



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“ANÁLISIS DE ÍNDICES CLIMÁTICOS PARA LA
IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS AGRÍCOLAS EN
MUNICIPIOS DE PUEBLA”**

Tesis que para obtener el grado de

Licenciado en Ingeniería Ambiental

Presenta:

José Gustavo Ramírez Suárez

Directora de Tesis:

Dra. María de los Ángeles Velasco Hernández

Asesores de Tesis:

Dr. Tomás Morales Acoltzi

Dra. María De Lourdes Saldaña Blanco

Dra. Ma Dolores Guevara Espinosa

Octubre 2020

ÍNDICE

Página

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

1.1. Cambio climático.....	10
1.1.1. El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) y la agricultura.....	11
1.2. Cambio climático y la agricultura.....	12
1.3. Resiliencia.....	14
1.4. Riesgos agrícolas.....	15
1.5. Índices climáticos.....	16
1.6. Escenarios del cambio climático.....	17
1.7. Vulnerabilidad y adaptación.....	17

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

2.1 Calidad de datos.....	20
2.2. Procedimiento para calcular los índices de cambio climático.....	21
2.3 Cálculo de los índices del cambio climático.....	22

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Municipio de Acatzingo.....	26
3.1.1 Características del lugar.....	26
3.1.2 Índice climático: Días secos consecutivos.....	27
3.1.3 Índice climático: Días húmedos consecutivos.....	28
3.1.4 Índice climático: Días de heladas.....	29
3.1.5 Índice climático: Precipitación total.....	30
3.1.6 Índice climático: Días con precipitación intensa	31
3.1.7 Índice climático: Días de verano.....	32

3.2 Municipio de Chilchotla.....	33
3.2.1 Características del lugar.....	33
3.2.2 Índice climático: Días secos consecutivos.....	34
3.2.3 Índice climático: Días húmedos consecutivos.....	35
3.2.4 Índice climático: Días de heladas.....	36
3.2.5 Índice climático: Precipitación total.....	37
3.2.6 Índice climático: Número de días con precipitación de 10 mm.....	38
3.2.7 Índice climático: Días de verano.....	39
3.3 Ciudad Serdán (Municipio de Chalchicomula de Sesma).....	40
3.3.1 Características del lugar.....	40
3.3.2 Índice climático: Días secos consecutivos.....	41
3.3.3 Índice climático: Días húmedos consecutivos.....	42
3.3.4 Índice climático: Días de heladas.....	43
3.3.5 Índice climático: Precipitación total.....	44
3.3.6 Índice climático: Número de días con precipitación intensa.....	45
3.3.7 Índice climático: Días de verano.....	46
3.4 Municipio de Palmar de Bravo	47
3.4.1 Características del lugar.....	47
3.4.2 Índice climático: Días secos consecutivos.....	48
3.4.3 Índice climático: Días húmedos consecutivos.....	49
3.4.4 Índice climático: Días de heladas.....	50
3.4.5 Índice climático: Precipitación total.....	50
3.4.6 Índice climático: Número de días con precipitación intensa.....	51
3.4.7 Índice climático: Días de verano.....	52
3.5 Municipio de Tepeyahualco: estación Alchichica.....	53
3.5.1 Características del lugar.....	53
3.5.2 Índice climático: Días secos consecutivos.....	54
3.5.3 Índice climático: Días húmedos consecutivos.....	55

3.5.4 Índice climático: Días de heladas.....	56
3.5.5 Índice climático: Precipitación total.....	57
3.5.6 Índice climático: Número de días con precipitación intensa.....	58
3.5.7 Índice climático: Días de verano.....	59
3.6 Municipio de Guadalupe Victoria.....	60
3.6.1 Características del lugar.....	60
3.6.2 Índice climático: Días secos consecutivos.....	61
3.6.3 Índice climático: Días húmedos consecutivos.....	62
3.6.4 Índice climático: Días de heladas.....	63
3.6.5 Índice climático: Precipitación total.....	64
3.6.6 Índice climático: Número de días con precipitación intensa.....	65
3.6.7 Índice climático: Días de verano.....	66
3.7 Municipio de Guadalupe Victoria: estación Guadalupe Buena Vista.....	67
3.7.1 Índice climático: Días secos consecutivos.....	67
3.7.2 Índice climático: Días húmedos consecutivos.....	68
3.7.3 Índice climático: Días de heladas.....	69
3.7.4 Índice climático: Precipitación total.....	70
3.7.5 Índice climático: Número de días con precipitación intensa.....	71
3.7.6 Índice climático: Días de verano.....	72
3.8 Municipio de Guadalupe Victoria: estación El Progreso.....	73
3.8.1 Índice climático: Días secos consecutivos.....	73
3.8.2 Índice climático: Días húmedos consecutivos.....	74
3.8.3 Índice climático: Días de heladas.....	75
3.8.4 Índice climático: Precipitación total.....	76
3.8.5 Índice climático: Número de días con precipitación intensa.....	77
Índice Climático: Días de verano.....	78
3.9 Análisis de estudio del 2014-2018 en seis municipios del estado de Puebla.....	79

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

INTRODUCCIÓN

La población mundial continúa creciendo y cada vez más se requieren alimentos que permitan una vida saludable. Sin embargo, el cambio climático afecta globalmente a la agricultura porque ocasiona una disminución de los rendimientos y disminuye la calidad de los cultivos, debido al incremento de las temperaturas y reducción de la precipitación pluvial o cambió la distribución de ésta; así como la erosión del suelo, menor disponibilidad de tierras y agua, que se refleja en la inseguridad alimentaria (Piña, 2020)

Este siglo XXI, se considera que el cambio climático afectará de manera negativa el crecimiento económico, afectando así a la seguridad alimentaria y teniendo un crecimiento en la pobreza (Field *et al.*, 2014). El efecto que tendrá el cambio climático en el planeta será distinto entre países inclusive dentro de un mismo país, el resultado será distinto entre zonas y ciudades, ya que estos efectos dependerán tanto de las condiciones naturales como de las condiciones antropogénicas, también habrá respuesta ante el cambio de estas condiciones con respecto al tiempo (Mendelson y Dinar, 1999).

Los países en vías de desarrollo serán los más vulnerables al cambio climático, ya que muchos de estos países dependen más de la agricultura que los países desarrollados, también existen otros factores como tener menos recursos para tomar medidas de adaptación y que en varios casos estas naciones están mayormente expuestas a eventos climáticos extremos y a niveles de calor muy elevados (Fischer *et al.*, 2005). En estos países que se encuentran en vías de desarrollo, los agricultores van a ser muy afectados ya que en muchos casos no tienen acceso a insumos, recursos, información y tecnologías para adaptarse a estos cambios (Birthal *et al.*, 2014).

Planteamiento del problema

La agricultura es el conjunto de conocimientos aplicados a la tierra por medio de técnicas para poder desarrollar cultivos de vegetales, frutas, hortalizas y cereales. Esta actividad no sólo tiene como meta la producción alimentaria de la población, sino también tiene aplicación para alimentar el ganado y para la industria (energética, textil, etc.).

Existen muchas formas de clasificar la agricultura, por ejemplo:

Según su dependencia de agua puede existir la agricultura de temporal y de riego; según su giro comercial puede ser de subsistencia o industrial; según el rendimiento puede ser intensiva o extensiva, entre otras clasificaciones.

En la década de los 50`s se creía que la agricultura era un sector que se daba de manera orgánica y que se utilizaba para contribuir con empleos, recursos y

alimentos para la modernización industrial (Lewis, 1954); actualmente en la visión que se tenía en el pasado sobre la agricultura ha cambiado, ahora no se toma como una actividad natural, se dice que la agricultura se ve afectada y modificada ante la tecnología, que en las naciones que están en vía de desarrollo se puede tener la misma agricultura que los países desarrollados y que la agricultura no es una actividad independiente, sino que está relacionada con otros sectores (Cervantes y Dewbre, 2010).

Este siglo XXI, se considera que el cambio climático afectará de manera negativa el crecimiento económico, afectando así a la seguridad alimentaria y teniendo un crecimiento en la pobreza (Field *et al.*, 2014). El efecto que tendrá el cambio climático en el planeta será distinto entre países inclusive dentro de un mismo país, el resultado será distinto entre zonas y ciudades, ya que estos efectos dependerán tanto de las condiciones naturales como de las condiciones antropogénicas, también habrá respuesta ante el cambio de estas condiciones con respecto al tiempo (Mendelson y Dinar, 1999).

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático o también conocido por sus siglas en inglés IPCC, menciona que el cambio climático afectará el ingreso del sector agrícola afectando fuertemente las zonas rurales (Field *et al.*, 2014). También habrán impactos sobre la disponibilidad y acceso a alimentos, sino que también afectará el costo y precio (López Feldman y Hernández, 2016).

Los países en vías de desarrollo serán los más vulnerables al cambio climático, ya que muchos de ellos dependen más de la agricultura que los países desarrollados, también existen otros factores como tener menos recursos para tomar medidas de adaptación y que en varios casos estas naciones están mayormente expuestas a eventos climáticos extremos y a niveles de calor muy elevados (Fischer *et al.*, 2005). En estos países que se encuentran en vías de desarrollo, los agricultores van a ser muy afectados ya que en muchos casos no tienen acceso a insumos, recursos, información y tecnologías para adaptarse a estos cambios (Birthal *et al.*, 2014).

Por lo anterior, sería interesante realizar un estudio sobre los índices climáticos, para identificar posibles riesgos agrícolas en relación a eventos de EL NIÑO y LA NIÑA, en algunos municipios del estado de Puebla, para conocer la vulnerabilidad y adaptación.

Justificación

La importancia de conocer los índices climáticos en la agricultura, es primordial, debido a que el sector agrícola está siendo afectado negativamente, por los cambios que el planeta que está sufriendo, gracias al mal manejo de actividades tanto antropogénica y naturales. También es importante dar propuestas y soluciones sobre cómo podemos revertir estos cambios.

El conocimiento del clima en el planeta y su cambio es de suma importancia para el análisis de la vulnerabilidad ante el cambio climático y para determinar como el planeta se va a adaptar. Una comparación entre las condiciones actuales y las que se presentarán bajo algún cambio climático va a permitir la cuantificación y la identificación del grado de vulnerabilidad de los lugares que se verán afectados (disminución de los rendimientos agrícolas y de los niveles de agua) (Magaña *et al.*, 2000).

