2/2448-6698-rmcp-11-s2-126-en.pdf>

SMN. (2020). Información Estadística Climatológica. Recuperado el 31 de octubre de 2023, de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>

Soares, D., & Peña, A. (2018). Impacto del cambio climático para la gestión integral de la cuenca hidrológica del río Apatlaca (Primera ed.). Jiutepec, Morelos, México: IMTA. Recuperado el 02 de noviembre de 2023, de [https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros\\_html/rio\\_apatlaco/cambio\\_climatico\\_rio\\_apatlaco.pdf](https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/rio_apatlaco/cambio_climatico_rio_apatlaco.pdf)

Wang, X., & Feng, Y. (2013). RHtests V4 User Manual. Climate Research Division, atmospheric science and technology directorate. Toronto, Canadá: science and technology branch. Recuperado el 31 de octubre de 2023, obtenido de <http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>

Zhang, X., Feng, F., & Chan, R. (2018). Introduction to RClimDex v1.9. Downsview, Ontario, Canada: Climate Research Division Environment Canada.

Zorrilla D., M. A., De la Lanza E., G., González M., I. D., Martínez P., A. I., & Hernández P., S. (2017). Enfoque integrado ambiental de la determinación del caudal ecológico y su asociación con la conservación de cuencas hidrográficas: ejemplo de caso río Verde Atoyac, en el estado de Oaxaca. Campeche: Universidad Autónoma de Campeche. Recuperado el 31 de octubre de 2023, de <https://epomex.uacam.mx/view/download?file=14/Enfoque%20Integrado%2>

0Ambiental%20de%20la%20Determinacio%CC%81n%20del%20Caudal%2  
0Ecolo%CC%81gico%20y%20su%20Asociacio%CC%81n%20con%20la%2  
0Conservacio%CC%81n%20de%20Cuencas%20Hidrogra%CC%81ficas.%  
20Ejemplo%20de

### 3. EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LOS VALORES EXTREMOS DE LLUVIA Y TEMPERATURA EN EL RÍO ATOYAC, OAXACA

#### 3.1. RESUMEN

El cambio climático se entiende como cualquier modificación que acontece en el ambiente con el paso del tiempo, ya sea por la variabilidad natural o las acciones humanas. Los expertos que han estudiado este acontecimiento, concluyen que cada vez se presentarán climas más extremos y fenómenos climáticos más fuertes, los veranos tienden a ser más calurosos ocurrirán precipitaciones más altas en algunas partes y menos frecuentes en otras, aumentando así las sequías

En el desarrollo del presente trabajo se pretende identificar presencia de cambio climático dentro de la cuenca Río Verde - Río Atoyac, en el estado de Oaxaca, utilizando la información de precipitación y temperatura registrados en las estaciones meteorológicas ubicada en el área de estudio, analizándola con ayuda del software RClimDex para obtener las tendencias que presentan a lo largo de los años estas variables.

Se encontró que se presenta un pequeño decremento en la cantidad de días frescos, aumento en las noches frías, aumento de la duración de los periodos fríos y aumento de días con heladas. Se encontró un incremento considerable de los días secos consecutivos, incremento de rango diurno de temperatura, aumento de índice simple de intensidad diaria, días de verano, días calurosos, duración de los periodos cálidos, temperatura máxima más baja y temperatura máxima extrema.

En la proyección escenario lejano (2075-2099), se observó que se espera una disminución en las láminas precipitadas para casi todos los meses, un aumento en la temperatura máxima y un aumento en la temperatura mínima.

**Palabras clave:** vulnerabilidad al cambio climático, índices climáticos, sequías, inundaciones, clima más extremo.

**Citation:** Apellido- 19  
Apellido N, Apellido-  
Apellido N, Apellido- 20  
Apellido N, Apellido-  
Apellido N, Apellido- 21  
Apellido N, (2022). Título  
del artículo. *Agricultura, 22*  
*Sociedad y Desarrollo.* 22  
<https://doi.org/10.47163/xxx>  
x 24

**Editor in Chief:** 25  
Received: month, year. 26  
Approved: month, year. 26  
Published in *Agricultura, 27*  
*Sociedad y Desarrollo* #: #-  
#. 2022. 28

This work is licensed under 29  
a Creative Commons 30  
Attribution-Non-  
Commercial 4.0 31  
International license. 32



33  
**Los autores no deben  
realizar ningún cambio en  
este apartado.**

### 3.2. INTRODUCCIÓN

El clima es el estado promedio del tiempo meteorológico en un periodo de generalmente 30 años o más. La temperatura y precipitación promedio durante un largo periodo de tiempo son las principales variables utilizadas para caracterizar el clima (de la Fuente-Meraz & Olivera-Villaruel, 2018).

El cambio climático es la modificación del clima del planeta, consecuencia directa o indirecta a la actividad humana un fenómeno que se manifiesta en un aumento de la temperatura promedio del planeta (Díaz-Cordero, 2012). Esta modificación en el clima tiene repercusiones en la magnitud de los eventos extremos de temperatura y precipitación en todo el planeta.

De acuerdo con la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, esta modificación está relacionada directamente con el incremento en la emisión de gases de efecto invernadero al espacio, resultado del impacto que tiene el ser humano al consumir combustibles fósiles (carbón, gas natural y los combustibles derivados del petróleo), así como el cambio de uso de suelo (deforestación), pérdida de bosques, siendo estas dos de las principales fuentes de ese problema.

Los expertos que han estudiado esta situación, concluyen que cada vez se presentarán climas más extremos y fenómenos climáticos más fuertes. En resumen, los veranos serán más calurosos y los patrones de las lluvias se modificarán, ocurriendo precipitaciones más altas en algunas partes y menos frecuentes en otras, aumentando así las sequías (Bárcena *et al.*, 2015).

México es uno de los más vulnerables al cambio climático debido a su ubicación geográfica, pues se encuentra rodeado de dos océanos, además, su relieve y las latitudes a las que se encuentra lo exponen a que sea de los más afectados por el incremento de temperatura.

El Grupo de Expertos del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) considera 27 índices climáticos extremos de temperatura y precipitación, en la mayoría de los casos los eventos que producen esos valores pueden tener un alto impacto en el medio ambiente (Mendoza-Aguilar, 2019).

El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2019) ha encontrado que de los 2456 municipios que componen toda la nación, 480 (20%) tienen alto nivel de vulnerabilidad al cambio climático muy alto o alto. Al observar los municipios se detecta que la mayoría están ubicados en el Sur de México, entre

ellos los estados de Oaxaca y Chiapas, los cuales se caracterizan por ser de las zonas más pobres del país. Además, según el Banco Mundial y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), se calcula que aproximadamente el 68% de la población y el 71% del PIB de México están expuestos a las consecuencias adversas del cambio climático. De acuerdo con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2021) cuando se evalúa la vulnerabilidad al cambio climático se califican los efectos adversos sobre: (a) los asentamientos humanos expuestos a deslizamientos, inundaciones y enfermedades, (b) sobre la producción ganadera a estrés hídrico e inundaciones, (c) vulnerabilidad de la producción forrajera sujeta a estrés hídrico.

En este trabajo se pretende detectar la presencia o ausencia del cambio climático en una de las regiones hidrológicas del estado de Oaxaca, en la zona del río Atoyac, que incluye la capital del estado y otros municipios pobres a su alrededor.

### 3.3. DISCUSIÓN TEÓRICA

Existe un escepticismo sobre si el cambio climático es real. Lo cierto es que, en los últimos 8 años, el Océano Pacífico frente a las Costas Mexicanas ha presentado dos de los huracanes más extremos y dañinos como lo son el huracán Patricia en el año 2015 y el huracán Otis en el año 2023, frente a las costas de Colima y Guerrero, respectivamente (SMN, 2023). Dichos huracanes trajeron consigo grandes valores de lluvia en la región y se registraron temperaturas máximas extraordinarias en la superficie del océano. En la zona de estudio del río Atoyac en Oaxaca, en la que se encuentra la capital del estado de Oaxaca, se ha percibido por la población un cambio en el clima, el cual solo puede ser confirmado a través de un análisis formal del clima. En esta misma zona, también ha ocurrido un cambio en el uso de suelo que contribuye negativamente para que se presenten valores extremos del clima. En esta zona se ha visto un deterioro grande de las zonas boscosas a causa de la deforestación, en muchas partes, de manera ilegal, durante el lapso entre 1980 y el año 2000, se encontraron índices de pérdida de bosques en la zona, alcanzando alrededor de 24,000 hectáreas anuales. Esto fue especialmente notable en áreas como el Bajo Mixe, la región de Putla-Jamiltepec y la región de los Loxichas. Estos fenómenos se atribuyeron principalmente a cambios en el uso del suelo para actividades agropecuarias, donde aún persiste la práctica del sistema de roza, tumba y quema (Ellis *et al.*, 2017).

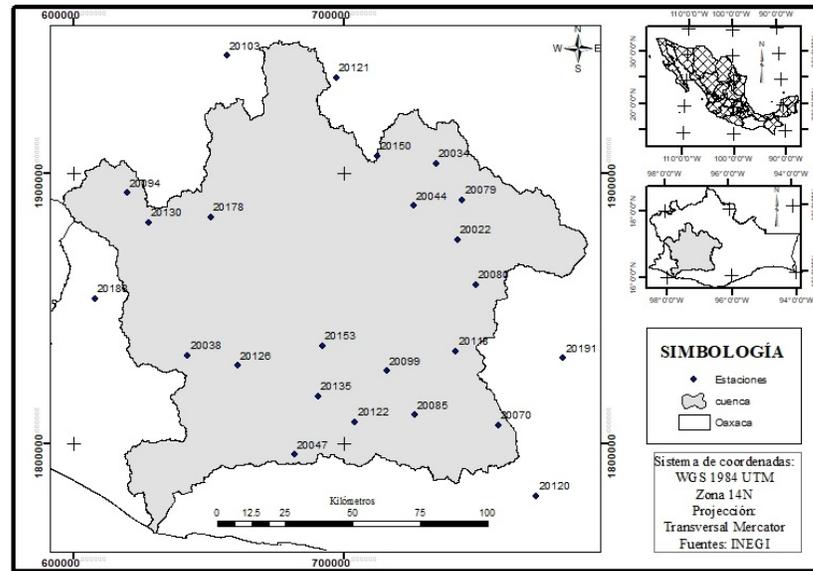
1 En este trabajo básicamente se utilizan dos herramientas: (a) análisis del clima a  
2 través de al menos 30 años de información histórica disponible en las estaciones  
3 meteorológicas y (b) Proyección climática para un escenario “lejano”, para el  
4 periodo 2075-2099 (ICAYCC-UNAM, 2023).

5 La Organización Meteorológica Mundial a través de su equipo “Expert Team on  
6 Climate Change Detection, Monitoring and Indices “ (ETCCDMI) definió 27  
7 índices climáticos para la detección y el estudio de modificaciones en los valores  
8 extremos del clima (Zhang *et al.*, 2018). Básicamente se analiza el comportamiento  
9 de temperaturas máximas y mínimas y de lluvia a través de periodos de mínimo 30  
10 años. Esa metodología se apoya en el software RCLimDex v1.9, el cual facilita el  
11 análisis de ese posible cambio climático.

12 El ICAYCC (2023) mantiene una página web de posibles escenarios de cambio  
13 climático para México, a corto , mediano y largo plazo; esa página web es  
14 actualizada constantemente (<http://atlasclimatico.unam.mx/AECC/servmapas>). La  
15 UNAM a través del ICAYCC presenta los escenarios para los modelos CNRMCM5  
16 francés, GFDL-CM3 estadounidense y HADGEM2-ES del Reino Unido

### 18 3.4. METODOLOGÍA

19 La cuenca del Río Verde-Atoyac se encuentra ubicada en su mayoría dentro del  
20 estado de Oaxaca, entre las coordenadas 96° 16' 37 y 98° 05' 57” de Longitud Oeste,  
21 y 17°37' 20.32” y 15° 58' 46” de Latitud Norte, tiene un área aproximada de 18 261  
22 kilómetros cuadrados; pertenece a la región hidrológica número 20, denominada  
23 Costa Chica de Guerrero (INEGI, 2008). Dentro de los 243 municipios ubicados  
24 dentro de la cuenca (Zorrilla *et al.*, 2017), los más importantes ubicados en este lugar  
25 destacan Oaxaca de Juárez, ciudad capital del estado y sus municipios aledaños,  
26 Ocotlán, Ejutla, Miahuatlán, Sola de Vega, Juchatengo, entre otros.



Fuente: elaboración propia con datos de INEGI (2008b) y SMN (2019).

**Figura 4:** localización del área de estudio.

La altura con respecto al nivel del mar del área de analizada ronda entre los 0 a los 3 606 msnm. En la mayor parte de la cuenca se presenta el clima templado subhúmedo (42.08), en segundo lugar, se encuentra con un 21.57% el clima templado húmedo (INEGI, 2008a). La temperatura media anual es de 20.2 grados centígrados, el mes más frío es enero con una temperatura mensual promedio 18.9°C mientras que mayo es el mes más caluroso con un promedio mensual de 22.9°C.

La precipitación anual promedio es de 1192 mm, las láminas diarias, en su mayoría son menores a 45 mm (SMN, 2020), se tienen registros de algunos eventos con más de 200 mm precipitados, pero son muy pocos, estos sucesos se deben al paso de huracanes en la costa, como es el caso del 8 de octubre de 1997 cuando tocó tierra el huracán Paulina en el Puerto de Santa Cruz y después continuó su camino por parte del área de estudio dejando registros de más de 200 mm precipitados.

La época de lluvias se concentra, en su mayoría en los meses de mayo a octubre, cuando la temperatura máxima promedio varía de 31.1 °C a 34°C, y el promedio de la mínima de 14.2°C a 15.6°C; el resto del año, época seca, la temperatura mínima promedio varía de 10.5°C a 14.1°C y la máxima va desde los 32.1°C a los 33.6°C. En cuanto al uso de suelo y vegetación en la cuenca predomina la agricultura de temporal anual con un 18.65% y la vegetación secundaria arbustiva de bosque de

1 encino (11.42%) (INEGI, 2018). El tipo de suelo con mayor presencia en el área es  
2 el regosol eútrico encontrado en el 62.74% de la cuenca, seguido del litosol  
3 encontrado en el 15.15% de la zona (INEGI, 2007).

4 En cuanto a la metodología utilizada, primero se descargaron directamente de la  
5 página del Servicio Meteorológico Nacional los datos diarios de precipitación,  
6 temperatura máxima y mínima registrados en cada una de las estaciones  
7 meteorológicas ubicadas tanto dentro del área de estudio como de sus alrededores  
8 (SMN, 2020) y que al menos contaran con 40 años de información, preferentemente  
9 que esos datos correspondieran al periodo correspondiente entre los años 1961 y  
10 2019, incluyendo, según el caso, aquellas que solo cubrieran hasta el año 2000, ya  
11 que de lo contrario se presentaría falta de información en una parte importante de la  
12 zona de interés, similar a lo aplicado por Jaimes *et al.* (2021); se revisaron  
13 ligeramente que no se presentaran datos anormales ni más del 10% de datos faltantes,  
14 aunque el programa puede trabajar con series que tengan al menos el 70% de  
15 información (Zhang *et al.*, 2018).

16 Después se procesan los valores diarios en el software RClimDex, con un previo  
17 control de calidad básico, con el cual se pretende identificar datos anormales, los  
18 cuales se salen del rango normal de datos que obtiene el programa, por ejemplo,  
19 algún día en que la temperatura máxima sea menor al promedio para las  
20 temperaturas mínimas o viceversa.

21 Después se aplica el control de calidad extra, para encontrar valores diarios muy  
22 altos o muy bajos, mismos que se presume que fueron registrados de manera  
23 incorrecta al momento de capturar las lecturas diarias de precipitación y temperatura,  
24 por ejemplo, un día en que la temperatura mínima aparezca como 21°C, pero que en  
25 realidad haya sido de 12°C. para corregir esa información se tiene que investigar si  
26 se encuentran registros de que en realidad se hayan presentado días con temperaturas  
27 muy altas, o de lo contrario, muy bajas; y en el caso de la precipitación, corroborar  
28 que hayan ocurrido días con láminas de lluvia tan altas, esto debido a que la zona se  
29 ve afectada frecuentemente por el paso de los huracanes y las tormentas tropicales.  
30 De no existir información que corrobore la veracidad de los datos registrados, se  
31 puede consultar qué valores aparecen para ese mismo día y esa misma variable en  
32 las estaciones cercanas a la que se está trabajando, de manera que compruebe la  
33 veracidad de los registros o que haga concluir que hubo algún error al capturar los  
34 valores.