Los avances en la agricultura también han degradado al ambiente, en los próximos 30 años la necesidad de alimentos se va a duplicar, el nuevo reto del ser humano será el de satisfacer las nuevas demandas de una mayor población con una menor cantidad de agua y de tierra agrícola (Armendáriz-Erives, 2007).

Uno de los efectos del cambio climático, será el aumento de temperatura lo cual causará un aumento de evaporación y evotranspiración, disminución de escurrimientos y de precipitación, estos cambios tendrán un efecto de desertificación y redistribución del recurso hídrico (Sánchez-Salazar y Martínez-Galicia, 2006).

La vulnerabilidad ante el cambio climático está en función a la rapidez, magnitud y carácter de dicho cambio, también de las variaciones a las que un sistema estará expuesto. Esta vulnerabilidad tiene a ser más fuerte ante eventos que son de gran intensidad y pocos frecuentes, aunque existe mayor riesgo ante los eventos de mediana intensidad, ya que los eventos de mayor intensidad son muy extraños que ocurran y los de baja intensidad son muy comunes (Gommes, 1998).

Existen muchos eventos que afectan a la agricultura como las heladas, sequías, granizadas, lluvias torrenciales y plagas. Las heladas consisten en una disminución de la temperatura del ambiente a niveles por debajo del punto de congelación del agua logrando que también se congele el vapor de agua que se encuentra en el ambiente, existe un tipo de helada conocida como la helada negra que sucede cuando el hielo termina con la vida de cultivos y plantas (Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial, 1992).

La sequía agrícola es el resultado por la escasez de precipitaciones, cuando el suelo no contiene la humedad necesaria para desarrollar algún cultivo en diferentes etapas de crecimiento. Estas sequías no sólo dependen de las condiciones meteorológicas, donde también se ven involucradas las condiciones biológicas del cultivo y las propiedades del suelo (Marcos, 2001).

El granizo es una precipitación en estado sólido formado por grumos uniformes de hielo, los cuales asemejan a una pequeña roca, estos están formados por agua y su tamaño de diámetro va desde los 5 mm hasta los 55 mm. El granizo se forma dentro de las nubes cumulonimbos cuando hay tormentas y suelen manifestarse alrededor de los 4 km de la tormenta madre.

Una plaga es cualquier especie animal que afecta de manera perjudicial al ser humano o al medio ambiente. Las plagas agrícolas son aquellas que van a dañar a los cultivos, esta es una población de animales fitófagos (son aquellos que se alimentan de las plantas) disminuyendo la producción del cultivo, así como el valor de la cosecha (aumentando los costos de producción) (Cisneros, s.f.)

Existen algunas estrategias de adaptación ya utilizadas para combatir estos cambios en la agricultura, por ejemplo, los sistemas de cultivos múltiples los cuales tienen una mayor estabilidad y menor declinación de la productividad durante las sequías a comparación de los monocultivos. El uso de la diversidad genética local lo cual es que en un mismo campo se siembran diferentes variedades de cultivo al mismo tiempo en una zona específica, esto ha incrementado la productividad y disminuido la variabilidad de la producción. Otra estrategia es la colecta de plantas silvestres para utilizarse en caso que algún evento inesperado afecte los cultivos así destruyéndolos.

Objetivos

Objetivo General

Analizar los principales índices climáticos (días secos consecutivos, precipitación, días donde la temperatura es mayor a 25°C y días húmedos consecutivos, días donde la temperatura es 0°C y días donde la precipitación es 10 mm) de la serie de tiempo 1946-2016, para identificar riesgos agrícolas (vulnerabilidad y adaptación) en el área de estudio.

Objetivos específicos

- ✓ Aplicar la metodología del **IPCC-OMM** para clasificar la serie de tiempo
- ✓ Aplicar el software **RClimDex** para elaborar las gráficas
- ✓ Identificar que otros eventos relacionados con EL NIÑO o LA NIÑA, pudieran relacionarse y si hay otros eventos naturales históricos (huracanes, sequías, etc.).
- ✓ Analizar la información del **SIAP** para relacionar los índices climáticos con la producción sembrada y cosechada de 2014-2018.

Hipótesis

Los índices climáticos: días secos consecutivos, días húmedos consecutivos, días con heladas meteorológicas (0°C), precipitación, días donde llueve 10 mm, días donde la temperatura es mayor a 25°C y otros eventos naturales a gran escala, permiten identificar posibles riesgos agrícolas en los cultivos de seis municipios del estado de Puebla.

Por lo anterior, la pregunta de la investigación es:

¿Cuáles son los índices climáticos y otros eventos naturales de mayor escala que tienen relación con los procesos de vulnerabilidad y adaptación en base a las series de tiempo históricas de seis municipios del estado de Puebla?

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

1.1 Cambio climático

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (**CMNUCC**) define al cambio climático como un cambio que sufre el clima y que es atribuido indirecta o directamente a la actividad antropogénica que perturba la composición de la atmósfera y que se adiciona a la variabilidad natural que el clima tiene en periodos comparables de tiempo (Naciones Unidas, 1992). Desde la meteorología el cambio climático es la alteración de condiciones como la radiación proveniente del sol, la inclinación del planeta, actividad volcánica y los movimientos de la corteza terrestre (Ballesteros y Aristizabal, 2007).

El clima en el planeta está controlado por factores provenientes de la radiación y por la interacción que tendrán los diferentes componentes de la tierra como la atmósfera, litosfera, criósfera, antropósfera. La atmósfera está compuesta en su mayor parte de nitrógeno (78%) y oxígeno (20%) % aerosoles y vapor de agua en (1%) argón en mucho menor cantidad (0.93) helio y dióxido de carbono en (0.035%) (Ballesteros y Aristizabal, 2007).

El planeta tierra obtiene energía desde el sol, ésta llega en forma de radiación, aunque una pequeña parte de esta radiación es absorbida por los gases que se forman en la atmosfera, la mayoría de la radiación se refleja en la tierra y/o es absorbida por las nubes, se puede decir que la atmósfera es transparente a la radiación que viene del sol, sin embargo, la atmósfera no es transparente a la radiación del planeta, siendo así que ésta se queda almacenada en la tierra con la característica que es transparente y opaca haciendo que la atmósfera actúe como un invernadero manteniendo una mayor temperatura dentro de la tierra que la temperatura en la atmósfera (Barros, 2004).

Uno de los efectos del cambio climático, será el aumento de temperatura lo cual causará un aumento de evaporación y evotranspiración, disminución de escurrimientos y de precipitación, estos cambios tendrán un efecto de desertificación y redistribución del recurso hídrico (Sánchez-Salazar y Martínez-Galicia, 2006).

La atmósfera tiene como componentes algunos gases como vapor de agua, dióxido de carbono, óxido nitroso y metano, estos gases absorben gran parte de la radiación aumentando su concentración con esto la temperatura de la tierra aumenta y es poca la radiación que regresa al espacio exterior, por esta razón se les llaman a estos gases, gases de efecto invernadero (**GEI**) (Barros 2004).

Los **GEI** son formado tanto de forma natural como de materia antropogénica, estos emiten y absorben la radiación en ciertas longitudes de onda (infrarroja) causando cambios en el clima del planeta. Hay factores que determinan al clima, estos factores son físicos y geográficos y se encuentran constantes en el espacio y tiempo afectando la transferencia de calor y energía con respecto al clima. Estos factores pueden ser la distancia al mar, elevación, latitud, cobertura vegetal, glaciares, corrientes marinas, cuerpos de agua y actividad humana. Los principales gases de efecto invernadero es el óxido nitroso, metano, vapor de agua, dióxido de carbono y el ozono pero también hay muchos más GEI creados por el hombre como los compuestos de halocarbonos, estos compuestos son aquellos que contienen cloro, carbono, flúor o bromo y actúan como gases muy potentes de efecto invernadero, estos halocarbonos también están relacionados con la destrucción de la capa de ozono en la atmósfera; el protocolo de Montreal es el que reclusa estos compuestos halocarbonos y en el protocolo de Kyoto se establecieron reglas sobre el uso de compuestos como los hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y el hexafluoruro de azufre (Ballesteros y Aristizabal, 2007).

Por esto se tiene que demostrar y comprobar cualquier cambio detectado en algún extremo climático de manera estadística y tiene que ser un valor significativo en los cambios que se hayan encontrado en un lapso de tiempo determinado, estos cambios se les atribuyen a los mecanismos que fuerzan cambios en el clima como los GEI, actividad volcánica y la radiación del sol (Gutowski *et al.* 2008).

Los gases de efecto invernadero están clasificados como directos o indirectos, lo GEI indirectos son los precursores del ozono y otros contaminantes provenientes del aire como el óxido de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles. Los GEI directos son los gases que aportan al efecto invernadero tal y como son emitidos a la atmósfera como por ejemplo el dióxido de carbono, óxido nitroso y compuestos halogenados (Ballesteros y Aristizabal, 2007).

1.1.1 El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) y la agricultura

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático o también conocido por sus siglas IPCC es el grupo intergubernamental de expertos del clima y fue creado por el programa de las Naciones Unidas para el Medio ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en el año de 1988 y tienen el trabajo de analizar la información científica, socioeconómica y técnica para comprender el riesgo que conlleva el cambio climático provocado por las actividades humanas, sus consecuencias y las estrategias de adaptación y asistir en todo lo que se pueda a la Convención Marco sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas y a la Conferencia de las Partes (CP). El IPCC trabaja basando su evaluación en la literatura científica y los estudios hechos, ellos no realizan investigaciones, sólo analizan datos. El IPCC hace una evaluación cada cierto tiempo de la información nueva sobre el cambio climático, también hacen documentos técnicos e informes

especiales sobre los temas relacionados al cambio climático con ayuda de científicos especializados (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2020).

El IPCC definen al cambio climático como cualquier cambio que pueda existir en el clima con respecto al tiempo, ya sea por consecuencia antropogénica o natural. También menciona que el cambio climático afectará el ingreso del sector agrícola afectando fuertemente las zonas rurales (Field *et al.*, 2014). También habrá impactos sobre la disponibilidad y acceso a alimentos, sino que también afectará el costo y precio (López Feldman y Hernández, 2016).

La producción de alimentos a nivel mundial se verá afectada gracias al cambio y variabilidad del clima gracias a los niveles elevados de CO₂, las altas temperaturas, las alteraciones de las precipitaciones, presiones y transpiraciones, así como los eventos extremos que puedan ocurrir (IPCC, 2014).

Entre los trabajos más notables del IPCC está el segundo reporte de evaluación en 1995 lo cual tuvo una consecuencia positiva para realizar el Protocolo de Kyoto en 1997, el cual busca disminuir las emisiones de los GEI provenientes de la actividad antropogénica. También han elaborado manuales de evaluación donde vienen los parámetros de impactos, vulnerabilidad e impactos del cambio climático y sobre las emisiones que realizan los GEI, estos manuales son creados con la finalidad de facilitar la información basada en datos reales y científicos para fomentar políticas que ayuden a frenar el cambio climático. El tercer reporte del IPCC arrojó datos preocupantes como que las concentraciones de dióxido de carbono aumentarán de 490 a 1260 para el año 2100. Esto significaría un incremento de 1.4°C y 5.8°C en el promedio de la temperatura de la superficie del planeta (es un calentamiento mayor al promedio) habría aumentos en las precipitaciones promedio por año, aunque en otras zonas disminuirá la actividad pluvial y los glaciares seguirán disminuyendo su tamaño (Ballesteros y Aristizabal, 2007). El IPCC en su cuarto informe evaluó a profundidad los eventos extremos relacionados con la temperatura, así como a los huracanes, sequías y olas de calor (IPCC, 2007).

Aunque existe una relación entre los riesgos de eventos que afectan al clima y el cambio climático, no hay modelos que comprueben que estos tengan un gran impacto al cambio climático a corto plazo, pero si existe un gran impacto sobre los eventos naturales a un largo plazo. Estos hallazgos son irreversibles a la fauna, flora y ecosistema ya que la probabilidad de extinción de muchas especies es inminente. Se habla también de una disminución en la agricultura (en especial en los trópicos y subtropicos), un aumento de la presión hídrica sobre las zonas áridas y semiáridas, aumento de inundaciones y daños sobre la salud humana (IPCC, 2014). Según el IPCC las concentraciones tan altas de CO₂ que se están presentando en la atmósfera, no se han presentado en los últimos 420.000 años e inclusive ni durante los últimos 20 millones de años (Ballesteros y Aristizabal, 2007).

1.2 Cambio climático y la agricultura

La agricultura es el conjunto de conocimientos aplicados a la tierra por medio de técnicas para poder desarrollar cultivos de vegetales, frutas, hortalizas y cereales. Esta actividad no sólo tiene como meta la producción alimentaria de la población, sino también tiene aplicación para alimentar el ganado y para la industria (energética, textil, etc.).

Existen muchas formas de clasificar la agricultura, por ejemplo:

Según su dependencia de agua puede existir la agricultura de temporal y de riego; según su giro comercial puede ser de subsistencia o industrial; según el rendimiento puede ser intensiva o extensiva, entre otras clasificaciones.

En la década de los 50`s se creía que la agricultura era un sector que se daba de manera orgánica y que se utilizaba para contribuir con empleos, recursos y alimentos para la modernización industrial (Lewis, 1954); actualmente en la visión que se tenía en el pasado sobre la agricultura ha cambiado, ahora no se toma como una actividad natural, se dice que la agricultura se ve afectada y modificada ante la tecnología, que en las naciones que están en vía de desarrollo se puede tener la misma agricultura que los países desarrollados y que la agricultura no es una actividad independiente, sino que está relacionada con otros sectores (Cervantes y Dewbre, 2010).

Los avances en la agricultura también han degradado al ambiente, en los próximos 30 años la necesidad de alimentos se va a duplicar, el nuevo reto del ser humano será el de satisfacer las nuevas demandas de una mayor población con una menor cantidad de agua y de tierra agrícola (Armendáriz-Erives, 2007).

Estudios revelan que los modelos sugieren una mayor pérdida en los cultivos gracias a la variabilidad climática y que los eventos extremos como las sequías, inundaciones, cambios de la precipitación y temperatura no tendrán un gran impacto durante la primera mitad del siglo XXI, sin embargo, el impacto negativo irá aumentando progresivamente (Adams *et al.*, 1998). Se tiene la creencia que la producción agrícola en países en vías de desarrollo (normalmente en las latitudes bajas del planeta) sufrirán más al inicio y después se verán afectados los países desarrollados (principalmente los países de latitudes medias-altas) gracias a la combinación de varios factores agrícolas-climáticas, tecnológicas y socioeconómicas (Rosenzweig y Hillel, 2008).

El cambio climático y su impacto en la agricultura toma en cuenta varios factores como: Efecto biológico en el rendimiento de cultivos; Impacto sobre los resultados (producción, precio y consumo); y Consecuencia en calorías consumidas *per cápita*

y la desnutrición infantil (Nelson *et al.*, 2009). También hay algunos efectos como resultado del cambio climático sobre la agricultura afectando el sistema económico ya que se hacen ajustes en los cultivos, insumos, producción, demanda y oferta, comercio y el consumo de alimento (Nelson *et al.*, 2009).

La inestabilidad e incertidumbre de alimentos afectados por el cambio climático alterará la estabilidad económica, social y competitividad (Ziska y Dukes, 2014). Lo expuesto anteriormente nos evoca a dos situaciones: i) La seguridad alimentaria y el cambio climático están indiscutiblemente relacionados, esto lleva a un problema que afecta directamente a la diversidad genética ya que, al haber pérdida de cultivos, cada vez se cultivan solamente productos básicos; ii) La actividad agrícola es la actividad antropogénica más vulnerable al cambio climático, ya que ésta depende de temperaturas apropiadas y de un equilibrio de gases como el metano y el CO₂ (Adams *et al.*, 1971). Cultivos de maíz, trigo y otros granos de consumo básico ya han comenzado a sufrir grandes reducciones que están directamente relacionadas con el clima (Lobell y Field, 2007). Se dice que las pérdidas en América latina para el 2055 será de 2 billones de dólares por año (Jones y Thornton, 2003).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) considera que 800 millones de personas en todo el mundo padecen de hambre crónica. La población del planeta tiende a aumentar y con esto su cambio en la dieta, aumentando con esto un 60% para el año 2050. Es por esto que el cambio climático ya está ejerciendo presión sobre los sistemas alimentarios y la vida rural en todos los países del mundo. La reacción al cambio climático está determinada por la pregunta ¿Cómo vamos a alimentar a las futuras generaciones? (FAO, 2017).

1.3 Resiliencia

Se conoce como resiliencia a la capacidad que un sistema tiene para mantener su productividad y su estructura original tras ser expuesta a alguna perturbación. Existen dos tipos de resiliencia: la capacidad que el sistema tendrá para recuperarse y la resistencia que habrá al sufrir el impacto de un evento extremo (Lin, 2011). En los cultivos se dice que hay resiliencia si el cultivo después de haber sido impactado por algún evento como una helada o una sequía, el cultivo sea capaz de seguir produciendo alimento. En un sistema la agro biodiversidad mantiene una relación directa entre los organismos y la resiliencia, ya que la diversidad de organismos va a ser fundamental para que los ecosistemas funcionen de manera correcta. Si se remueve algún nivel trófico en un ecosistema, puede ser que éste deje de funcionar de manera correcta. Las conexiones entre la resiliencia y la diversidad de los ecosistemas de cultivos se pueden explicar de las siguientes formas:

- I) Son los componentes que aparecen redundantes en un tiempo ya establecido a la hora de haber un cambio en el ambiente.
- II) Habrá un aumento de la biodiversidad en función a algún ecosistema definido ya que, al haber diferentes especies, cada uno aporta diferentes funciones.

- III) En la mayoría de casos existen más especies que funciones por lo que los ecosistemas tendrán redundancia (Vandermeer *et al.*, 1998).

Es importante conocer los riesgos que existen en un sistema de cultivo, así como aumentar la resiliencia de los mismos. Existe una relación entre los recursos naturales, las amenazas naturales, el medio ambiente y la seguridad alimentaria, es necesario que la vulnerabilidad disminuya por medio de estrategias de manejo sustentable

La Convención Marco de las Naciones Unidas que trabaja el Cambio Climático (CMNUCC) firmó un acuerdo mundial que entró en vigor en el 2020 donde la FAO desempeñará el papel de darle apoyo a los países de todo el mundo y asegurar su seguridad alimentaria y la actividad agrícola en contra del cambio climático. El cambio climático forma parte de la agenda 2030 del desarrollo sostenible, que abarca 17 objetivos globales que los países tienen que adoptar para erradicar la pobreza, el hambre, cuidar al planeta y asegurar un futuro mejor. La FAO agregó la adaptación al cambio climático, así como la reducción de riesgo de desastres en su Marco Estratégico con el propósito de aumentar la resiliencia de los medios de supervivencia a las consecuencias, crisis y amenazas. De la manera que el planeta responda hoy al cambio climático determinará el cómo se van a alimentar las futuras generaciones y la consecuencia ya sea positiva o negativa en la seguridad alimentaria (FAO, 2017).

1.4 Riesgos agrícolas

Existen muchos eventos que afectan a la agricultura como las heladas, sequías, granizadas, lluvias torrenciales y plagas. Las heladas consisten en una disminución de la temperatura del ambiente a niveles por debajo del punto de congelación del agua logrando que también se congele el vapor de agua que se encuentra en el ambiente, existe un tipo de helada conocida como la helada negra que sucede cuando el hielo termina con la vida de cultivos y plantas (Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial, 1992).

Los cambios actuales que estamos teniendo en el clima está presentando muchas dificultades como la reducción de la productividad y la presión que ejerce en el sistema de producción alimentaria que de por sí ya se encuentra en un momento frágil. Los huracanes, sequías, inundaciones, aumento del nivel de mar y la acidificación del océano no sólo pone en peligro la vida humana, sino que también amedrenta los medios de subsistencia como la agricultura, ganadería, entre otras actividades (FAO, 2017).

La sequía agrícola es el resultado por la escasez de precipitaciones, cuando el suelo no contiene la humedad necesaria para desarrollar algún cultivo en diferentes etapas de crecimiento. Estas sequías no sólo dependen de las condiciones meteorológicas, donde también se ven involucradas las condiciones biológicas del cultivo y las propiedades del suelo (Marcos, 2001).

El granizo es una precipitación en estado sólido formado por grumos uniformes de hielo, los cuales asemejan a una pequeña roca, éstos están formados por agua y su tamaño de diámetro va desde los 5mm hasta los 55mm. El granizo se forma dentro de las nubes cumulonimbos cuando hay tormentas y suelen manifestarse alrededor de los 4 km de la tormenta madre.