El siguiente paso es la homogenización de los datos, esto consiste en verificar la tendencia que llevan los valores, encontrar saltos en la información diaria, o alguna otra discontinuidad; se tiene que verificar a qué se debe ese fenómeno, si es porque se hizo un cambio de ubicación de la estación meteorológica, o se renovó el equipo que toma los datos, etc. Para encontrar los mencionados saltos, se corre la información como lo sugiere en el software RHtests, ingresándola con el mismo formato en que se utiliza el programa RClimDex, siguiendo el procedimiento que indican Wang & Feng (2013), y una vez que se obtengan los valores homogenizados se procede al cálculo de los 27 índices de cambio climático básicos de ETCCDMI que aparecen en el cuadro 1, con ayuda del primer software como lo explican Zhang *et al.* (2018).

**Cuadro 3.** Lista de Los índices climáticos básicos de ETCCDMI.

Índice	Descripción del nombre	Definición	Unidad
SU25	Días de Verano	Número de días en un año en que TX > 25 °C	Días
ID0	Días con hielo	Número de días en un año en que TX < 0 °C	Días
TR20	Noches tropicales	Número de días en un año en que TN > 20 °C	Días
FD0	Días con helada	Número de días en un año en que TN < 0 °C	Días
GSL	Duración de la estación de crecimiento	Número de días en un año entre la primera racha de, como mínimo, seis días con TG > 5 °C y la primera racha después del 1° de julio con, como mínimo, seis días con TG < 5 °C	Días
TXx	Temperatura máxima extrema	Valor máximo anual de la temperatura máxima diaria	°C
TXn	Temperatura máxima más baja	Valor mínimo anual de la temperatura máxima diaria	°C
TNx	Temperatura mínima más alta	Valor máximo anual de la temperatura mínima diaria	°C
TNn	Temperatura mínima extrema	Valor mínimo anual de la temperatura mínima diaria	°C
Tx10p	Frecuencia de días frescos	Porcentaje de días en que TX < percentil 10	Días
Tx90p	Frecuencia de días calurosos	Porcentaje de días en que TX > percentil 90	Días
Tn10p	Frecuencia de noches frías	Porcentaje de días en que TN < percentil 10	Días

Tn90p	Frecuencia de noches cálidas	Porcentaje de días en que TN > percentil 90	Días
WSDI	Duración de los periodos cálidos	Número de días en un año que, como mínimo, hay seis días consecutivos con TX > percentil 90	Días
CSDI	Duración de los periodos fríos	Número de días en un año que, como mínimo, hay seis días consecutivos con TN < percentil 90	Días
DTR	Rango diurno de temperatura	Media anual de la diferencia entre TX y TN	°C
Rx1day	Precipitación máxima en un día	Valor máximo anual de la PPT diaria	mm
Rx5day	Precipitación máxima en cinco días	Máxima anual de la PPT registrada en cinco días consecutivos	mm
SDII	Índice simple de intensidad diaria	Precipitación total anual dividida entre el número de días con PPT $\geq$ 1 mm	mm/día
R10	Días con lluvia mayor a 10 mm	Número anual de días en que PPT $\geq$ 10 mm	Días
R20	Días con lluvia mayor a 20 mm	Número anual de días en que PPT $\geq$ 20 mm	Días
R25	Días con lluvia mayor a 25 mm	Número anual de días en que PPT $\geq$ 25 mm	Días
CDD	Días secos consecutivos	Máximo número en un año de días consecutivos con PPT < 1 mm	Días
CWD	Días húmedos consecutivos	Máximo número en un año de días consecutivos con PPT $\geq$ 1 mm	Días
R95p	Días muy húmedos	Precipitación total anual (en días en que PPT $\geq$ 1 mm) cuando la PPT diaria acumulada es superior al percentil 95	mm
R99p	Días extremadamente húmedos	PPT total anual (en días en que PPT $\geq$ 1 mm) cuando la PPT diaria acumulada es superior al percentil 99	mm
PRCPTOT	Precipitación total	PPT total anual en días en que PPT $\geq$ 1 mm	Mm

Fuente: Zhang, Feng, & Chan, (2018)

En las que, TN significa temperatura mínima, TX representa la temperatura máxima, TG es la temperatura media, RR precipitación diaria y PPT la precipitación total anual; el cálculo de percentiles, se realiza tomando como periodo de referencia el periodo de 1961-1990. Fuente: Zhang *et al.* (2018), Figueroa-Gallegos, (2017).

Con las gráficas obtenidas para cada uno de los 27 índices, se observa si hay tendencias de incremento o decremento, en qué medida, y si esas modificaciones

indican alguna presencia de cambio climático en la ubicación de la estación meteorológica.

Finalmente se realizan las proyecciones climáticas para un escenario lejano (2075-2099) con ayuda del atlas climático del Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio climático (ICAYCC-UNAM, 2023). En este trabajo se eligieron los modelos CNRMCM5, GFDL-CM3 y HADGEM2-ES, con la que se obtuvo un pronóstico de la temperatura máxima, mínima y precipitación en la región. Con esta última información se hace una predicción del riesgo que puede correr la flora, la fauna y la población humana del lugar para entonces. La metodología completa anteriormente descrita se llevó a cabo en todas y cada una de las estaciones meteorológicas estudiadas.

### 3.5. RESULTADOS

De todas las estaciones del sistema meteorológico nacional que se encuentran dentro y en los alrededores de la cuenca, para el presente trabajo se eligieron las siguientes 29, que son las que pasaron los filtros realizados y en las que se encuentra una mayor cantidad de información.

**Cuadro 4.** Estaciones meteorológicas utilizadas.

Clave	Latitud	Longitud	Altitud	Prec T.	Tmed	Municipio
20009	16.637	-95.960	639	549.33	25.9	Nejapa de Madero
20010	16.612	-98.149	420	2095.80	26.7	San Juan Cacahuatpec
20018	17.250	-98.300	2432	1988.38	15.0	Coicayan de las Flores
20022	16.957	-96.701	1504	552.80	20.1	San Bartolo Coyotepec
20034	17.027	-96.800	1673	744.85	19.7	Villa de Etla
20038	16.572	-97.667	596	1642.83	26.0	Santiago Ixtayutla
20044	17.066	-96.878	1745	788.38	18.8	San Felipe Tejalapam
20047	16.233	-97.300	1408	1489.48	19.6	Santa Catarina Juquila
20070	16.329	-96.594	1560	604.66	19.8	Miahuatlán de Porfirio Díaz
20079	17.083	-96.710	1588	767.12	21.3	Oaxaca de Juárez
20080	16.800	-96.667	1522	791.84	19.8	Ocotlán de Morelos
20085	16.367	-96.883	1344	805.14	21.6	San Vicente Coatlán
20094	17.117	-97.873	1321	2519.31	24.1	Putla Villa de Guerrero
20099	16.514	-96.978	1412	862.81	20.9	Santa Cruz Zenzontepec
20103	17.573	-97.523	2313	731.02	15.4	San Andrés Lagunas
20118	16.579	-96.737	1448	678.86	21.2	San Miguel Ejutla
20120	16.091	-96.465	2457	1281.34	14.5	San Miguel Suixhitepec
20121	17.496	-97.142	2206	907.17	15.9	San Pedro Coxcaltepec
20122	16.343	-97.089	861	908.13	24.6	San Pedro Juchatengo
20126	16.537	-97.495	960	1387.87	23.7	Santa Cruz Zenzontepec

20130	17.017	-97.800	1888	1898.74	20.2	Santa María Yucuhiti
20135	16.433	-97.217	1182	1375.37	22.0	Santiago Minas
20141	17.500	-98.150	1667	949.73	20.7	Silacayoapam
20150	17.232	-97.002	2278	821.12	16.8	Santiago Tenango
20153	16.600	-97.200	1778	2263.89	22.6	Santo Domingo Teojomulco
20178	17.033	-97.583	2432	902.60	13.9	Chalcatongo de Hidalgo
20188	16.764	-97.988	355	1731.16	26.4	Santa María Zacatepec
20191	16.550	-96.367	1162	398.57	23.4	Santa María Zoquitlán
12061	16.684	-98.4	316	1358.18	26.3	Ometepec, Guerrero

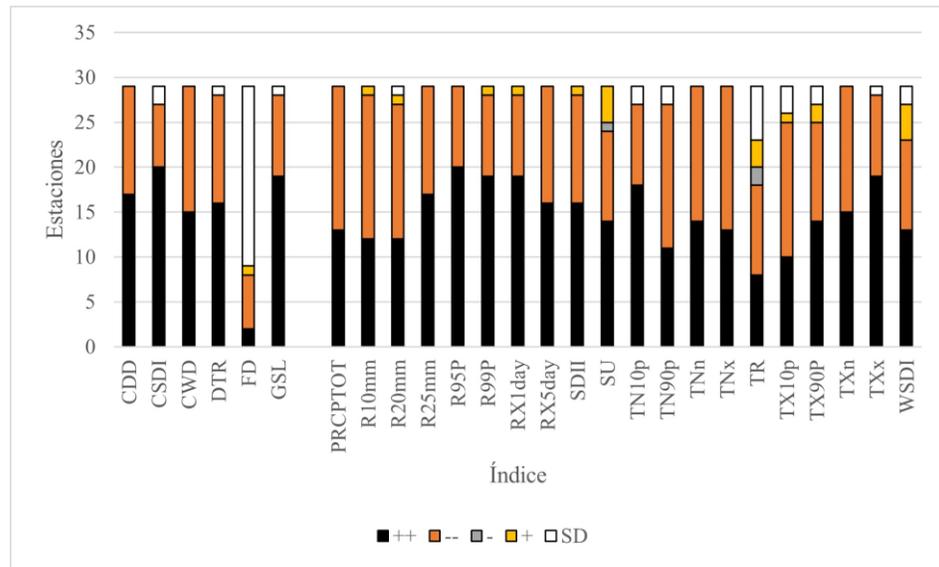
Fuente: SMN, (2020).

### Control de calidad básico

En las series de datos con las que se trabajó no se encontraron registros de precipitación negativa, tampoco valores de temperaturas máximas menores a las mínimas.

En los datos registrados de precipitación, en cuanto a los decimales se abusa del uso del cero, y en menor medida del cinco, aunque si se toman en cuenta en menor medida el 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.7, 0.8 y 0.9. en cuanto al registro de la temperatura máxima y la temperatura mínima, se abusa excesivamente del uso del cero, en menor medida del 0.5 y no se toma en cuenta para nada el resto de los decimales en ambas variables medidas.

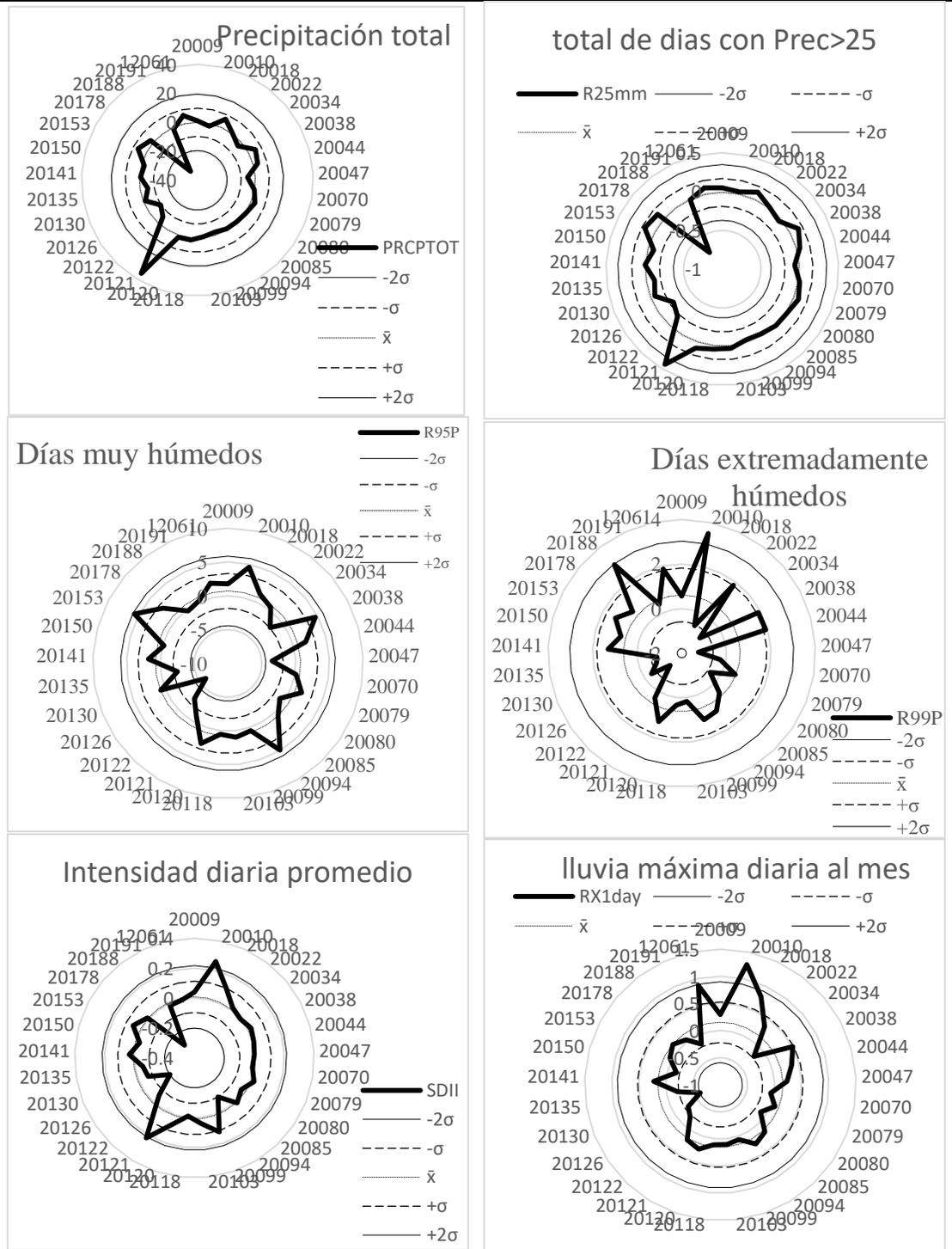
A continuación se presentan, para cada índice de cambio climático la cantidad de estaciones que, con un nivel de confianza del 95%, presentan una tendencia positiva no significativa(+), las que tienen una tendencia positiva significativa (++), las que muestran tendencia negativa no significativa (-) y en las que se observa una tendencia negativa significativa (--), también hay estaciones en las que por la cantidad de datos con los que se cuenta, no se pudo encontrar la línea de tendencia (SD), de la misma forma como lo realizado por Jaimes *et al.* (2021) y Figueroa-Gallegos (2017).



Fuente: Elaboración propia con información obtenida de RCLimDex.

**Figura 5.** Tendencia de los índices de cambio climático en las 29 estaciones.

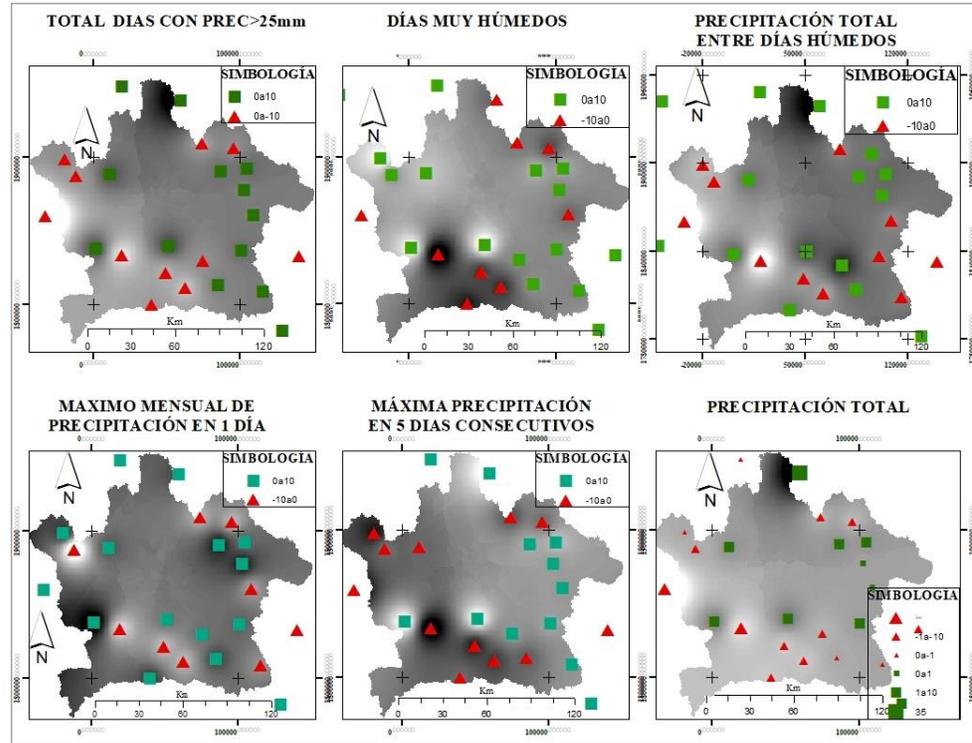
Se puede observar que en su mayoría todos los índices presentan una tendencia de incremento significativa, sobre todo las temperaturas máximas, en la cantidad diaria de precipitación en un día húmedo, la cantidad de noches frías, la diferencia media mensual entre temperatura máxima y la temperatura mínima, además de la cantidad de días con láminas mayores a 25 mm, Por el contrario, se presenta tendencia significativa descendente, principalmente en la precipitación total anual y en las temperaturas mínimas, por lo que se tienen climas más extremos.