Una plaga es cualquier especie animal que afecta de manera perjudicial al ser humano o al medio ambiente. Las plagas agrícolas son aquellas que van a dañar a los cultivos, esta es una población de animales fitófagos (son aquellos que se alimentan de las plantas) disminuyendo la producción del cultivo, así como el valor de la cosecha (aumentando los costos de producción) (Cisneros, s.f.)

Aunque habrá tantos cambios en las precipitaciones y éstos también afectarán a los cultivos, los modelos y estudios predicen que los peores impactos vendrán por los cambios de temperatura antes que los cambios en la precipitación. Por otro lado, los cultivos de temporal, los cuales son en donde el hombre no interviene con ningún sistema de irrigación si no el uso exclusivamente de la lluvia, serán afectados tanto por los cambios de precipitación y de temperatura. El aumento de temperatura podría acelerar el crecimiento de cultivos, pero también podrán reducir el rendimiento de los cultivos. El efecto de la temperatura dependerá directamente de la necesidad de dicho cultivo y de la zona en donde se encuentre el cultivo, si el cambio en la temperatura aumenta la temperatura óptima del cultivo, el rendimiento disminuirá (Lobell y Field, 2007).

1.5 Índices climáticos

El planteamiento de la estadística establece que, si hay alguna modificación extrema climática, ya sea en la duración, frecuencia o intensidad sea posiblemente el resultado de un cambio en el promedio de una distribución en cualquier variable del clima, como puede ser la precipitación o la temperatura, y esto sea totalmente diferente a lo que se espera con cambios en las estaciones del año (Katz y Brown, 1992).

Desde los datos que se han recopilado a través de los años, se derivan varios indicadores que sirven al estudio y análisis del clima y sus cambios, así como varios organismos especializados en su estudio. Por ejemplo, el grupo sobre Detección e Índices del Cambio Climático (ETCCDI), la *World Climate Research Programme* (WCRP), la *Comission for Climatology* (CCL), la *World Meteorological Organization* (WMO), el *Intergovernmental Oceanographic Comission* de la UNESCO, el *Project on Climate Variability and Predictability* (CLIVAR) y la *Technical Comission for Oceanography and Marine Meteorology* (JCOMM) entre otras, han establecido los indicadores climáticos (Peterson, 2008).

El ETCCDI ha formulado indicadores que tienen como finalidad la facilidad de analizar, estudiar, calcular y modificar al clima a un alcance mundial, nacional, regional o local que sean simples para la comprensión de cualquiera. También

presentan las herramientas necesarias para poder detectar al cambio climático, aunque éstas están sujetas al número de acontecimientos, periodos de tiempo y a la estimación de tendencias. El ETCCDI definió los indicadores con base en su aparición anual. Se desarrollaron 27 índices fundamentales (existen muchos otros) y se clasifican en cinco grupos, estos son: índices absolutos, Índices percentiles, índices de tiempo, índices de umbral absoluto y en otros indicadores (Alexander *et al.*, 2006). La finalidad de estos indicadores es la de estimar los cambios en el clima que será comparada con los cambios globales. Después de analizar una homogenización y control de calidad con los datos se obtienen tendencias históricas (The R Foundation, 2015).

1.6 Escenarios del cambio climático

En la actualidad se ha comenzado a aplicar que los estudios sean a una escala continental con respecto a los acontecimientos extremos de índole meteorológico es por esto que se ha visto un aumento en las precipitaciones que son de una potente intensidad y que se debe al incremento de vapor de agua que se acumula en la atmósfera gracias al calentamiento consecuencia de los seres humanos (CCSP, 2008). Otras investigaciones han arrojado que los cambios extremos relacionados con la temperatura deben de ser más detectables que los cambios medios de temperatura, así como los cambios pluviométricos extremos deben ser más detectables que el cambio medio pluvial (Hegerl *et al.*, 2004).

Si se realiza una mejor detección y estudio del cambio climático se podría conocer hasta donde ha sido afectado gracias a la actividad humana y cuanto ha incrementado la presencia de acontecimientos extremos para un cierto periodo de análisis del clima con un nivel de confianza, para así definir si algún acontecimiento se hubiera presentado, en afectación del factor humano (Allen, 2003).

1.7 Vulnerabilidad y adaptación

La vulnerabilidad ante el cambio climático está en función a la rapidez, magnitud y carácter de dicho cambio, también de las variaciones a las que un sistema estará expuesto. Esta vulnerabilidad tiene a ser más fuerte ante eventos que son de gran intensidad y pocos frecuentes, aunque existe mayor riesgo ante los eventos de mediana intensidad, ya que los eventos de mayor intensidad son muy extraños que ocurran y los de baja intensidad son muy comunes (Gommes, 1998).

La agricultura es una actividad muy vulnerable a los cambios debido al clima. Cuando la temperatura aumenta, esta termina reduciendo la producción de cultivos, una consecuencia negativa directa sería que hay proliferación de hierbas no deseadas y pestes. Los países más afectados a esta vulnerabilidad serán los países que se encuentran en vías de desarrollo. Alrededor de dos mil quinientos millones de personas son las que dependen de esta actividad para poder garantizar sus medios de vida y se calcula que el 75% de la pobreza mundial se encuentran en áreas rurales (Nelson *et al.*, 2009).

Existen algunas estrategias de adaptación ya utilizadas para combatir estos cambios en la agricultura por ejemplo los sistemas de cultivos múltiples los cuales tienen una mayor estabilidad y menor declinación de la productividad durante las sequías a comparación de los monocultivos. El uso de la diversidad genética local lo cual es que en un mismo campo se siembran diferentes variedades de cultivo al mismo tiempo en una zona específica, esto ha incrementado la productividad y disminuido la variabilidad de la producción. Otra estrategia es la colecta de plantas silvestres para utilizarse en caso que algún evento inesperado afecte los cultivos así destruyéndolos. Por último, otro método muy utilizado es la agroforestería y el mulching. La agroforestería es cuando los agricultores siembran sus cultivos cerca de las zonas forestales para que estos hagan el rol de brindarle protección a los cultivos creando así un microclima contra posibles eventos que pudieran afectarlos. El Mulch es el método en el cual se siembran plantas que servirán para cubrir (a veces utilizan paja) para reducir los niveles de calor y de radiación sobre los cultivos recién sembrados, al mismo tiempo protege a los cultivos contra granizos. Cuando hay posibilidad de que haya una helada, los agricultores queman la paja para mantener con calor a los cultivos y para que el humo atrape a la radiación (Altieri, 2009).

Mientras la temperatura aumente y el clima sea más cálido, habrá una mayor competencia entre la industria, la población y la actividad agrícola, ya que la evaporación del suelo incrementará haciendo que también incremente la transpiración de la flora. Habrá un gran impacto en forma de sequías si la evapotranspiración aumenta, pudiendo crear conflictos y aumentando los costos sobre la obtención de agua (Doll, 2002).

Las plagas y los insectos son otro evento que afectan a la actividad agrícola, la temperatura tiene un gran papel sobre la reproducción, desarrollo y tiempo de vida de los insectos. Será importante crear soluciones y logística para el manejo de patógenos y plagas, se ha visto que éstas han sobrevivido mejor los inviernos año con año. Por otro lado, las temporadas largas de cultivos como la primavera, verano y otoño beneficiarán a las plagas a tener más ciclos de reproducción (Porter *et al.*, 1991).

Cuando se habla de calentamiento global no significa que cada parte del planeta va a estar en un constante aumento de temperatura, pero si implica que en algunas zonas habrá calentamiento que como consecuencia afectará tanto el ciclo hidrológico, así como el balance y energía de la tierra. Logrando así que la circulación atmosférica cambie, afectando al sistema meteorológico y al clima (Vázquez, 2010).

Es imposible hablar de un cambio climático el cual no afecte a las actividades antropogénicas ya que éstas están directamente relacionadas tanto en el área social como en el económico. Se ha visto un aumento en los eventos meteorológicos extremos a lo largo de los últimos años. Estos eventos extremos se han comenzado

a documentar de manera científica para encontrar patrones y comportamientos de estos cambios (Trenberth *et al.*, 2007). En el caso de México se han elaborado estudios como los Programas Estatales de Acción ante el Cambio Climático (Vázquez *et al.*, 2008) aunque estos estudios no son suficientes para tener conclusiones contundentes.

Los eventos extremos se originan por una gran unión de factores que son parte del clima cotidiano, ya que si tenemos un clima que no es afectado en su vulnerabilidad éste será afectado por algún evento meteorológico extremo, es complicado atribuir un evento extremo en particular. Es por esto que el detectar y monitorear el clima es un tema muy relevante ya sea que el clima este comportándose de manera normal o si está sufriendo algún cambio climático (Vázquez, 2010).

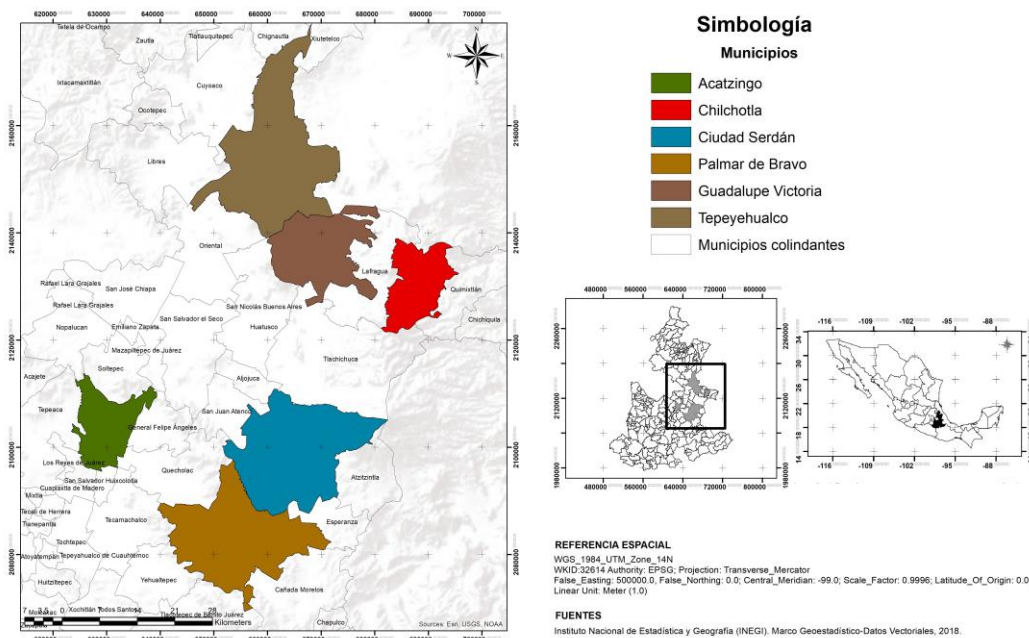
Los eventos extremos pueden afectar en diferentes periodos de tiempo, por ejemplo, las sequías suelen tardar mucho tiempo para poder hacer un cambio notable pero otros eventos tardan solo días en lograr un cambio notable en el clima y están directamente relacionados con consecuencias regionales o locales. Es por esto que para detectar los cambios que estos eventos realizan es importante registrar datos y observar cambios diariamente incluso en algunos casos se registran datos varias veces al día (Vázquez, 2010).