Fuente: elaboración propia en base a los datos del SMN (2019).

**Figura 6.** Valores promedio de los índices PRCPTOT, R25mm, R95P, R99P y RX1day para cada estación climatológica analizada.

1  
2  
3  
4



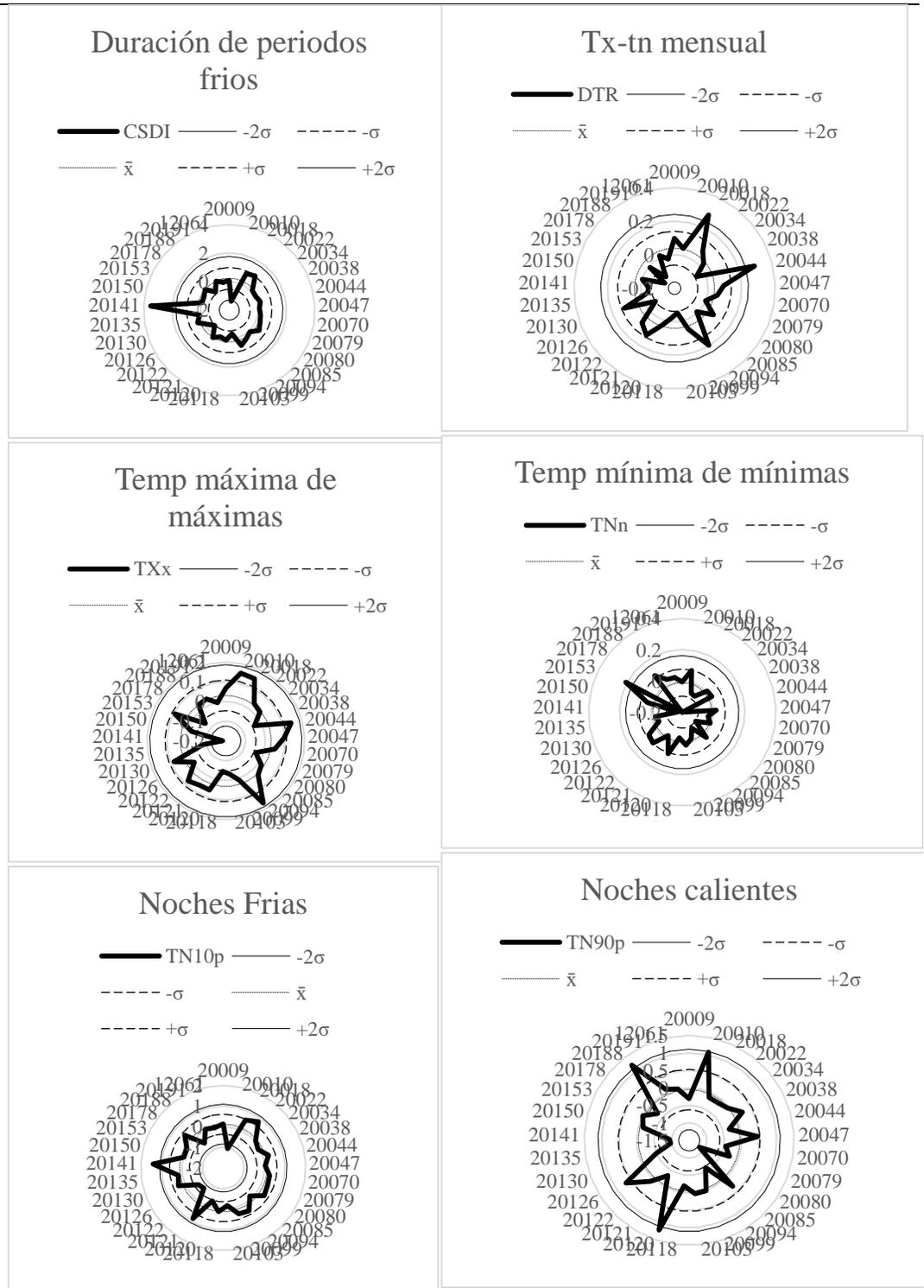
1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16

Fuente: elaboración propia en base a los datos del SMN (2019).

**Figura 7.** Tendencia de los índices de cambio climático para precipitación en las estaciones.

La figura 3 muestra las tendencias de los índices climáticos relativos a la precipitación, los números alrededor de ese círculo corresponde a la clave numérica que identifica las estaciones climatológicas analizadas. Tanto en la figura 3 como en la 4 se puede ver una tendencia positiva en los índices de cambio climático relacionados con la precipitación, esto significa que, promediando las 29 estaciones analizadas, cada año incrementa en una cantidad mínima la precipitación anual promedio, misma situación que dedujeron Kachok & Ivanova (2019), para la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno, Baja California Sur.

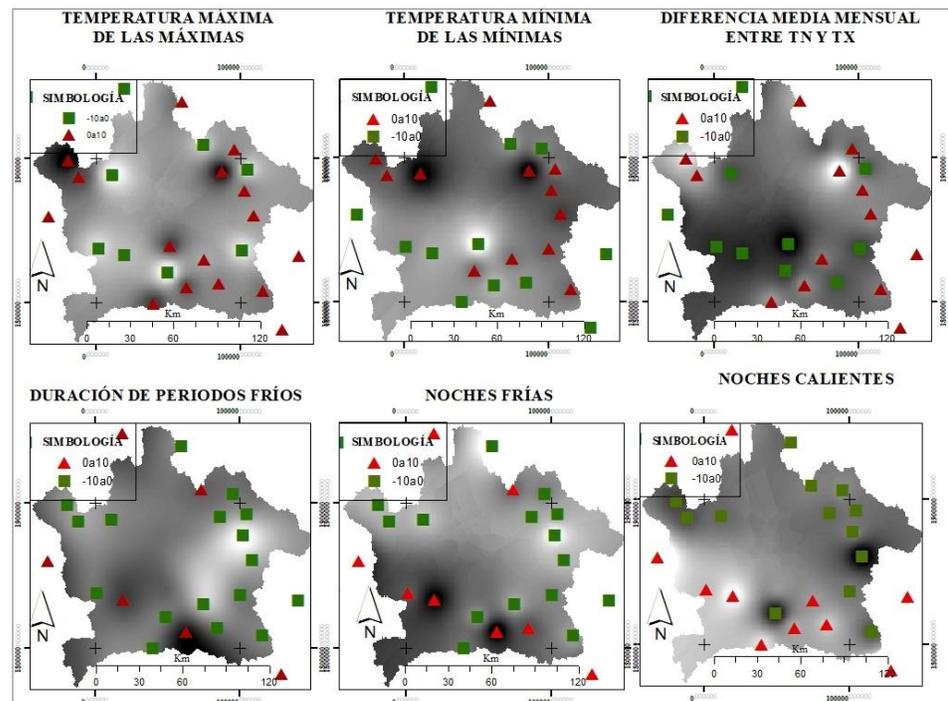
Se observa que cada vez se presentan láminas diarias mayores, se presume que se debe a que cada año hay mayor cantidad de huracanes y tormentas tropicales; este



1  
2  
3  
4

Fuente: elaboración propia en base a los datos del SMN (2019).

**Figura 8.** Valores promedio de los índices relacionados con la temperatura para cada estación climatológica analizada.



Fuente: elaboración propia en base a los datos del SMN 2019.

**Figura 9.** Índices de cambio climático relacionados con la temperatura.

fenómeno trae como consecuencia también que se reduzca el periodo de lluvias, teniendo una precipitación anual igual o mayor a la de años anteriores, pero ahora en menor cantidad de días y con láminas diarias mayores, afectando también el índice simple de intensidad diaria.

En cuanto a la temperatura, figuras 5 y 6, los índices de cambio climático que sobresalen con una tendencia positiva o negativa, podemos detectar que la temperatura máxima entre las máximas ( $T_{xx}$ ), tiene una recta con pendiente positiva, lo que significa que cada año se presentan temperaturas máximas cada vez mayores, por el contrario, respecto a las temperaturas mínimas ( $T_{nn}$ ) cada año se registran días más fríos respecto al año anterior, por lo que se concluye que las temperaturas extremas son cada vez más extremas.

Este fenómeno da paso a que el índice  $T_{n10P}$ , encargado de representar la cantidad de noches frías en un año también vaya incrementando respecto al dato anterior y en contraste, el índice  $T_{n90P}$ , representante de las noches cálidas en un año, presente

una pendiente negativa, lo que indica que las temperaturas mínimas, que generalmente se presentan durante la noche, han ido disminuyendo.

En cuanto a los índices Tx10P, encargado de analizar los días fríos presenta una pendiente negativa, indicando que la temperatura durante el día es mayor cada año respecto al anterior; y Tx90P, encargado de contabilizar los días calurosos muestra una pendiente positiva, indicando que cada año se irán recibiendo temperaturas máximas más altas. Todo lo anterior también concuerda con la pendiente positiva del índice DTR, o rango diurno de temperatura, encargado de mostrar la diferencia entre la temperatura máxima y la mínima, debido a que la temperatura mínima será cada vez menor y la temperatura máxima, cada vez mayor, mostrando diferencias más grandes, algo similar a lo mostrado por De la Mora-Orozco *et al.* (2016), para el estado de Chiapas.

Para la proyección climática se utilizaron los datos de la página de <http://atlasclimatico.unam.mx/AECC/servmapas> de la UNAM para los modelos CNRMCM5 francés, GFDL-CM3 estadounidense y HADGEM2-ES del Reino Unido. Se obtuvo dato por dato, en cada una de las imágenes del servmapas para cada mes, tanto para precipitación, temperatura mínima y máxima.

**Cuadro 5.** Pronóstico de precipitación anual en un escenario lejano 2075-2099.

Prec.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Actual	7	13	20	38	114	239	205	234	250	127	22.4	8.6
Franc.	5	17	16	39	146	214	173	214	243	117	19	7
Eua	5	20	15	28	99	245	178	204	231	142	44	17
Ru	8	18	14	25	104	222	177	184	194	71	132	29
Prm fut	6	18	15	30.	116	227	176	200	223	110	65.	18
Ac-fut	0.96	-4.2	4.97	7.53	-2.2	12.89	29.6	34	27.36	17	-42.6	-9.2

Fuente: Elaboración propia con datos de <http://atlasclimatico.unam.mx/AECC/servmapas>.

En el cuadro 3 se puede ver que en los tres modelos que se analizaron, se presenta una ligera disminución en la cantidad de lluvia mensual, principalmente en el modelo HADGEM2-ES, comparado con el promedio de precipitación mensual actual, lo que finalmente repercute en una muy leve disminución en el promedio de lluvia anual esperado para el futuro lejano (2075-2099), en comparación con los milímetros anuales promedio actualmente. Solamente se presenta un dato anormal pronosticado con el modelo HADGEM2-E para el mes de noviembre, con una

lámina mucho mayor a la que predicen los otros dos, mayor a la lámina promedio actual, incluso a la que el mismo modelo muestra para el mes de octubre.

**Cuadro 6.** Pronóstico de la temperatura máxima en un escenario lejano 2075-2099.

<b>Tmp °C</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
Actual	20	20.9	21.8	22.2	21.4	19.8	20	19.4	19	19.6	20.4	20.3
Franc.	20.6	21.6	22.1	23.2	22.7	19.8	20.7	20	20.3	22.1	22.7	22.9
Eua	23.2	24.8	26	26.6	26.3	25.2	24	25.3	24.7	25.3	23.9	24.4
Ru	24.1	24.7	26.3	26.8	26.7	24.7	24.8	26.6	25.5	25.7	23.9	24.4
Prm fut	22.6	23.7	24.8	25.5	25.2	23.2	23.2	24	23.5	24.4	23.5	23.9
Ac-fut	2.6	2.8	3	3.3	3.8	3.5	3.2	4.5	4.5	4.8	3.1	3.58

Fuente: Elaboración propia con datos de <http://atlasclimatico.unam.mx/AECC/servmapas>.

En el cuadro 4 se muestra una comparación entre la temperatura mínima mensual actual y la que pronostican cada uno de los tres modelos estudiados anteriormente, se puede ver un incremento en la temperatura que predicen los modelos, en mayor cantidad el estadounidense y el del reino unido, por casi cuatro grados centígrados cada mes, y en menor medida el modelo francés, que presenta un incremento en alrededor de tres grados centígrados.

**Cuadro 7.** Pronóstico de la temperatura mínima en un escenario lejano 2075-2099.

<b>Tem °C</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
Actual	7.3	7.5	8.0	8.8	9.4	9.2	9.2	9.1	9.2	8.9	8.5	7.8
Franc.	10	10.4	11.3	12.4	13.1	13.3	12	12.8	12.9	12.8	11.8	10.4
Eua	11.2	11.4	12.3	13.3	15.5	15	14.5	13.4	14.1	15	13.4	12.9
Ru	12.3	12.5	12.5	13.6	14.5	14.4	14.6	15	15.5	14.5	13.8	13.1
Prm fut	11.2	11.4	12.0	13.1	14.4	14.2	13.7	13.7	14.2	14.1	13.0	12.1
Ac-fut	3.9	4.0	4.0	4.3	4.9	5.1	4.5	4.6	5.0	5.2	4.5	4.4

Fuente: Elaboración propia con datos de <http://atlasclimatico.unam.mx/AECC/servmapas>.

En el cuadro 5 se muestra una comparación entre la temperatura mínima mensual actual y la que pronostican cada uno de los tres modelos estudiados anteriormente, en la imagen se puede ver un incremento en la temperatura que predicen los modelos, en mayor cantidad el estadounidense y el del reino unido, por casi cuatro grados centígrados cada mes, y en menor medida el modelo francés, que presenta un incremento en alrededor de tres grados centígrados.

### 3.6. DISCUSIÓN

Al analizar los datos meteorológicos se observó una tendencia de incremento a futuro en las temperaturas tanto máxima (de hasta casi 4°C); como mínima (de alrededor de 3°C), mientras que actualmente se presentan cada vez más días con temperaturas altas, menor cantidad de días con temperaturas bajas, mayor presencia de periodos fríos y estos cada vez con mayor duración, una diferencia cada vez mayor entre la temperatura máxima y la mínima, mayor cantidad de noches frías, menor presencia de noches cálidas, mayor presencia de periodos con días calurosos y cada vez de mayor duración; tal como lo que dedujeron Velasco-Hernández *et al.* (2015) para ciudad Serdán en Puebla.

En cuanto a la precipitación se observó que, en promedio, no existe una tendencia significativa de incremento tal como lo que dedujeron Zarazúa-Villaseñor *et al.* (2014) para el golfo sur en México, porque en algunas estaciones se tiene tendencia positiva, pero en el resto, la tendencia es negativa. Con el resto de los índices se observa un incremento en el número de días en un año en que la precipitación es mayor a 25 mm, también aumenta la cantidad de días secos consecutivos, mayor número de días húmedos consecutivos, días cada vez más muy húmedos, mayor lámina precipitada en un día, mayor lámina precipitada en cinco días consecutivos, disminución en los días lluviosos, disminución en la cantidad de días con láminas bajas, mayor presencia de lluvias torrenciales.

### 3.7. CONCLUSIONES

En el estado de Oaxaca se detectó una falta de datos que imposibilitaba el análisis del cambio climático en algunas regiones. Finalmente fue la zona de estudio de este trabajo la que presentó las series históricas de datos del clima más completo.

Se pudo observar que, de los 27 índices analizados en las 29 estaciones meteorológicas, presentan una tendencia de incremento significativa en los siguientes índices: incremento de las temperaturas máximas, incremento entre la diferencia entre temperatura mínima y máxima en un mes, un incremento de días con lluvia diaria mayor a 25 mm y un incremento de índice simple de intensidad diaria de lluvia. También se encontró un incremento considerable de los días secos consecutivos. En resumen, hay lluvias más intensas y periodos de sequía más largos. En la proyección escenario lejano (2075-2099), se observó que se espera una nueva distribución mensual de la lluvia a través del año, un aumento en la temperatura

máxima y un aumento en la temperatura mínima, es decir un clima más extremo. Por lo tanto, considerando el análisis de los datos históricos de 29 estaciones y sus proyecciones respectivas a lejano plazo, se concluye que existe presencia de cambio climático en esta zona. Por lo que se deben planear acciones de mitigación de este cambio para el ecosistema y para las actividades productivas agrícolas y pecuarias.

### 3.8. AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología (CONAHCYT), por el apoyo otorgado para llevar a cabo este trabajo.

### 3.9. LITERATURA CITADA

Bárcena A, Prado A, Samaniego J, Pérez R. 2015. El cambio climático: evidencia y escenarios futuros. In: La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe. Santiago de Chile, 1a Ed.; ONU: Santiago de Chile, pp 15-21. Recuperado el 31 de octubre de 2023, de <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/ca0445d3-e3f3-4f40-a5ff-057a9a34f016/content>.

De la Fuente-Meraz A, & Olivera-Villaruel S. 2018. El Cambio Climático en México. In: Impactos socioeconómicos del cambio climático en México, 1ª Ed.; UAM, CDMX, México pp 19. Recuperado el 31 de octubre de 2023, de [http://dccd.cua.uam.mx/libros/investigacion/cambio\\_climatico\\_impactos\\_socioeconomicos.pdf](http://dccd.cua.uam.mx/libros/investigacion/cambio_climatico_impactos_socioeconomicos.pdf).

De la Mora-Orozco C, Ruiz- Corral J, Flores-López H, Zarazúa-Villaseñor P, Ramírez-Ojeda G, Medina-García G, Chávez-Durán A. 2016. Índices de cambio climático en el estado de Chiapas, México, en el periodo 1960-2009. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* (13), 2523-2534. Recuperado el 24 de octubre de 2023, de <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v7nspe13/2007-0934-remexca-7-spe13-2523-en.pdf>.

Díaz-Cordero G. 2012. El cambio climático. *Ciencia y sociedad*, XXXVII, 227-240. Recuperado el 31 de octubre de 2023, de <https://www.redalyc.org/pdf/870/87024179004.pdf>.

Ellis A, Romero-Montero J, Hernández-Gómez I, Anta-Fonseca S, & López-Paniagua J. 2017. Deforestación y sus determinantes. In: *Determinantes de*

1 la deforestación en el estado de Oaxaca. Alianza México para la reducción  
2 de emisiones por deforestación y degradación: Ciudad de México: Agencia  
3 de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID), The  
4 Nature Conservancy (TNC), pp 9-28. Recuperado el 31 de octubre de 2023,  
5 de [https://sis.cnf.gob.mx/wp-content/plugins/conafor-](https://sis.cnf.gob.mx/wp-content/plugins/conafor-files/2018/nacional/catalogo/biblioteca/192.pdf)  
6 [files/2018/nacional/catalogo/biblioteca/192.pdf](https://sis.cnf.gob.mx/wp-content/plugins/conafor-files/2018/nacional/catalogo/biblioteca/192.pdf).

7 Figueroa-Gallegos J. 2017. Índices de cambio climático en la cuenca del Río  
8 Grande, Chiapas, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, VIII(6), 137-  
9 143. DOI: <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-06-10>

10 INECC. 2019. Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático México.  
11 1ª. Edición (libro electrónico). Instituto Nacional de Ecología y Cambio  
12 Climático. México. Disponible en:  
13 [https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/page/fichas/ANVCC\\_LibroDigit](https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/page/fichas/ANVCC_LibroDigital.pdf)  
14 [al.pdf](https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/page/fichas/ANVCC_LibroDigital.pdf)

15 Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático UNAM. 2023.  
16 Actualización de los escenarios de cambio climático para estudios de  
17 impactos, vulnerabilidad y adaptación. Recuperado en septiembre 2023 en  
18 <https://atlasclimatico.unam.mx/cmip5/visualizador>.

19 INECC. 2021. González Terrazas D., Vermonden Thibodeau A., Gress Carrasco  
20 F. Municipios Vulnerables al cambio climático con base en los resultados  
21 del Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático. 60 p.

22 INEGI. 2007. Conjunto de Datos Vectorial Edafológico. Escala 1:250 000 Serie  
23 II Continuo Nacional Oaxaca. Recuperado el 31 de octubre de 2023, de  
24 <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825235291>.

25 INEGI. 2008a. Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Unidades  
26 climáticas. Recuperado el 31 de 10 de 2023, de  
27 <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825267568>.

28 INEGI. 2008b. Red hidrográfica edición 2.0. Cuenca R. Atoyac. Región H.  
29 Costa Chica - Río Verde. Recuperado el 31 de 10 de 2023, de  
30 <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825006894>.

31 INEGI. 2018. Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación.  
32 Escala 1:250 000. Serie VII. Conjunto Nacional. Recuperado el 31 de  
33 octubre de 2023, de  
34 <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463842781>.

1 Jaimes J, Ibáñez L, Arévalo G, Vázquez M, Monterroso A. 2021. Tendencias en  
2 la precipitación diaria de la cuenca alta Laja-Peñuelitas, Guanajuato. Rev.  
3 Mex. Cienc.Agric. 12(7). <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i7.2919>.

4  
5 Kachok R, Ivanova A. 2019. Índices de cambio climático en la reserva de la  
6 biósfera el Vizcaíno, Baja California Sur, México (1960-2012). Revista  
7 Brasileña de Climatología, 67-93. Recuperado el 31 de octubre de 2023, de  
8 [https://cibnor.repositorioinstitucional./jspui/bitstream/1001/1876/1/PUB-](https://cibnor.repositorioinstitucional./jspui/bitstream/1001/1876/1/PUB-ARTICULO-4414.PDF)  
9 [ARTICULO-4414.PDF](https://cibnor.repositorioinstitucional./jspui/bitstream/1001/1876/1/PUB-ARTICULO-4414.PDF).

10 Mendoza-Aguilar B. 2019. Homogeneización de datos climáticos y análisis de  
11 eventos extremos de precipitación en la zona del monzón de América del  
12 Norte. Tesis para obtener el título de Maestría en Ciencias en Oceanografía  
13 Física, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de  
14 Ensenada, Baja California (CICESE), Ensenada, Baja California, México,  
15 2019 Recuperado el 31 de octubre de 2023, de  
16 [https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/2783/1/Tes](https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/2783/1/Tesis_Brenda_Yutziny_Mendoza_Aguilar_21feb2019.pdf)  
17 [is\\_Brenda\\_Yutziny\\_Mendoza\\_Aguilar\\_21feb2019.pdf](https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/2783/1/Tesis_Brenda_Yutziny_Mendoza_Aguilar_21feb2019.pdf).

18 SMN. 2020. Información Estadística Climatológica. Recuperado el 31 de 10 de  
19 2023, de [https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-](https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica)  
20 [climatologica/informacion-estadistica-climatologica](https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica).

21 SMN, 2023. Ciclones tropicales en el océano Pacífico y en el Océano Atlántico  
22 en México. Recuperado el 2 de noviembre del 2023 de  
23 <https://smn.conagua.gob.mx/es/ciclones-tropicales/informacion-historica>.

24 Vázquez-Aguirre J, Brunet M, D. Jones P. 2008. Cambios observados en los  
25 extremos climáticos de temperatura y precipitación en el estado de  
26 Veracruz, México a partir de datos diarios. Asociación Española de  
27 Climatología, 447-456. Recuperado el 29 de 10 de 2023, de  
28 <http://hdl.handle.net/20.500.11765/8657>.

29 Velasco-Hernández M, Morales-Acoltzi T, Estrella-Chulim N, Díaz-Ramos R,  
30 Juárez-Sánchez J, Hernández-Vázquez M, Bernal-Morales R. 2015.  
31 Tendencias y variabilidad de índices de cambio climático: enfoque agrícola  
32 en dos regiones de México. Rev. Mex. Cien. Agr. 6(7), 1587-1599.  
33 Recuperado el 30 de octubre de 2023, de  
34 <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v6n7/v6n7a13.pdf>

1 Wang X, Feng Y. 2013. ETCCDI Climate Change Indices. Obtenido de  
2 <https://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>.

3 Zarazúa-Villaseñor P, Ruiz-Corral J, Ramírez-Ojeda G, Medina-García G,  
4 Rodríguez-Moreno V, de la Mora-Orozco C, Durán-Puga N. 2014. Índices  
5 de extremos térmicos en las Llanuras Costeras del Golfo Sur en México.  
6 Rev. Mex. de Cien. Agr.(10), 1843-1857. Obtenido de  
7 [https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v5nspe10/2007-0934-remexca-5-  
9 spe10-1843-en.pdf](https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v5nspe10/2007-0934-remexca-5-<br/>8 spe10-1843-en.pdf).

9 Zhang, X., Feng, Y., & Chan, R. 2018. Introduction to RCLimDex v1.9. Climate  
10 Research Division, Downsview, Ontario, Canada. [https://github.com/ECCC-  
12 CDAS/RCLimDex/blob/master/inst/doc/manual.pdf](https://github.com/ECCC-<br/>11 CDAS/RCLimDex/blob/master/inst/doc/manual.pdf) (Recuperado: mayo 2023).

12 Zorrilla M, De la Lanza G, González I, Martínez A, Hernández S. 2017. Área de  
13 estudio. In: Enfoque integrado ambiental de la determinación del caudal  
14 ecológico y su asociación con la conservación de cuencas hidrográficas: ejemplo  
15 de caso río Verde Atoyac, en el estado de Oaxaca, 1ª Ed. Universidad Autónoma  
16 de Campeche, Campeche, México.

## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1. CONCLUSIONES**

En base a los resultados obtenidos para los 27 índices de cambio climático al correr en el programa RClimDex los datos de precipitación y temperatura registrados en el servicio meteorológico nacional para las 29 estaciones con las que se trabajó, mismos que se presentan en los anexos, se puede concluir que actualmente se presentan días con temperaturas cada vez más altas, menor cantidad de días con temperaturas bajas, mayor presencia de periodos fríos y estos cada vez con mayor duración, una diferencia cada vez mayor entre la temperatura máxima y la mínima, mayor cantidad de noches frías, menor presencia de noches cálidas, mayor presencia de periodos con días calurosos y cada vez de mayor duración.

En cuanto a la precipitación se observó que, en promedio, no existe una tendencia significativa de incremento, porque en algunas estaciones se tiene tendencia positiva, pero en el resto, la tendencia es negativa. Con el resto de los índices se observa un incremento en el número de días en un año en que la precipitación es mayor a 25 mm, también aumenta la cantidad de días secos consecutivos, mayor número de días húmedos consecutivos, días cada vez más muy húmedos, mayor lamina precipitada en un día, mayor lámina precipitada en cinco días consecutivos, disminución en los días lluviosos, disminución en la cantidad de días con láminas bajas, mayor presencia de lluvias torrenciales. En resumen, hay lluvias más intensas y periodos de sequía más largos.

En la proyección escenario lejano (2075-2099), se observó que se espera una nueva distribución mensual de la lluvia a través del tiempo, un aumento en la temperatura máxima y un aumento en la temperatura mínima en algunas partes

y en otras estaciones un decremento, es decir un clima más extremo. Por lo tanto, considerando el análisis de los datos históricos de 29 estaciones y sus proyecciones respectivas a lejano plazo, se concluye que sí existe presencia de cambio climático en esta zona. Por lo que se deben planear acciones de mitigación de este cambio climático para el ecosistema y para las actividades productivas agrícolas y pecuarias, entre las que destacan las siguientes.

#### **4.2. RECOMENDACIONES**

Se debe incluir en el plan de riesgo, las actividades que se deben llevar a cabo en caso de periodos con sequías prolongadas, incluyendo las enfermedades que se pueden presentar en la población debido a las altas temperaturas que en ese periodo se van a ir sintiendo en estos lugares; actividades a llevar a cabo para preparar a las personas ante la llegada de un posible huracán, así como tener un plan a seguir después del paso del ciclón para que los habitantes tome nuevamente su vida normal

Los recursos deben destinarse principalmente a mejorar las viviendas, en algunos municipios de la zona, el cabildo se está encargando de gestionar algunos dormitorios para las familias, los cuales están elaborados de tabique, que es más resistente a las lluvias intensas y a los deslaves.

También se deben utilizar los recursos en promover y llevar a cabo la reforestación en algunas zonas que anteriormente era utilizada para la agricultura, que, debido a la orografía del lugar se práctica bajo el sistema de roza, tumba y quema, también se debe detener de alguna manera la tala ilegal de los pocos bosques que sobreviven, por el contrario, incrementar la cantidad de hectáreas reforestadas, terminar definitivamente con la cacería de aves y

otros animales silvestres como el venado, conejo, armadillo, etc., que cumplen una función importante dentro del medio..

La población principalmente debe concientizarse sobre el buen uso y cuidado del agua, debido a que cada vez la tienen que conseguir más lejos y con el paso del tiempo se va a escasear más; también se debe tener un respeto por todo el ecosistema. Con todo esto la población debe estar más preparada debido a que se predice una disminución en los días con lluvia, por lo que se tendrá que almacenar alguna cantidad de esas láminas precipitadas para el uso en época de sequías.

Dentro de la agricultura se deben cultivar algunas variedades más resistentes al incremento de la temperatura y de un ciclo de vida más corto debido a la disminución del periodo de lluvia.

En cuanto a la construcción de sus viviendas, deben de hacerlas de material más resistente y en lugares que no tengan peligro de deslave tanto arriba como abajo, pues debido a la deforestación y la agricultura, el suelo queda cada vez más vulnerable dando lugar a que con el paso de cualquier lluvia torrencial se presentan grandes deslizamientos de tierra gracias a que la mayor parte de la cuenca está en la sierra sur, siendo esta una zona montañosa. Además, se pronostica que con el paso de los años se presentarán huracanes de categorías mayores que podrán hacer destrozos con mayor facilidad debido a la cercanía de la zona de estudio con el mar.

Se debe inculcar a las nuevas generaciones una buena cultura sobre el cuidado del uso del agua, de la protección del medio ambiente incluyendo todas las especies que componen la flora y la fauna del lugar: en este punto juegan un papel muy importante las instituciones educativas que laboran en la región ya

que tienen una influencia directa en la etapa de la vida en que mejor aprenden los seres humanos.

Debido a que el cambio se va a ir presentando muy lentamente, la población tendrá tiempo suficiente para irse adaptando a las nuevas condiciones climáticas y a la escasez de recursos que con el paso del tiempo se muestre, por lo tanto, poco a poco se irán tomando diferentes medidas para poder sobrevivir a esas nuevas condiciones climáticas

## 5. ANEXOS

### 5.1. ANEXO 1. Índices de temperatura

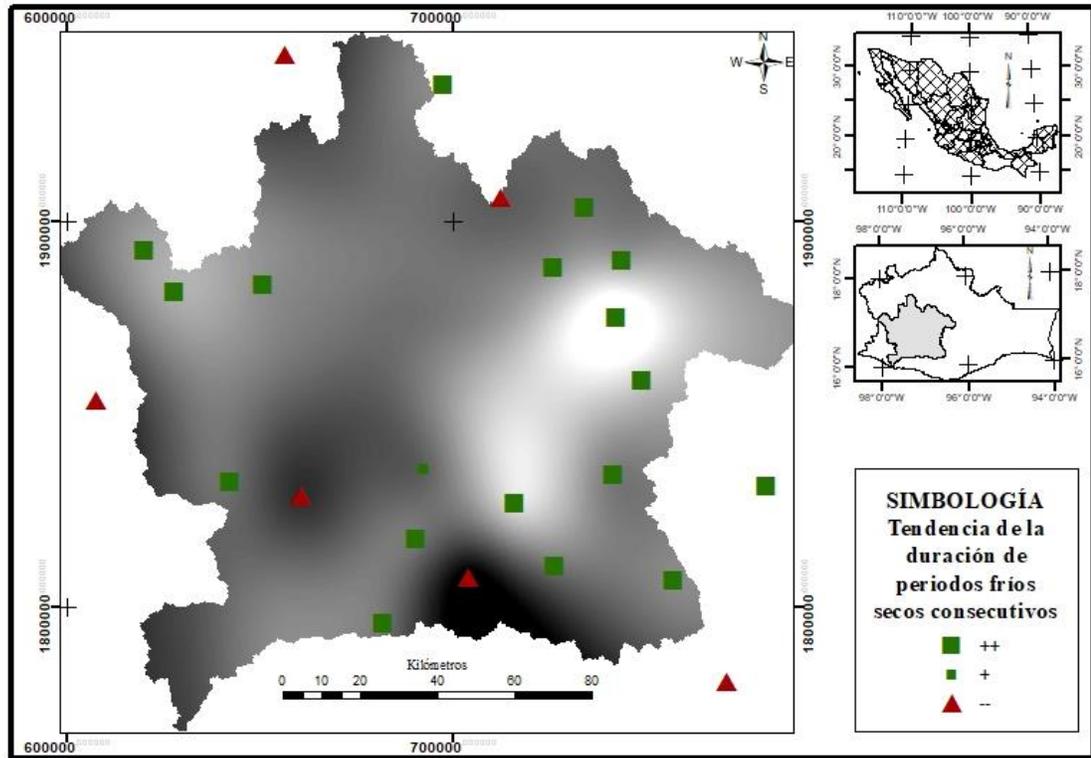


Figura 10. Tendencia en la cuenca del índice CSDI.