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

2.1. Calidad de datos

Los resultados obtenidos de la calidad de datos, se muestran en la tabla 1, en donde se identificaron bases de datos históricas (por lo menos de 30 años), de las estaciones meteorológicas de los municipios del estado de Puebla. Además de tener en cuenta la recomendación con base en el IPCC (Panel Intergubernamental contra el Cambio Climático) y a la OMM (Organización Meteorológica Mundial), en la cual, indica que las series de tiempo den de tener 30 años de datos, además, que se toma como referencia el año 1960, años anteriores a dicho año, el comportamiento de los índices climático, nos proporciona información sobre la variabilidad natural y después de 1960 a la fecha, se pueden identificar huellas o comportamientos que se conocen como cambio climático. En la figura 1, se muestran los municipios que cumplieron con la calidad de datos.

Figura No. 1. Municipios que cumplieron la calidad de datos para identificar series de datos históricas



Fuente: Elaboración propia

Se seleccionaron las estaciones meteorológicas, en el estado de Puebla y únicamente seis municipios y ocho estaciones climatológicas, cumplieron con los 30 años. Como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Estaciones meteorológicas que cumplen la calidad de datos en el estado de Puebla.

Nombre de la estación meteorológica	Municipio de la estación meteorológica
21005 Acatzingo	Acatzingo
21025 Chilchotla	Chilchotla
21026 Ciudad Serdán	Ciudad Serdán
21031 Cuesta Blanca	Palmar de Bravo
21038 El Progreso	Guadalupe Victoria
21040 Guadalupe Buena Vista	Guadalupe Victoria
21052 Alchichica	Tepayahualco
21117 Guadalupe Victoria	Guadalupe Victoria

2.2. Procedimiento para calcular los índices de cambio climático

Las variables atmosféricas relacionadas con el cambio climático se clasifican de dos maneras: I) Información de cambio climático observado; y II) Proyecciones condicionales para tiempos posteriores. Esta clasificación no toma en cuenta información recaudada diariamente en diferentes instituciones que investigan al clima ni mapas de clima, tampoco anomalías ni pronósticos. Los índices de cambio climático contienen los datos de cambios observados y analizados, así como proyecciones futuras.

Algunos índices de cambio climático resultan de gran interés para los sectores sociales y económicos de la zona por ejemplo el índice de días secos consecutivos es importante para la agricultura, el índice de días de verano es interesante para el uso de energía o el índice de los días fríos son de gran interés para el área de la protección civil. Para determinar que índices son importantes en cada área se hace la siguiente secuencia de preguntas:

- a) ¿Qué tipo afectaciones o desastres han ocurrido en el pasado y en qué área de interés?
- b) Estas afectaciones o desastres ¿Tienen relación con la temperatura o con la precipitación?
- c) ¿Los valores críticos de la precipitación o temperatura han ocasionado un alto impacto anteriormente?

(Vázquez, 2010).

2.3. Índices del cambio climático

Los científicos por medio de las organizaciones como el Grupo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático (ETCCDI) con la Comisión de Climatología de la Organización Meteorológica Mundial (CCL/OMM) junto con la Comisión Técnica de Oceanografía y Meteorología Marítima (JCOMM) y el proyecto de Predictibilidad y Variabilidad Climática (CLIVAR) formularon 27 índices

fundamentales para detectar cambios gracias a eventos extremos en el clima (Karl *et al.*, 1999). Es indispensable que los datos para calcular los índices del cambio climático sean de muy buena calidad es por esto que deben pasar por un riguroso control de calidad (Aguilar *et al.*, 2003). Los índices son calculados a partir de los datos capturados a lo largo del tiempo sobretodo en la precipitación y la temperatura de un área geográfica establecida y posteriormente analizada (Vázquez, 2010). (Tabla 2).

Tabla 2. Índices climáticos y su descripción

Índice	Descripción del índice	Índice	Descripción del índice
CDD	Días secos consecutivos	RX5day	Precipitación máxima en 5 días
CSDI	Duración de los períodos fríos	SDII	Índice simple de intensidad diaria
CWD	Días húmedos consecutivos	SU	Días de verano
DTR	Rango diurno de temperatura	TN10p	Noches frías
FD	Días con helada	TN90p	Noches cálidas
GSL	Estación de crecimiento	TNn	Temperatura mínima extrema
ID	Días con hielo	TNx	Temperatura mínima más alta
PRCPTOT	Precipitación total anual	TR	Noches tropicales
R10mm	Días con lluvia mayor a 10 mm	TX10p	Días frescos
R20mm	Días con lluvia mayor a 20 mm	TX90p	Días calurosos
R95p	Días muy húmedos	TXn	Temperatura máxima más baja
R99p	Días extremadamente húmedos	TXx	Temperatura máxima extrema
Rnnmm	Días con lluvia mayor a nn	WSDI	Duración de los períodos cálidos
RX1day			Precipitación máxima en 1 día

Fuente: La tabla fue tomada de Vázquez (2010: p.25)

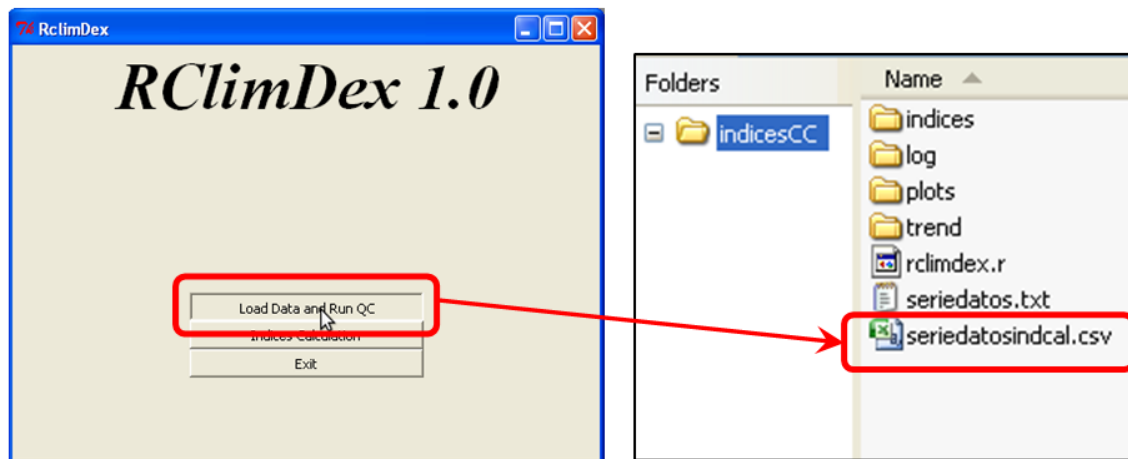
2.3. Cálculo de los índices climáticos

Los cálculos de los índices del cambio climático se utilizan regularmente en series y datos que sean homogéneos (si hay discontinuidades tendrán que ser descartadas o ser sometidas a una homogenización) (Vázquez, 2010). Los índices del ETCCDI obtienen los indicios de cambio climático de manera regional. Para calcular los índices del ETCCDI se necesita utilizar un software especialmente diseñado para hacer este tipo de cálculos como el RCLimindex o el FCLimindex (Zhang y Yang, 2004).

Después de identificar las estaciones meteorológicas que cumplen con la calidad de datos, se aplicó un software avalado por el IPCC conocido como RClmDex, el cual es de acceso libre. En donde se requiere las bases de datos de las estaciones meteorológicas: temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación.

La manera de utilizar está expresado en la figura 2:

Figura 2. Como cargar el software de RClmDex

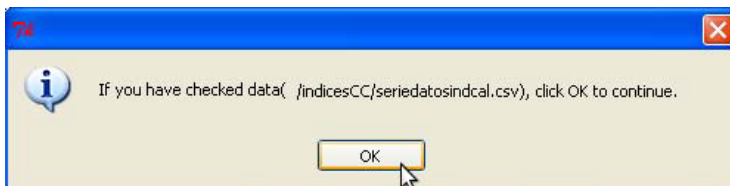


Fuente: La figura fue tomada de Vázquez (2010: p.40)

La opción **serie datos indcal.csv** es donde se calcularán los índices al utilizar un control de calidad.

Así que, si hay cambios relacionados con el control de calidad, antes de calcular los índices se debe actualizar la opción de serie de **datos indcal.csv** a partir de la opción de **serie datos.txt** que va a contener las correcciones pertinentes de los datos. Ver la figura 3.

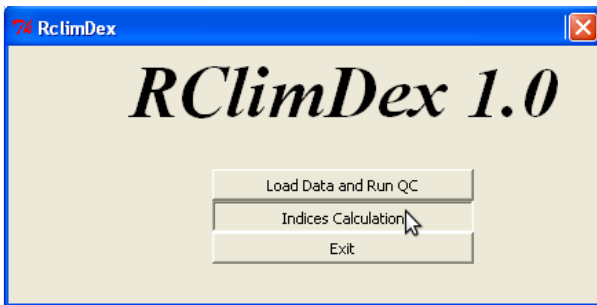
Figura 3. Ventana para ver la ubicación de datos.



Fuente: La figura fue tomada de Vázquez (2010: p.40)

Notificación de que se hicieron las correcciones pertinentes como se puede observar en la figura número 4.

Figura 4. Ventana de cálculos de índices



Fuente: La figura fue tomada de Vázquez (2010: p.41)

Después se tiene que realizar el cálculo de índices, para esto se tienen que establecer los parámetros: latitud, año inicial y final, umbral de precipitación, temperatura mínima y máxima, los parámetros son específicos para distintos índices. Como se puede observar en la figura 5.