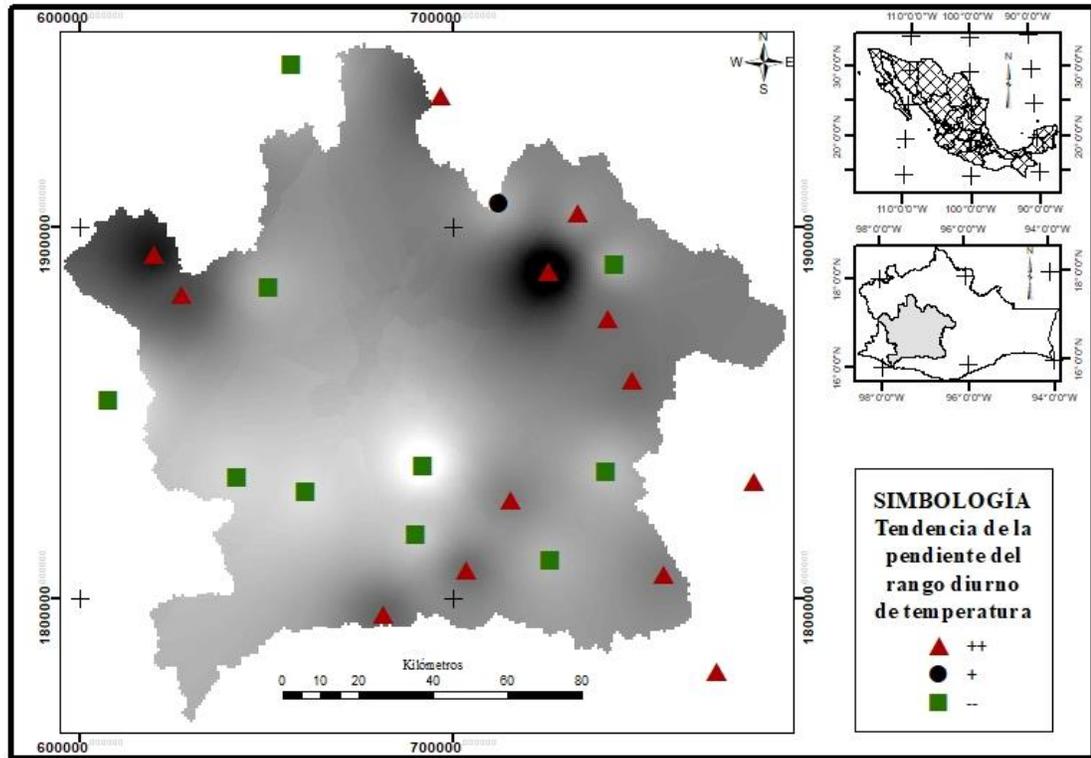


Figura 11. Tendencia en la cuenca del índice DTR.

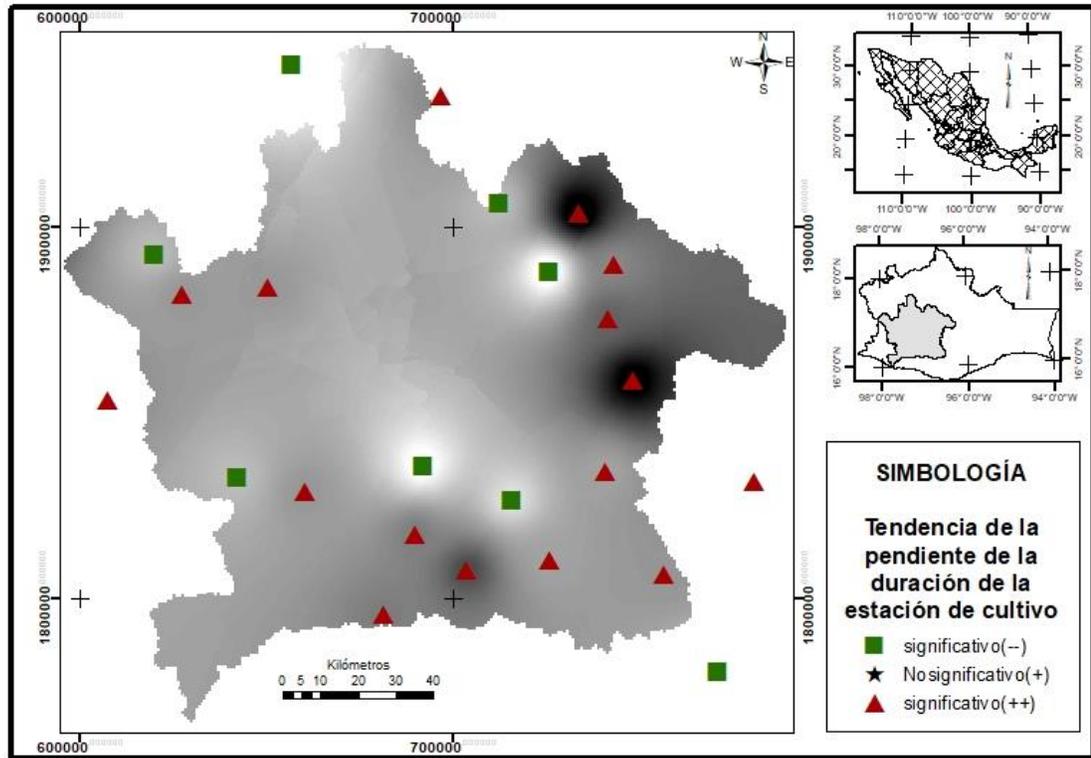


Figura 12. Tendencia en la cuenca del índice GSL.

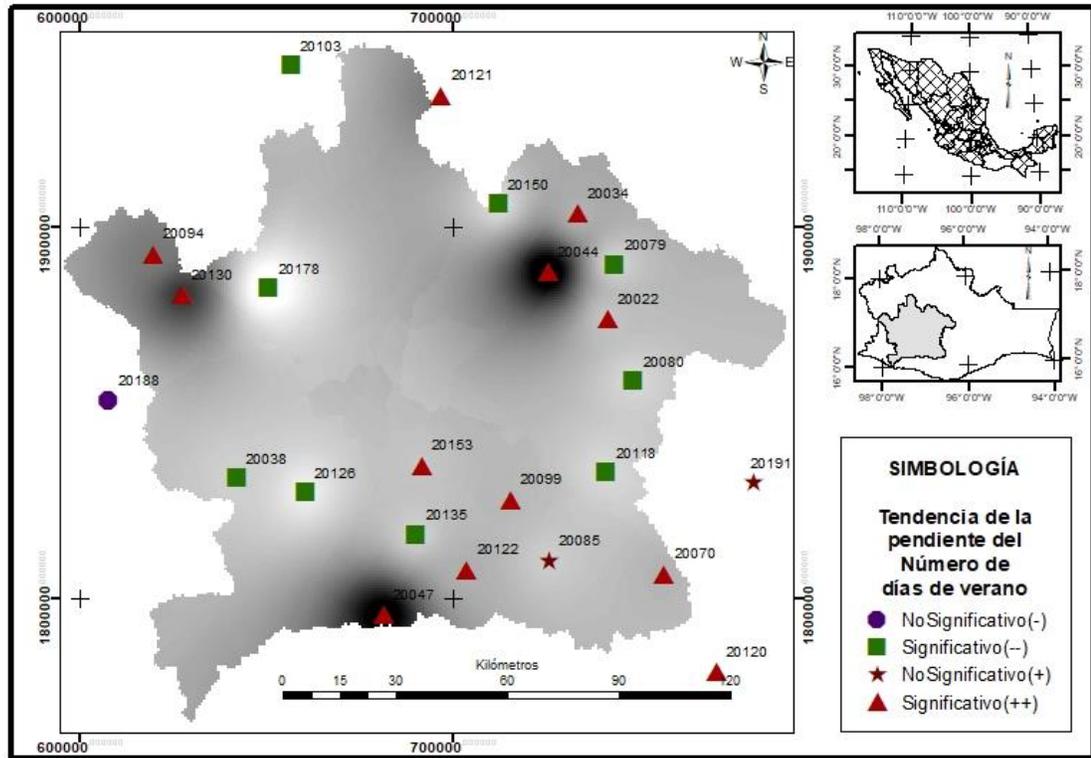


Figura 13. Tendencia en la cuenca del índice SU.

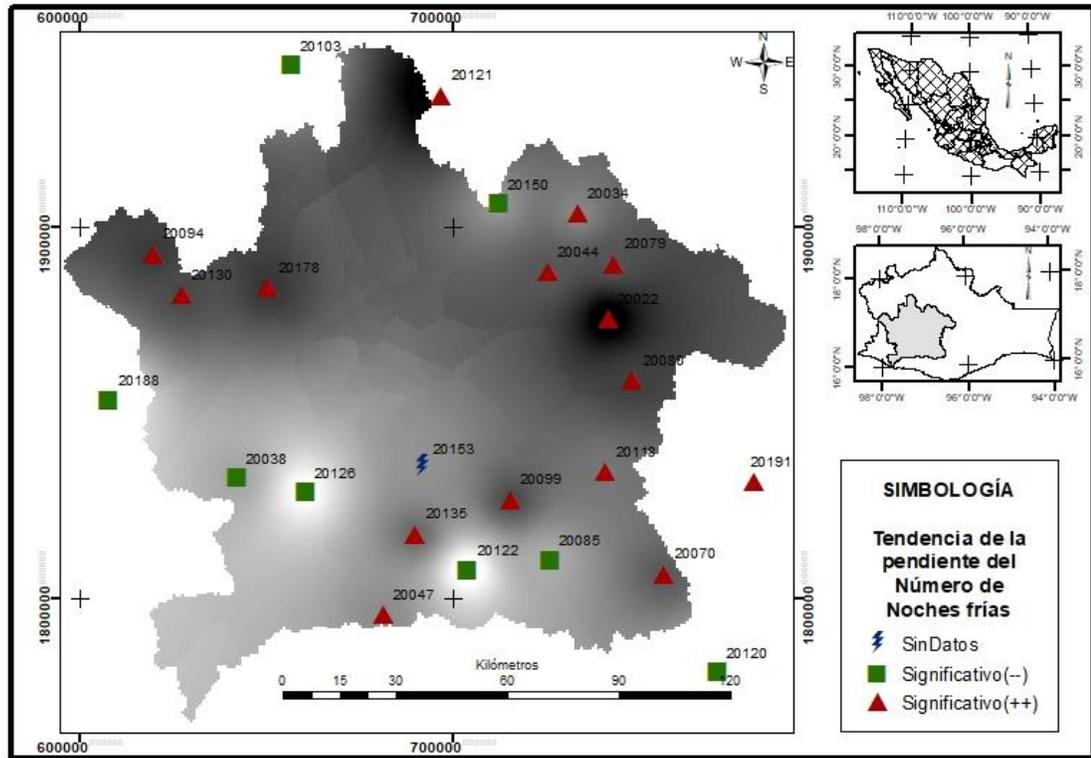


Figura 14. Tendencia en la cuenca del índice TN10P.

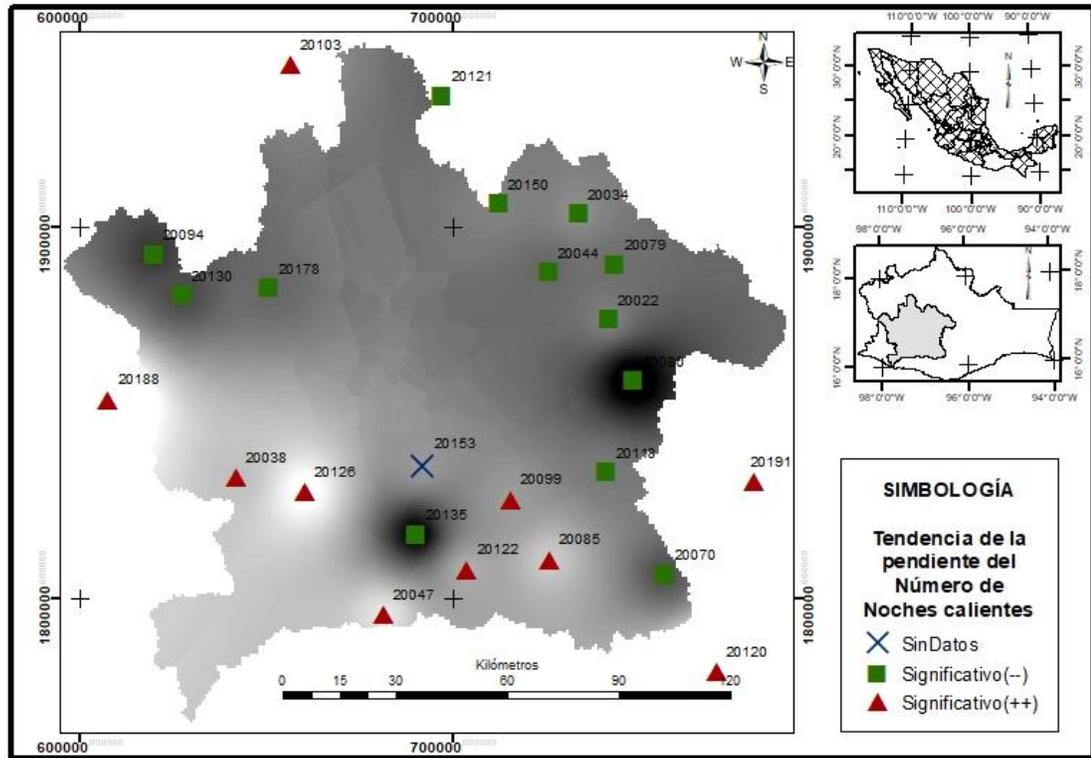


Figura 15. Tendencia en la cuenca del índice TN90P.

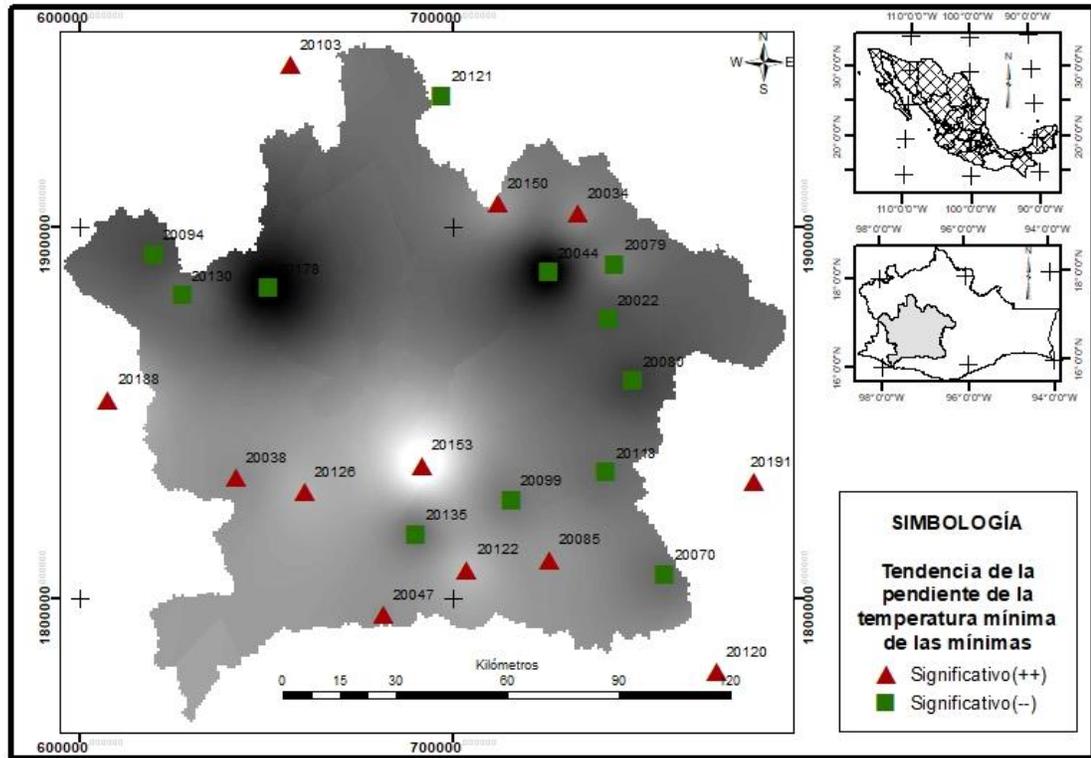


Figura 16. Tendencia en la cuenca del índice TNN.