Figura 5. Requisitos de datos para hacer los cálculos

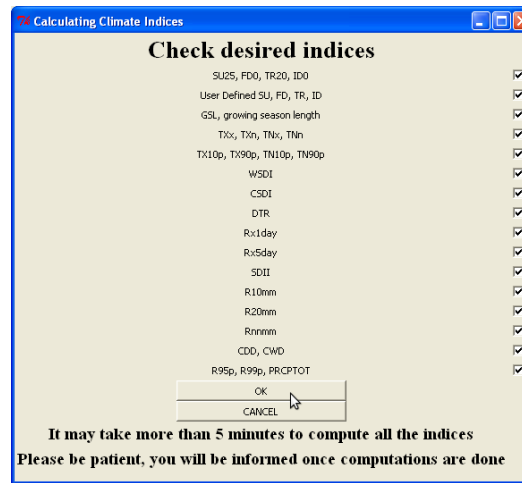
Parameter	Value
First year of base period	1961
Last year of base period	1990
Latitude of this station location	0
Longitude of this station location	0
User defined upper threshold of daily maximum temperature	25
User defined lower threshold of daily maximum temperature	0
User defined upper threshold of daily minimum temperature	20
User defined lower threshold of daily minimum temperature	0
User defined daily precipitation threshold	25

Fuente: La figura fue tomada de Vázquez (2010: p.41)

Ya que se llenó la información de los parámetros necesaria para calcular los índices, éstos serán calculados de manera automática. Cuando el software acaba de calcular todos los índices saldrá una notificación, en ese momento ya estarán las gráficas listas en el subdirectorío i

índicesCC/plots, las series de datos en el subdirectorío índicesCC/índices y las tendencias estarán guardadas en índicesCC/trend. Como se puede apreciar en la figura número 6.

Figura 6. Lista de índices



Fuente: La figura fue tomada de Vázquez (2010: p.42)

El resultado del software se basa en una serie de gráficas donde se obtienen 27 índices climáticos, sin embargo, se seleccionarán únicamente seis índices, debido a que fueron los que se consideraron prioritarios para la presente investigación:

- ✓ Precipitación
 - ✓ Días con heladas meteorológicas
 - ✓ Días secos consecutivos
 - ✓ Días húmedos consecutivos
 - ✓ Días en que llovió 10 mm y
 - ✓ Días en donde la temperatura es mayor a 25°C,
- los cuales representan el comportamiento histórico de variables para relacionarlo con la posible adaptación o vulnerabilidad.

Para el análisis de los datos se realizó una investigación que consideraba los eventos EL NIÑO y LA NIÑA en los municipios seleccionados, además de otros eventos naturales ocurridos a lo largo de la historia en la región o zonas aledañas.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Municipio de Acatzingo

3.1.1 Características del lugar

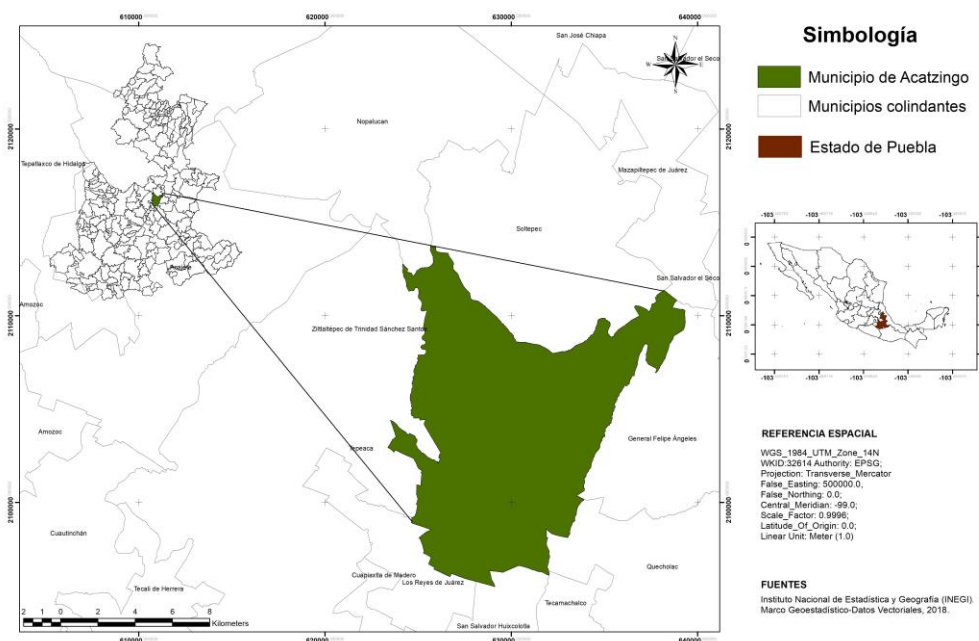
El municipio de Acatzingo tiene una superficie de 140,987 donde es habitado según el último censo oficial de población de INEGI por 140,987 km² (SEDESOL, sf). El municipio cuenta en promedio con una temperatura de 12-18°C, un rango de precipitación de 600 a 900 mm y el clima es templado subhúmedo con lluvias a lo largo del verano (INEGI, 2009 a).

El municipio de Acatzingo está localizada en la zona centro del estado de Puebla con las coordenadas de 18°56'48" - 19°06'18" de latitud norte y en los meridianos 97°49'54" - 92°34'18" de longitud occidental. El municipio colinda al este con Felipe Angeles, al oeste con Tepeaca al sur colinda con Los Reyes de Juárez, Quecholac y Salvador Huixcolotla y al norte con Soltepec y Nopalucan (INAFED, sf).

Este municipio tiene como actividad económica primaria la agricultura, ganadería y pesca, como actividad secundaria cuenta con minería, construcción y electricidad y como actividad terciaria con turismo y comercio. Gran parte del territorio se utiliza para la agricultura ya que tiene grandes extensiones de terreno desde el centro, norte y sur y la zona del Valle de Tepeaca. El municipio presenta un suelo que es ideal para la actividad agrícola ya que el suelo es arcilloso y pesado este necesita una buena fertilización (INAFED, sf).

El 73% del suelo de este municipio es utilizado para la agricultura, 14% es la zona urbana, la zona forestal abarca un 12% y hay pastizal que utiliza 1% lo que muestra es que es un municipio que depende de la agricultura (INEGI, sf). Los cultivos que se llevan a cabo en este municipio son maíz, frijol, trigo, haba, lechuga, col, calabaza, cilantro, zanahoria, ajo, tomate, alfalfa, pera, chabacano, durazno y nopal (INAFED, sf). Como se puede observar en la figura 7.

Figura 7. Municipio de Acatzingo del estado de Puebla



Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Índice climático: Días secos consecutivos

El gráfico muestra el mayor número de días secos consecutivos en un año en el municipio de Acatzingo. Donde hay registros desde finales de los años 40's hasta el 2012. En la gráfica se observa la gran variabilidad en el número de días secos consecutivos en un año, y no se muestra significancia ($p= 0.107$) en la tendencia, es decir, se mantiene a través del tiempo mostrando grandes cambios de un año a otro. Se puede observar un alto número de días secos consecutivos cada 10 años aproximadamente. Podemos ver puntos altos en los años 1953, 1963, 1972 y 1987, después de este año podemos ver que el patrón deja de cumplirse, aunque si se puede observar un punto que aunque es alto, ya no lo es como lo era antes en el año 1997 y 2006.

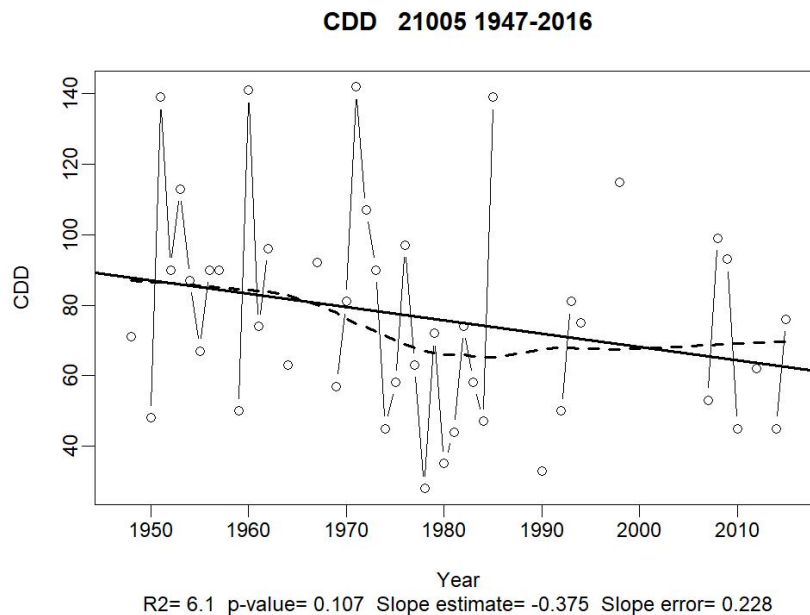
En los años anteriormente mencionados tuvimos la presencia del evento climático conocido como EL NIÑO donde:

- 11 meses en el año 1953 con un aumento de hasta 0.8°C .
- 7 meses en el año 1963 con un aumento en la temperatura hasta 1.4°C
- 8 meses en el año 1972 con un aumento en la temperatura hasta 1.8°C
- 12 meses en el año 1987 con un aumento en la temperatura hasta 1.7°C

7 meses en el año 1997 con un aumento en la temperatura hasta 2.4°C
4 meses en el año 2006 con un aumento en la temperatura hasta 0.6°C

Se puede observar como los eventos EL NIÑO muestran aumentos mayores de temperatura en años mas recientes (Climate Prediction Center, sf). Además del evento EL NIÑO también el país enfrento sequías muy graves donde algunas de ellas coinciden en los años con días secos consecutivos con los valores mas altos en este municipio como la sequía de 1948-1954, 1960-1964, 1970-1978 y la de 1993-1996 (Domínguez, 2016). Ver figura 8.

Figura 8. Comportamiento de días secos consecutivos del municipio de acatzingo

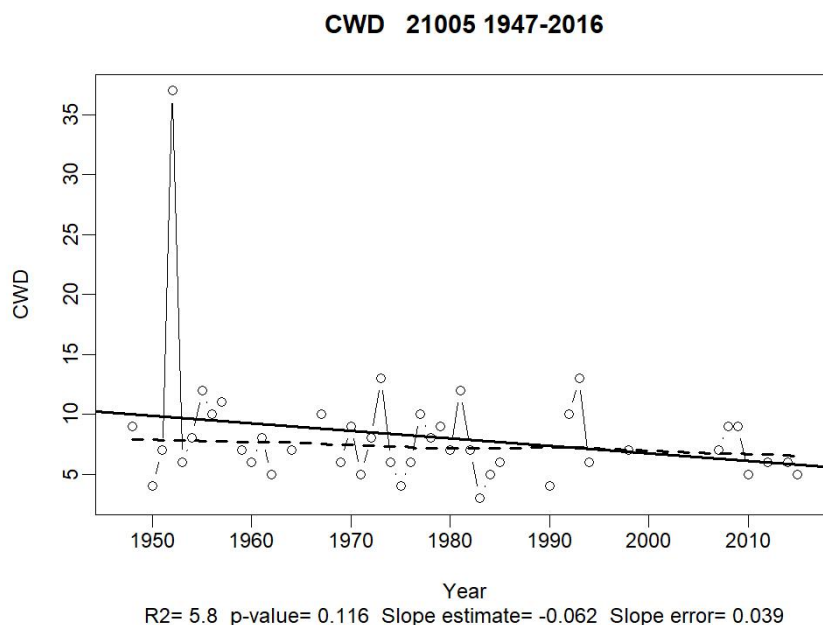


Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Índice climático: Días húmedos consecutivos

En esta gráfica se puede notar que realmente no se tienen muchos días húmedos consecutivos en este municipio se observan los mayores días húmedos consecutivos entre 9-14 días en los años 1957, 1974, 1982 y 1994 como los puntos más altos (se debe recordar que hubieron muchas sequías alrededor de estos años). Hay un punto muy alto de 38 días húmedos consecutivos en el año 1955, esto puede ser gracias a que ese año hubo uno de los huracanes más fuertes registrados en el océano atlántico el huracán Janet que fue de categoría 5 (ECURED, sf). No se encontró una tendencia en la recta estimada ($p=0.116$), lo que indica que no existe mucha variación entre los años, aunque se pueden presentar años extraordinarios como el que se presentó con la presencia del Huracán. Ver figura 9.

Figura 9. Comportamiento de días húmedos consecutivos



3.1.4 Índice climático: Días de heladas

Como podemos observar en el municipio de Acatzingo hubieron muchos años con heladas, esto puede ser por varias causas, entre estos, los huracanes o por el evento climatológico de LA NIÑA.

En la gráfica se observa la gran variabilidad en el número de heladas, y no se muestra significancia ($p= 0.165$) en la tendencia, es decir, se mantiene a través del tiempo mostrando grandes cambios de un año a otro.

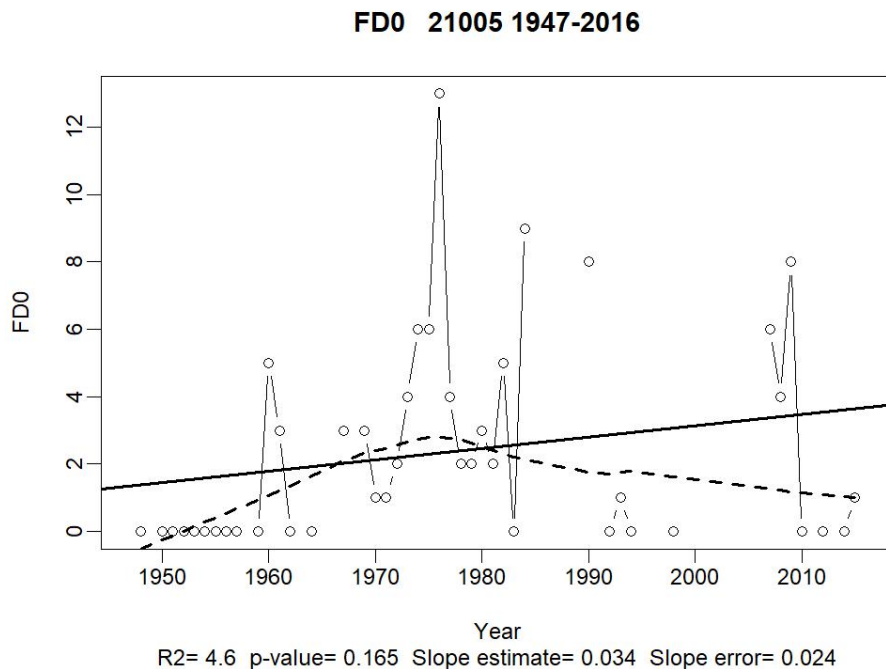
Se puede ver que se presentaron heladas desde el año 1948 hasta 1956 donde en los años 1954, 1955 y 1956 hubo presencia del evento de LA NIÑA (con una disminución desde -0.5°C hasta -1.7°C). En los años 1962 y 1964 hubieron heladas que afectaron al municipio donde en 1962 fue un año neutro y en 1964 hubo el evento de LA NIÑA con una disminución de hasta -0.8°C . En la década de los 80's se tuvo presencia de heladas en los años 1984 y 1985 que coincide con el evento de LA NIÑA con una disminución en ambos años de hasta -1°C (Climate Prediction Center, sf)

Aunque en el año 1993 y 1994 se tuvieron heladas, fueron años neutros (sin presencia de LA NIÑA) pero en 1993 se tuvo la presencia del huracán tropical Gert

que afectó fuertemente el clima del país y en 1994 se formó el huracán Gordon que, aunque la mayor afectación fue en Florida y Haití pudo haber afectado de alguna manera a México (SEMARNAT, sf).

En los años se 2010 y 2011 se tuvieron heladas que fueron causadas por el evento de LA NIÑA con una disminución de -1.7°C en el año 2010 y de -1.4°C en el año 2011 (Climate Prediction Center, sf). Ver figura 10.

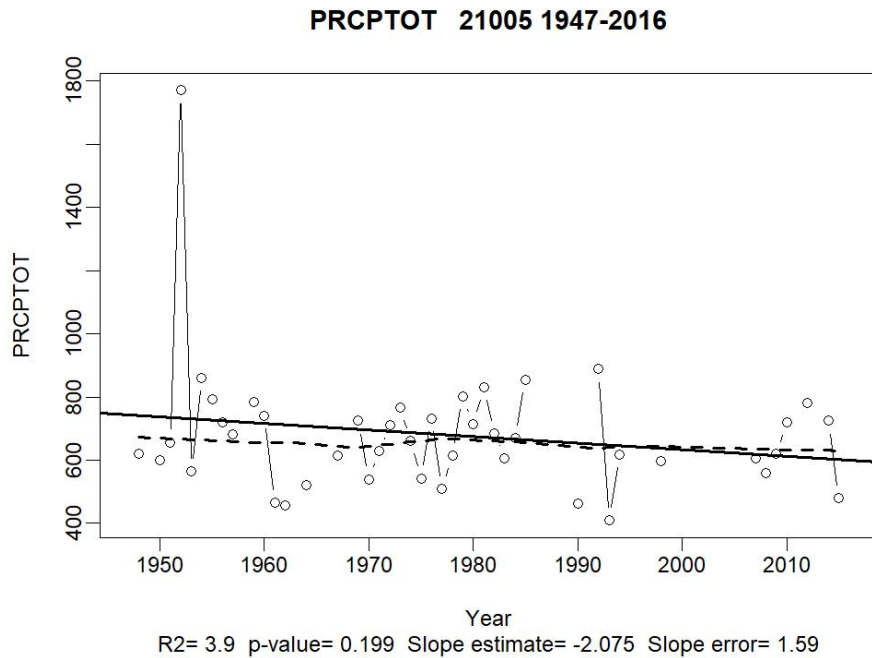
Figura 10. Comportamiento de dias de helada



3.1.5 Índice climático: Precipitación total

En esta gráfica podemos observar una precipitación muy regular durante los años de 1948 y 2013. No se observa significancia ($p = 0.199$) en la pendiente, es decir, se mantiene a través del tiempo mostrando años extraordinarios provocado por algún evento meteorológicos. Existe un gran punto en el año 1955 que fue el año donde se registro el huracán Janet el cual fue categoría 5 EHSS y uno de los mas desastrosos para el país (ECURED, sf). Ver figura 11.

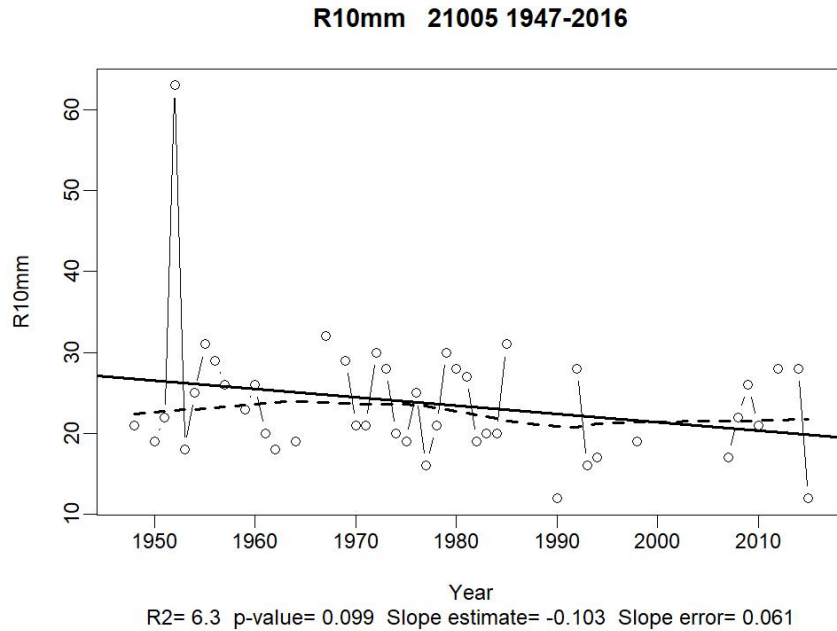
Figura 11. Comportamiento de la precipitación total.



3.1.6 Índice climático: Días con precipitación de 10 mm

No se observa significancia ($p= 0.099$) en la pendiente, es decir, se mantiene a través del tiempo mostrando años extraordinarios provocado por algún evento meteorológicos. En esta gráfica podemos observar una precipitación muy regular con valores más bajos en los años donde hubo sequía como en 1952 y 1963 así como puntos bajos en otros años y en 1989 tenemos el punto más bajo con respecto al número de días con precipitaciones consecutivas y aunque no fue un año de sequía este pudo haber sido afectado por el evento de LA NIÑA. El punto más alto y mucho más alto en todos los años lo encontramos en el año 1955 donde se registró el huracán Janet (Climate Prediction Center, sf). Ver figura 12.