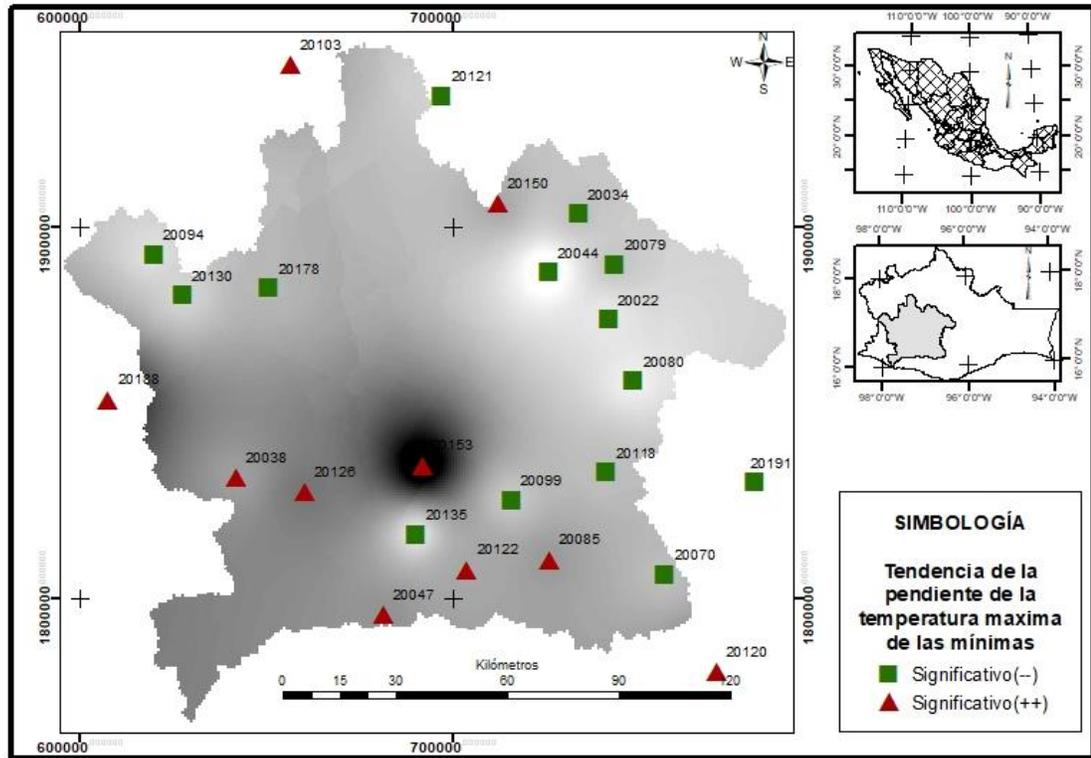


Figura 17. Tendencia en la cuenca del índice TNX.

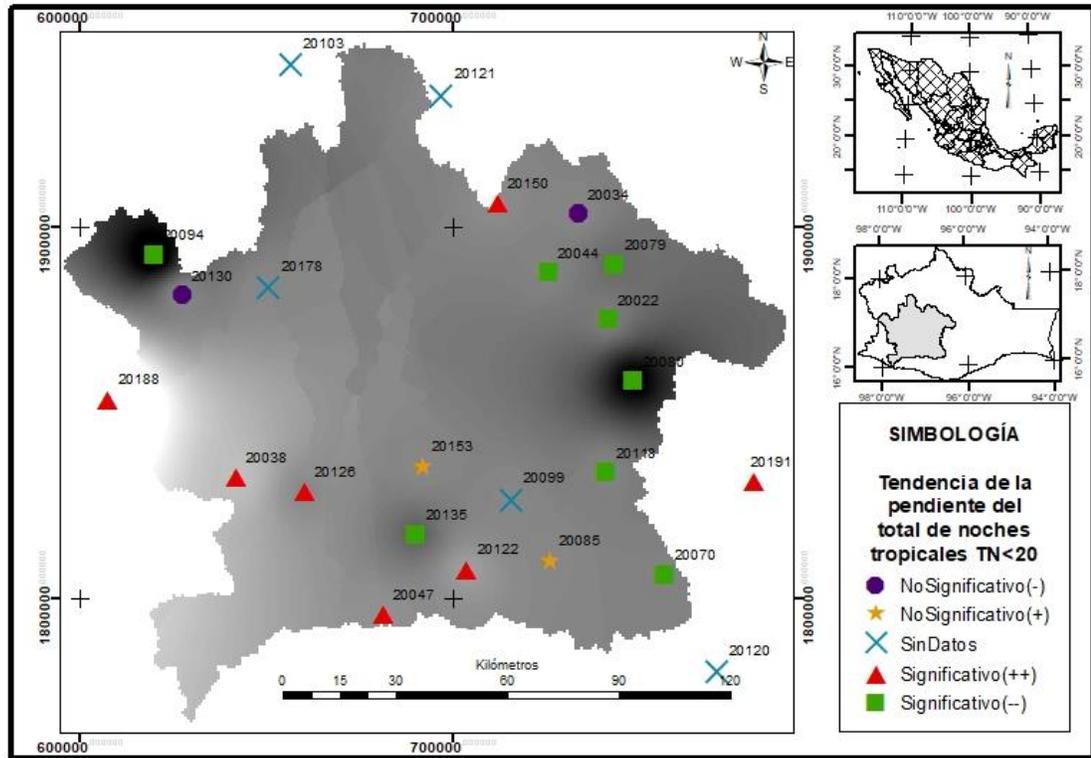


Figura 18. Tendencia en la cuenca del índice TR.

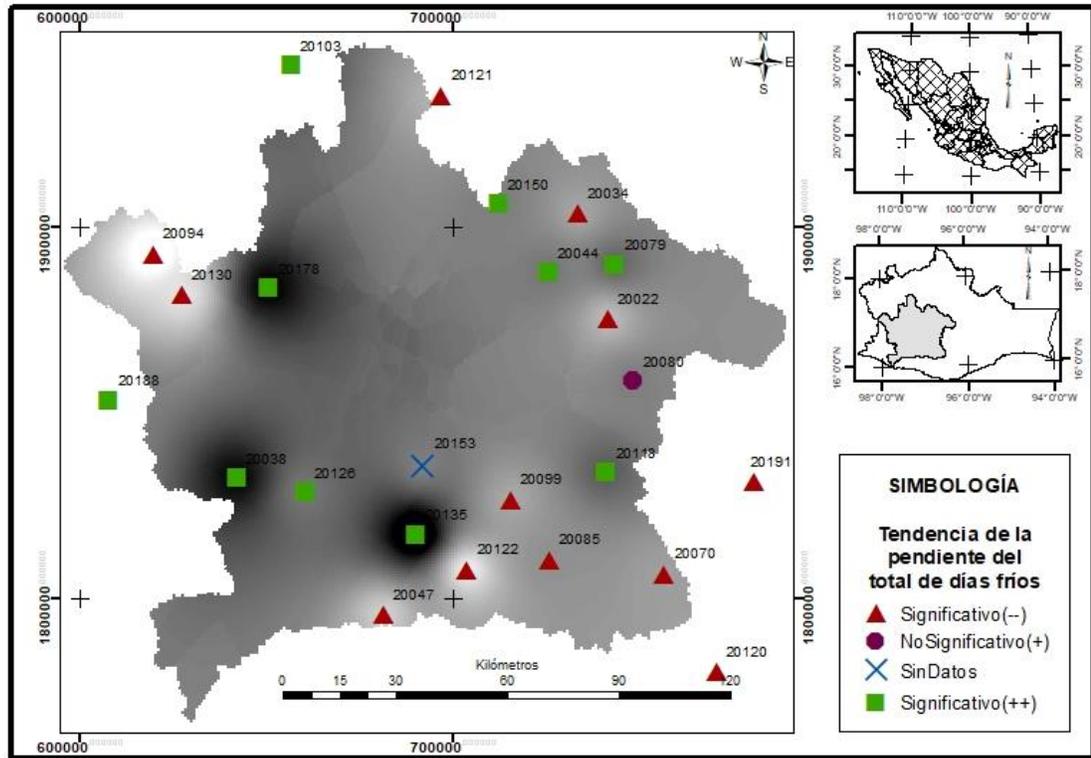


Figura 19. Tendencia en la cuenca del índice TX10P.

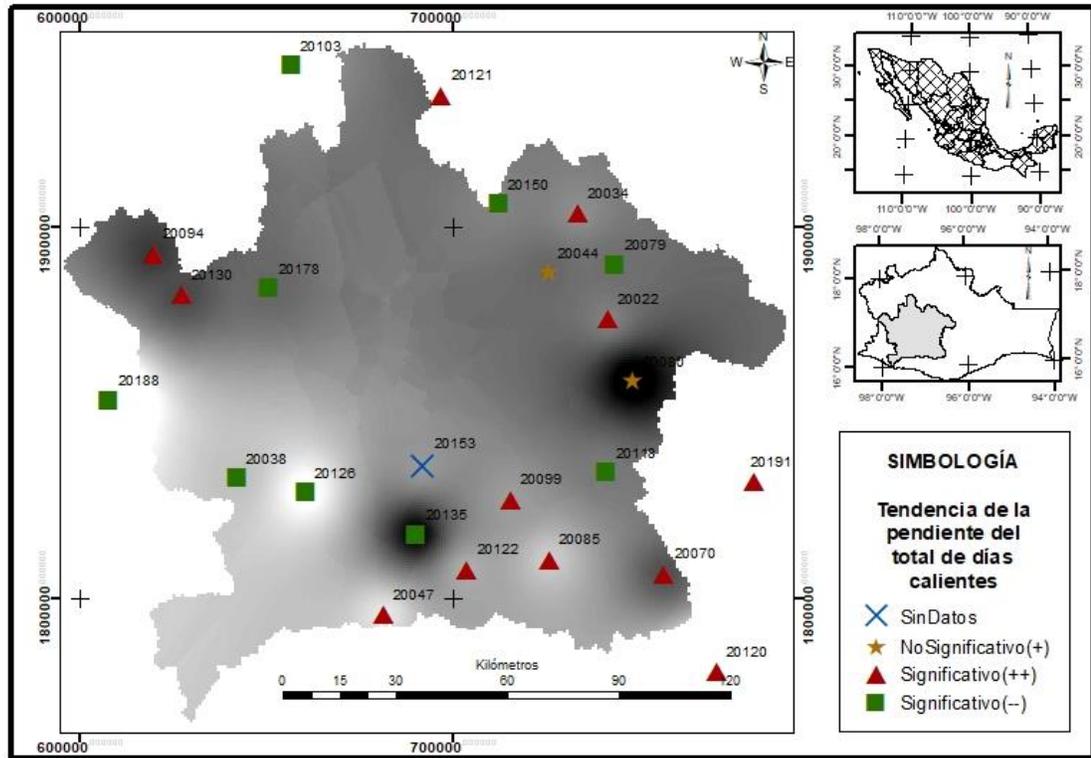


Figura 20. Tendencia en la cuenca del índice TX90P.

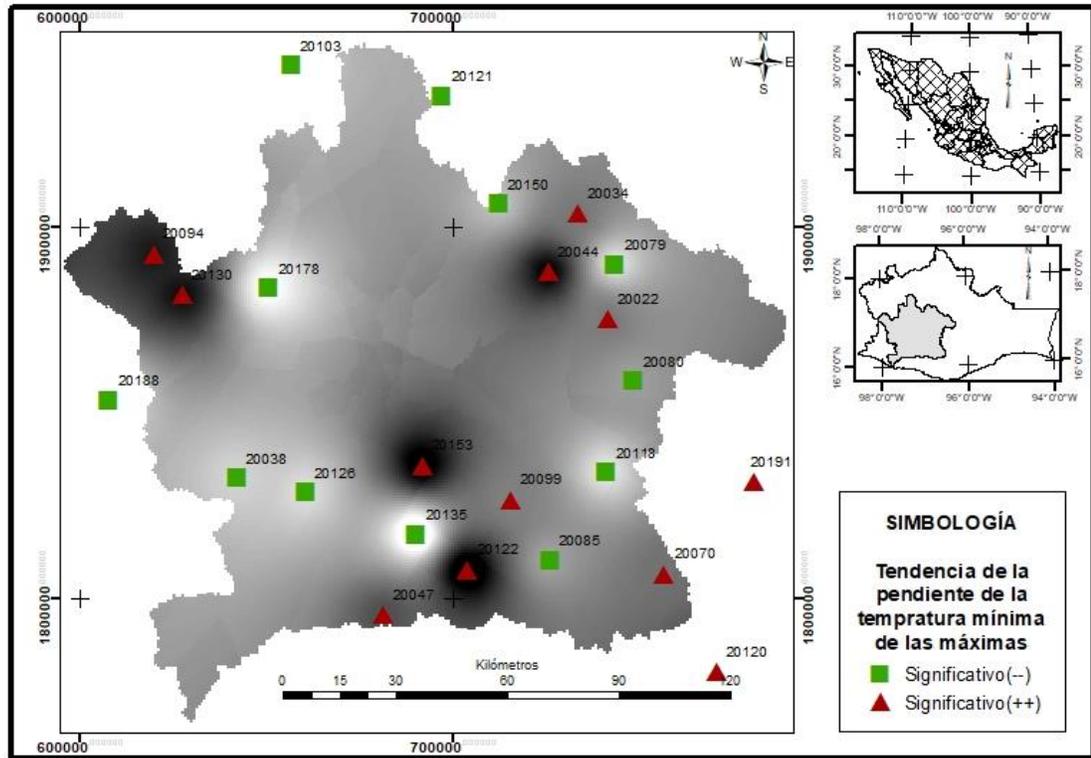


Figura 21. Tendencia en la cuenca del índice TXN.

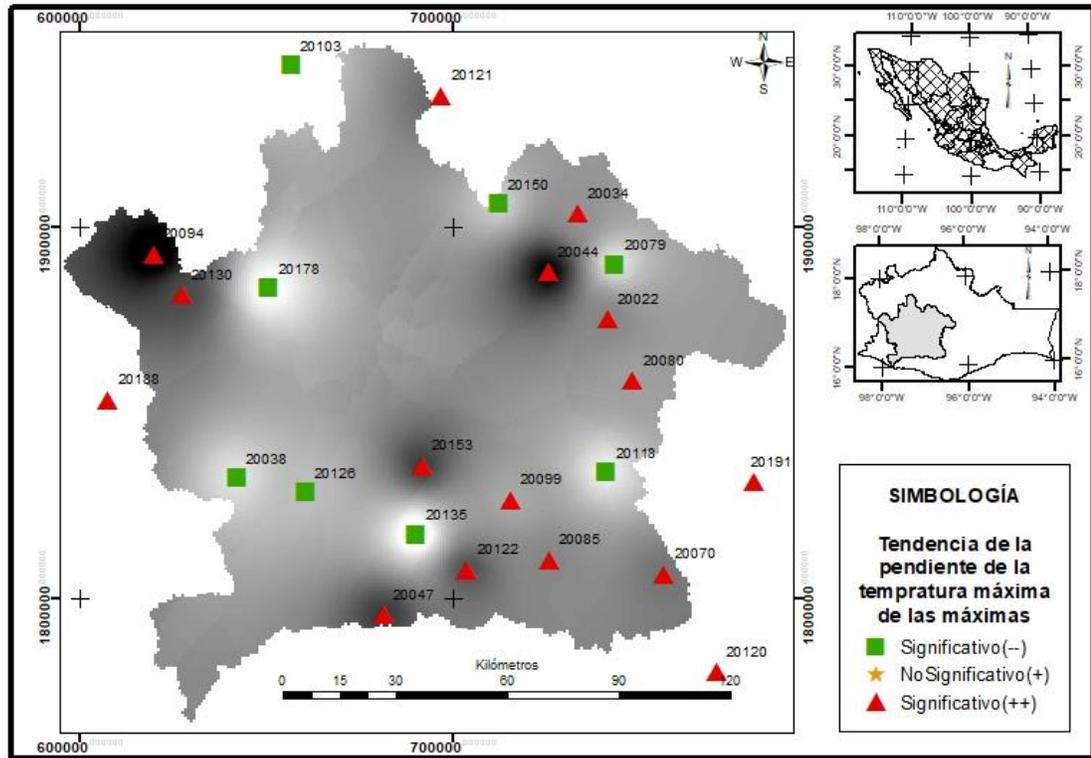


Figura 22. Tendencia en la cuenca del índice TXX.

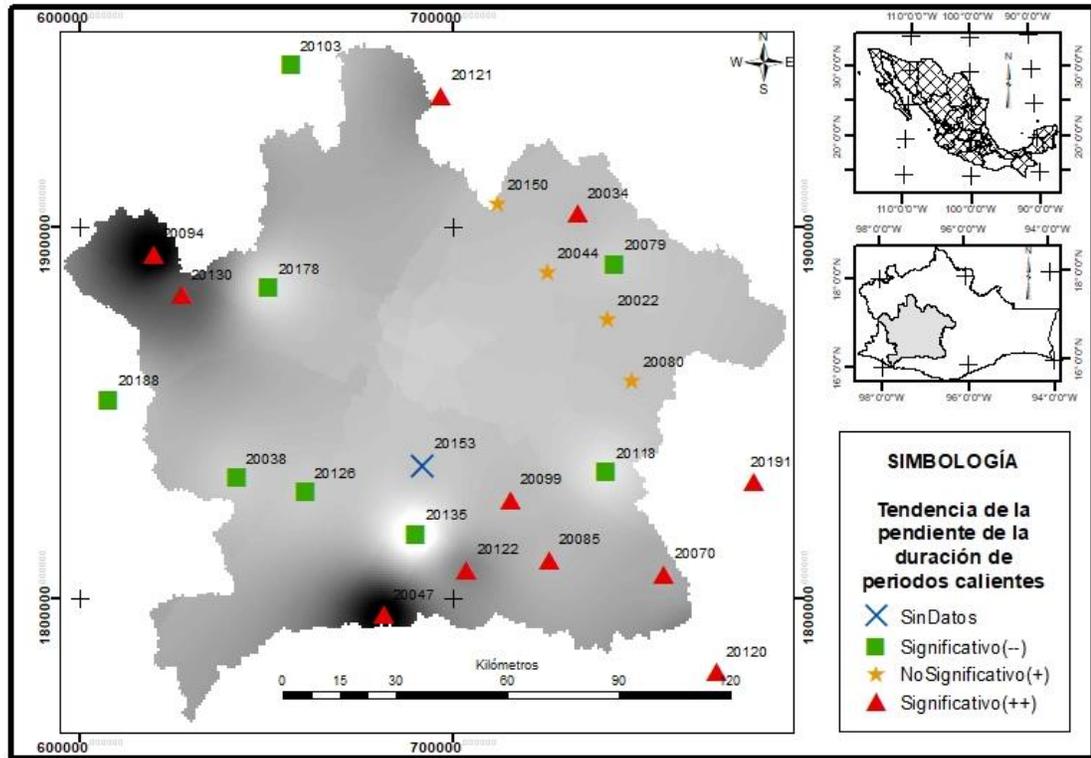


Figura 23. Tendencia en la cuenca del índice WSDI

## 5.2. ANEXO 2 Índices de precipitación

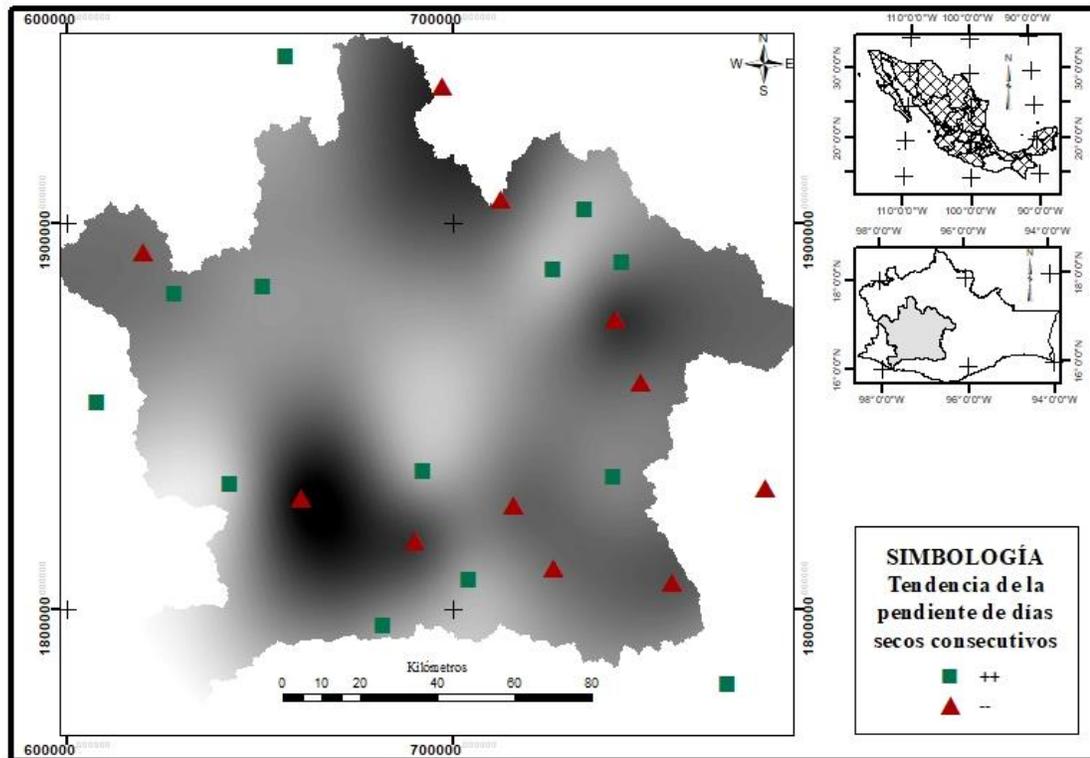


Figura 24. Tendencia en la cuenca del índice CDD.

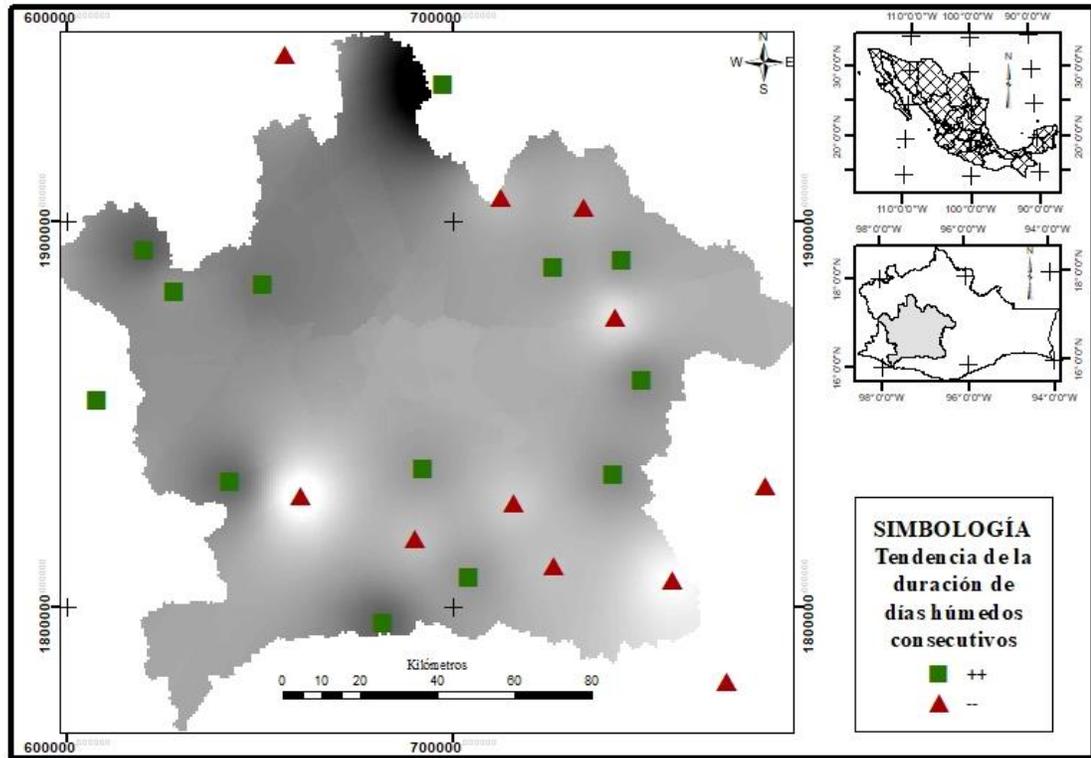


Figura 25. Tendencia en la cuenca del índice CWD.

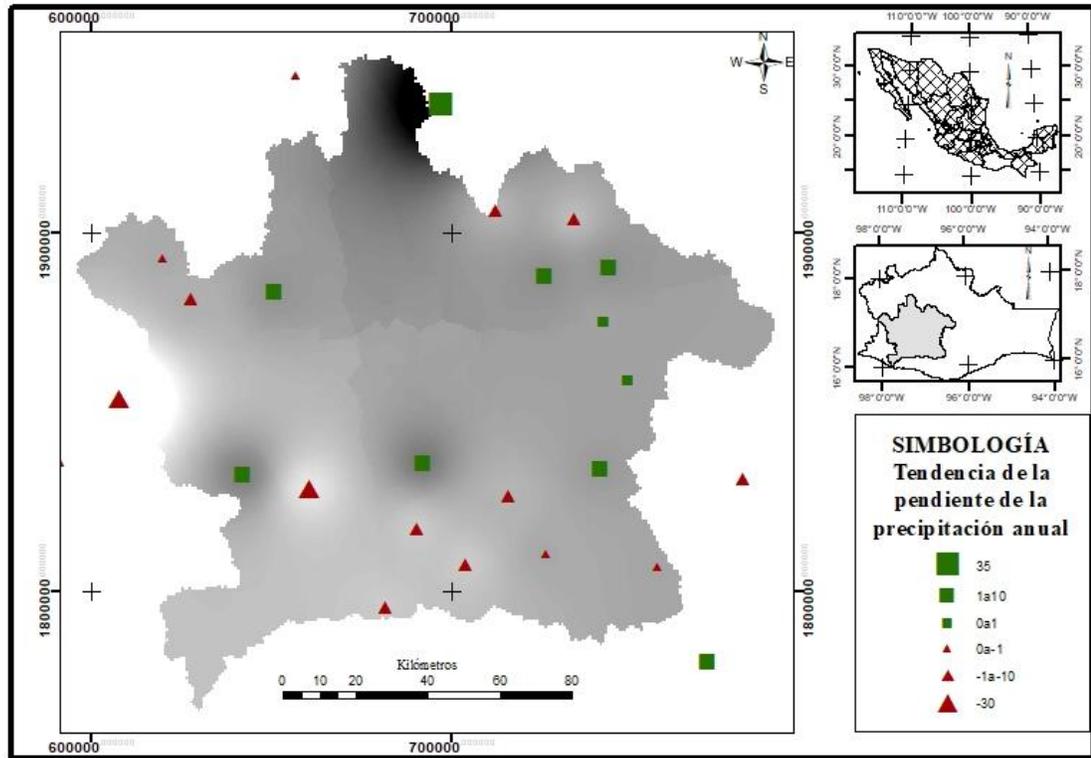


Figura 26. Tendencia en la cuenca del índice PRCPTOT.

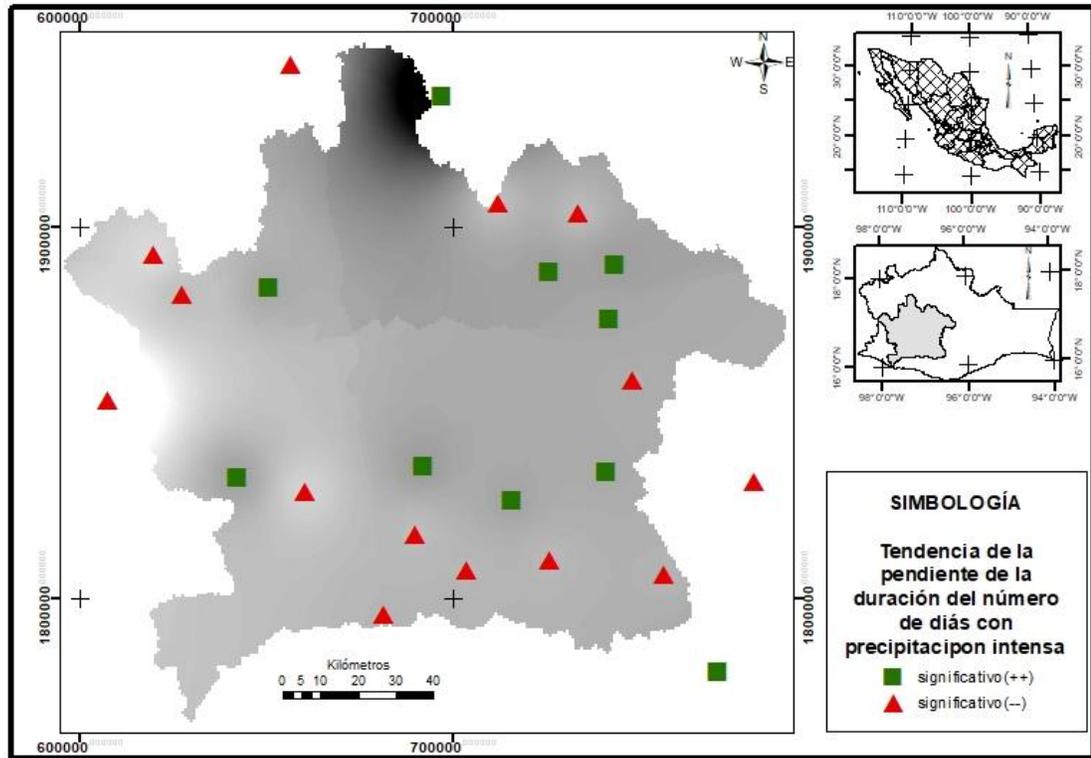


Figura 27. Tendencia en la cuenca del índice R10.

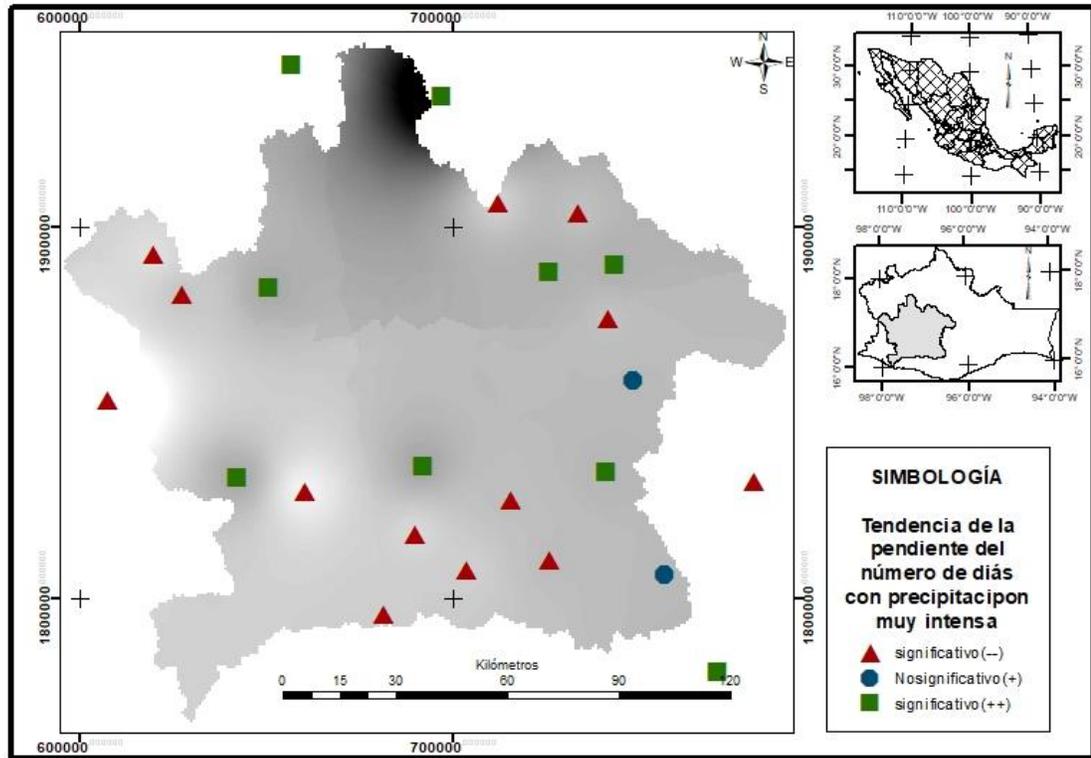


Figura 28. Tendencia en la cuenca del índice R20.

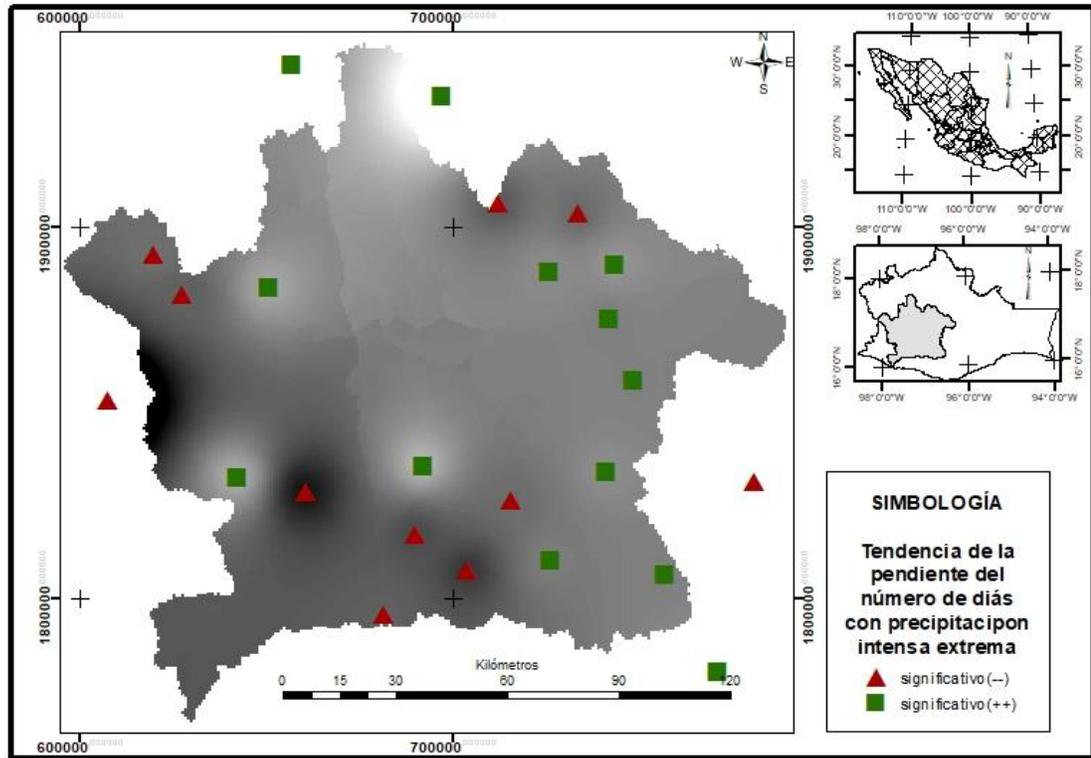


Figura 29. Tendencia en la cuenca del índice R25.

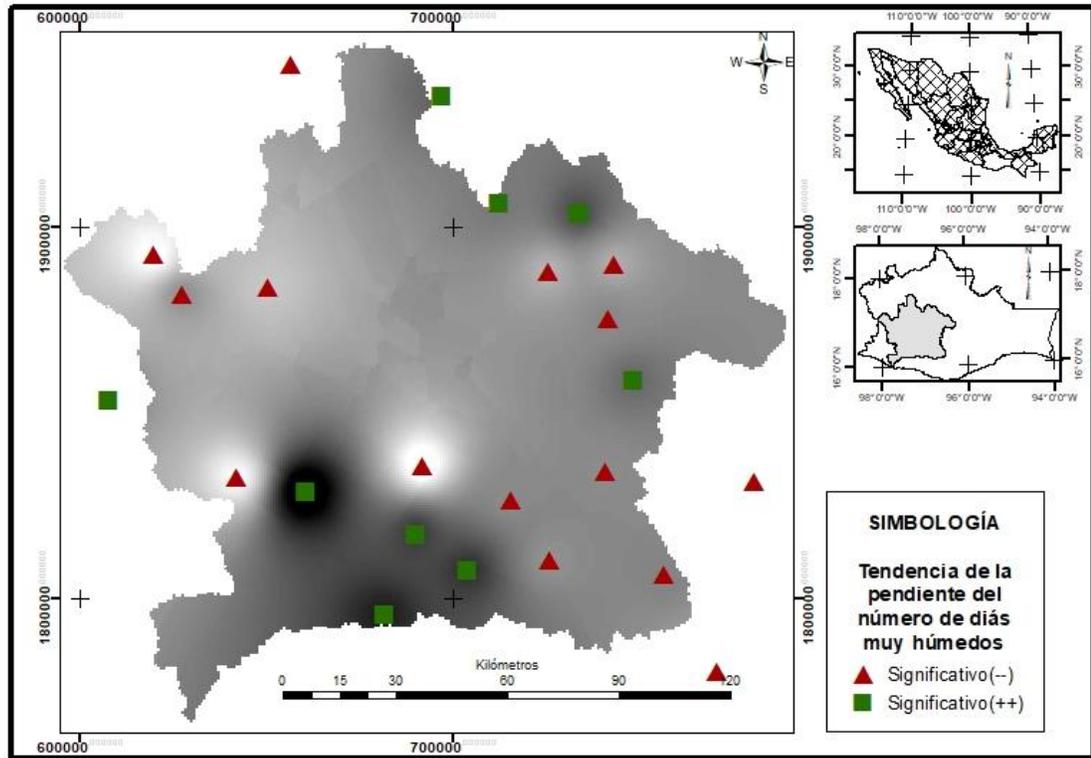


Figura 30. Tendencia en la cuenca del índice R95P.

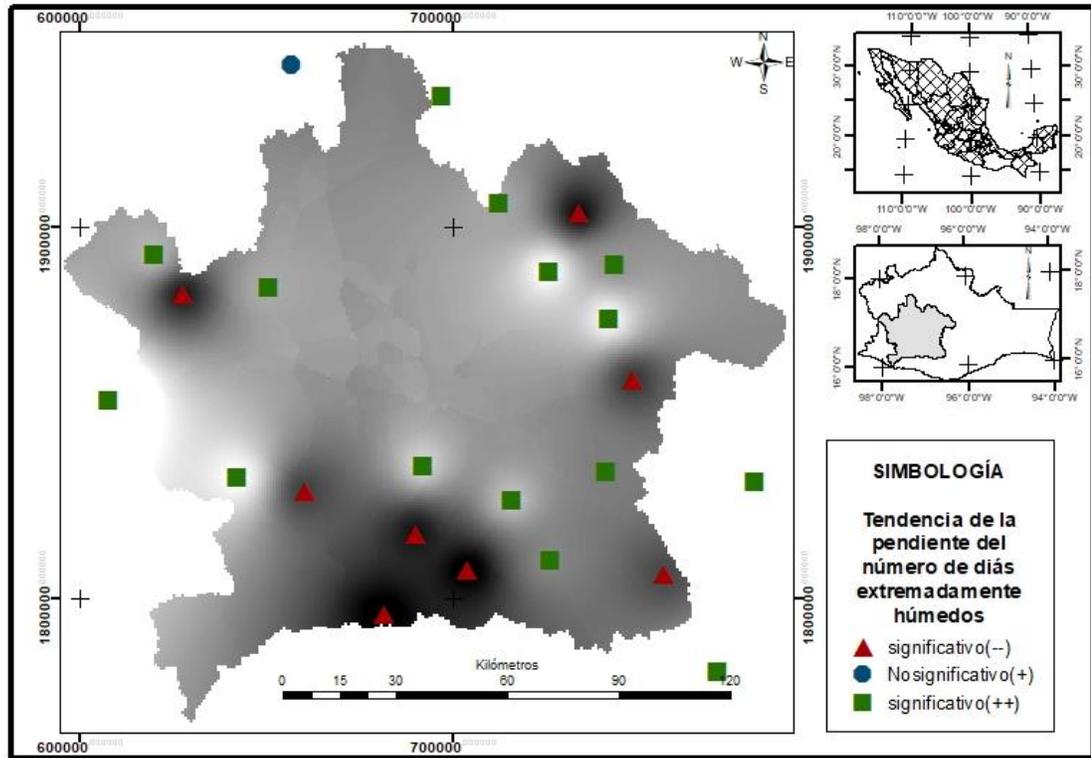


Figura 31. Tendencia en la cuenca del índice R99P.

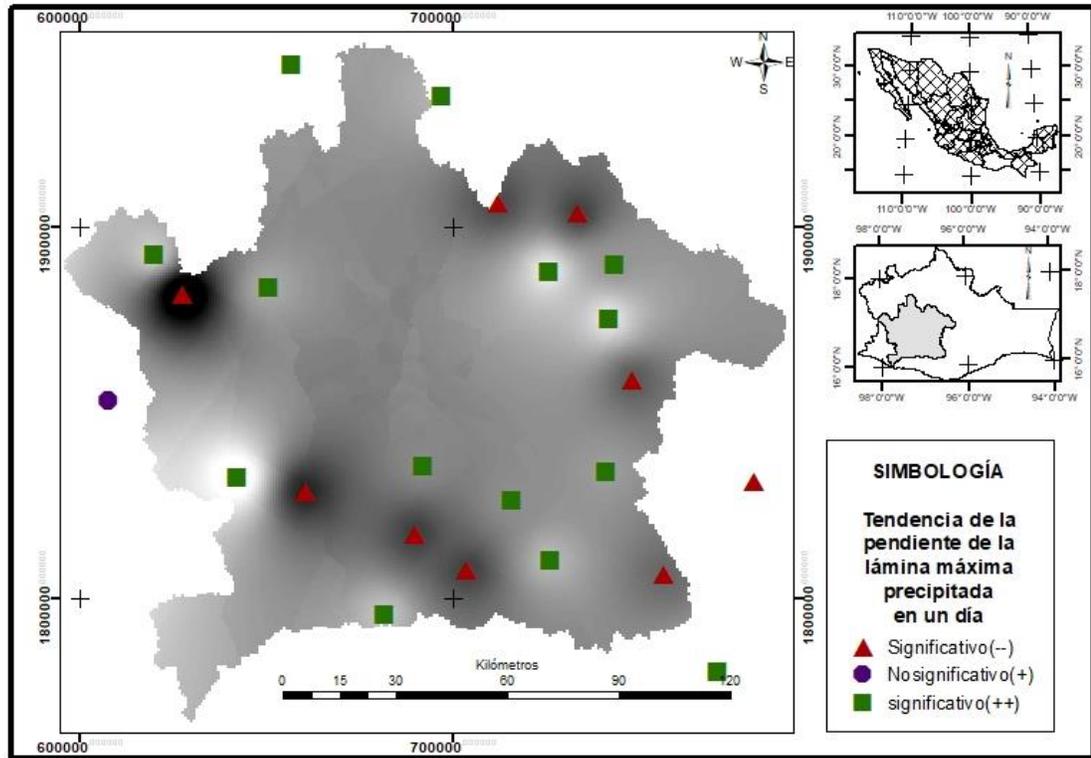


Figura 32. Tendencia en la cuenca del índice Rx1day.

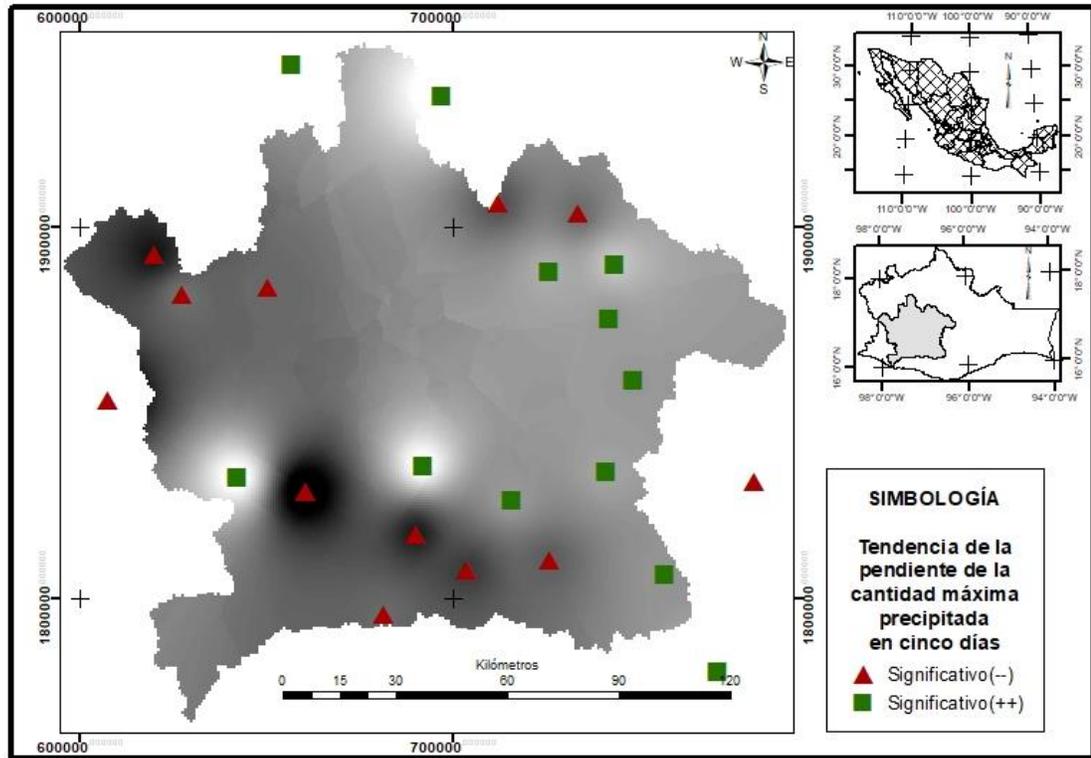


Figura 33. Tendencia en la cuenca del índice Rx5day.

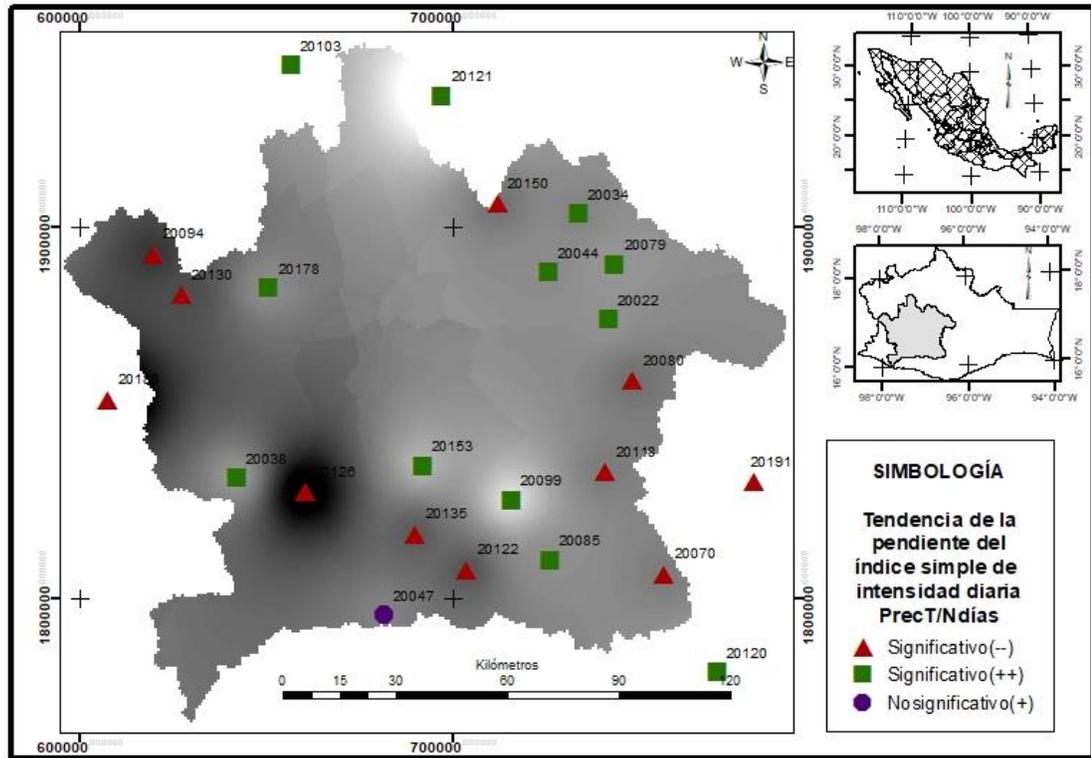


Figura 34. Tendencia en la cuenca del índice SDII.

### 5.3. ANEXO 3 Tendencia de las pendientes por estación

Cuadro 8. Estaciones por cada tendencia de pendientes de los índices.

ÍNDICE	Significativo (++)	Significativo (--)	No Significativo (-)	No Significativo (+)	Sin Datos
CDD	17	12	0	0	0
CSDI	20	7	0	0	2
CWD	15	14	0	0	0
DTR	16	12	0	0	1
FD	2	6	0	1	20
GSL	19	9	0	0	1
PRCPTOT	13	16	0	0	0
R10mm	12	16	0	1	0
R20mm	12	15	0	1	1
R25mm	17	12	0	0	0
R95P	20	9	0	0	0
R99P	19	9	0	1	0
RX1day	19	9	0	1	0
RX5day	16	13	0	0	0
SDII	16	12	0	1	0
SU	14	10	1	4	0
TN10p	18	9	0	0	2
TN90p	11	16	0	0	2
TNn	14	15	0	0	0
TNx	13	16	0	0	0
TR	8	10	2	3	6
TX10p	10	15	0	1	3
TX90P	14	11	0	2	2
TXn	15	14	0	0	0
TXx	19	9	0	0	1
WSDI	13	10	0	4	2