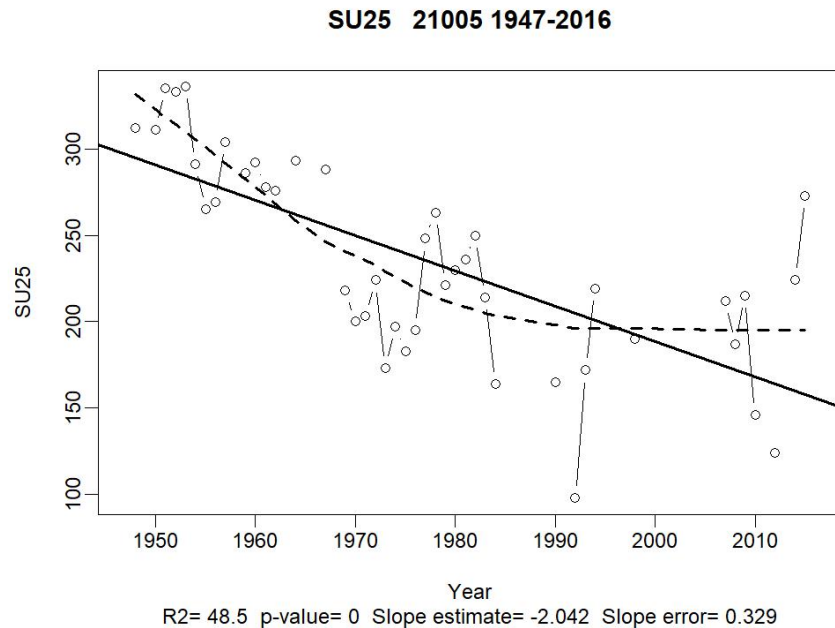
Figura 12. Número de días del año con lluvia mayor a 10mm



3.1.7 Índice climático: Días de verano

En esta gráfica podemos observar los días de verano con temperaturas mayores a 25°C en el municipio de Acatzingo. Se puede ver que desde 1948 hasta el año 2014 podemos ver que existe una tendencia negativa como puede verse en la pendiente de la recta (-2.042) donde al paso de los años estos han ido disminuyendo lo que muestra cambios climáticos a través del tiempo. Ver figura 13.

Figura 13. Dias de verano



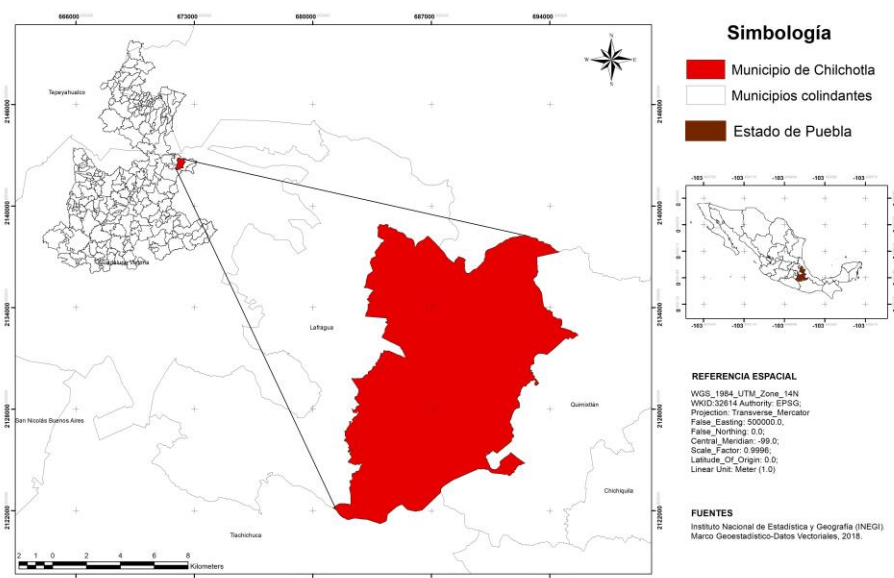
3.2 Municipio de Chilchotla

3.2.1 Características del lugar

El municipio de Chilchotla se encuentra en la parte centro este del estado de Puebla localizada en las coordenadas de 19° 14'00" y 19° 07'24" en la latitud norte, los meridianos 97° 07'24" y 97° 15'54" en la longitud occidental. El municipio limita con el estado de Veracruz al norte, con Quimixtlán al este, con Tlachichuca al sur y con saltillo Lafragua al oeste (INAFED, sf b)

La población de este municipio según el último censo realizado por INEGI en el año 2010 es de 19,257 habitantes en una superficie de 146,357 km² (SEDESOL sf b). Chilchotla se encuentra en la zona cálida del declive del Golfo y en la zona de los climas templados de la sierra de Quimixtlán (INAFED, sf b). El clima de esta región es de 4-20°C con un rango de precipitación de 70mm a 1600 mm con un 57% templado húmedo con lluvias en verano y el 43% semifrío y subhúmedo con lluvias en verano (INEGI, 2009 b). Los principales cultivos de esta región son avena, cebada, maíz, frijol, caña de azúcar y alfalfa (INEGI, 2009 c). Ver la figura 14.

Figura 14. Ubicación de Chilchotla



3.2.2 Índice climático: Días secos consecutivos

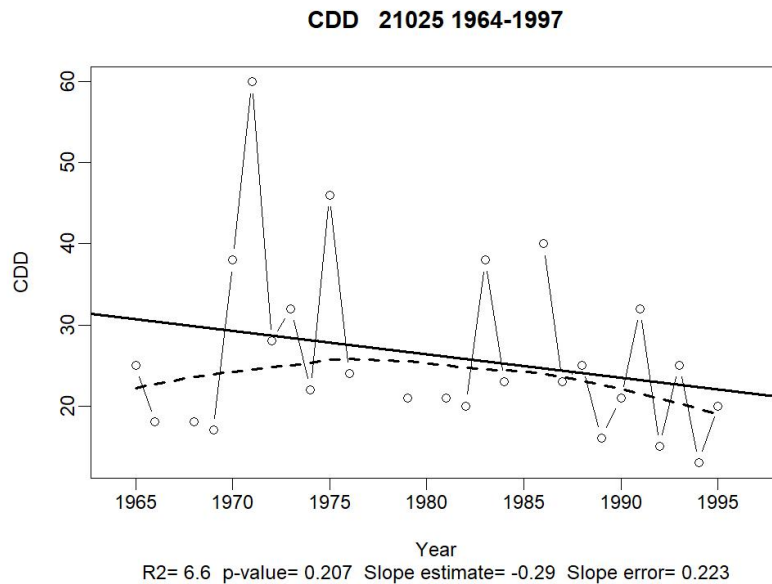
El gráfico muestra el mayor número de días secos consecutivos en un año en el municipio de Chilchotla. Donde se tiene registrado desde 1965 hasta 1995. Podemos ver puntos altos en los años 1972, 1976, 1983, 1987 y 1992 aunque observa un decremento de los puntos altos a través del tiempo, en este municipio han disminuido los días secos al año.

En los años anteriormente mencionados tuvimos la presencia del evento climático conocido como EL NIÑO donde hubo de acuerdo a Climate Prediction Center:

- 8 meses en el año 1972 con un aumento de hasta 1.8°C.
- 4 meses en el año 1976 con un aumento en la temperatura hasta 0.9°C
- 6 meses en el año 1983 con un aumento en la temperatura hasta 2.2°C
- 12 meses en el año 1987 con un aumento en la temperatura hasta 1.7°C
- 6 meses en el año 1992 con un aumento en la temperatura hasta 1.7°C (Climate Prediction Center, sf)

Además del evento EL NIÑO también el municipio pudo haber sido afectado por las sequías que se presentaron en el país como la de 1970-1978 (Domínguez, 2016). Ver la figura número 15.

Figura 15. Comportamiento de días secos consecutivos en el municipio de Chilchotla



3.2.3 Índice climático: Días húmedos consecutivos

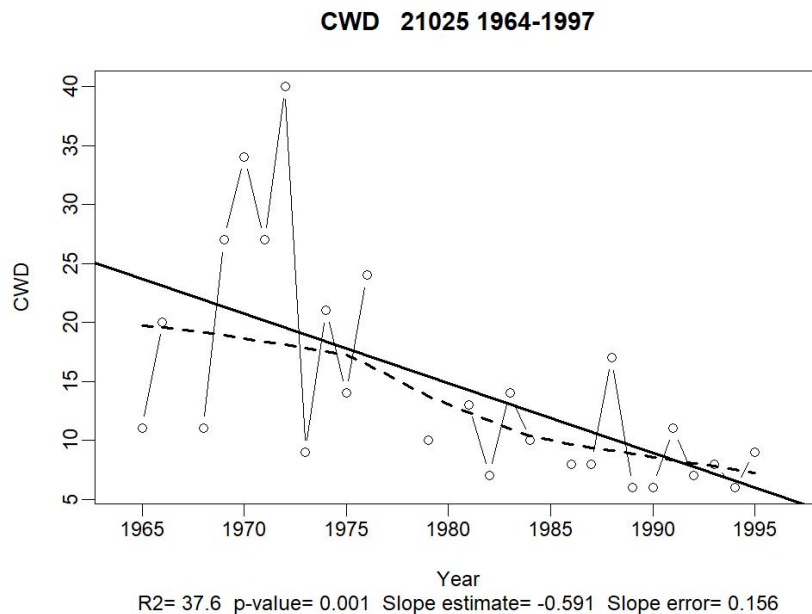
En el municipio de Chilchotla se tienen datos que van desde 1965 hasta 1995 con respecto a la gráfica de días húmedos consecutivos se puede observar que el mayor punto es de 40 días consecutivos en el año 1972. Hay otro punto alto en 1970, 1971, 1973 y 1976, esto es bastante curioso ya que en estos años había una gran sequía en el país pero el municipio de Chilchotla no fue afectado. Por lo que se puede inferir que este comportamiento en el municipio se debió a los diversos huracanes que azotaron al país en la década de los 70's (Luna, 1979) y que coinciden con los puntos de la gráfica como:

- Huracán Celia (1970)- categoría 3 EHSS
- Huracán Agnes (1972)- categoría 1 EHSS
- Huracán Brenda (1974)- categoría 1 EHSS
- Huracán Eloisa (1975)- categoría 3 EHSS

Se puede notar que existe una tendencia negativa como puede verse en la pendiente de la recta (-0.591) que con el paso de los años estos han ido

disminuyendo lo que muestra el cambio climático con respecto tiempo. Ver figura 16.

Figura 16. Comportamiento de días húmedos consecutivos en el municipio de Chilchotla.

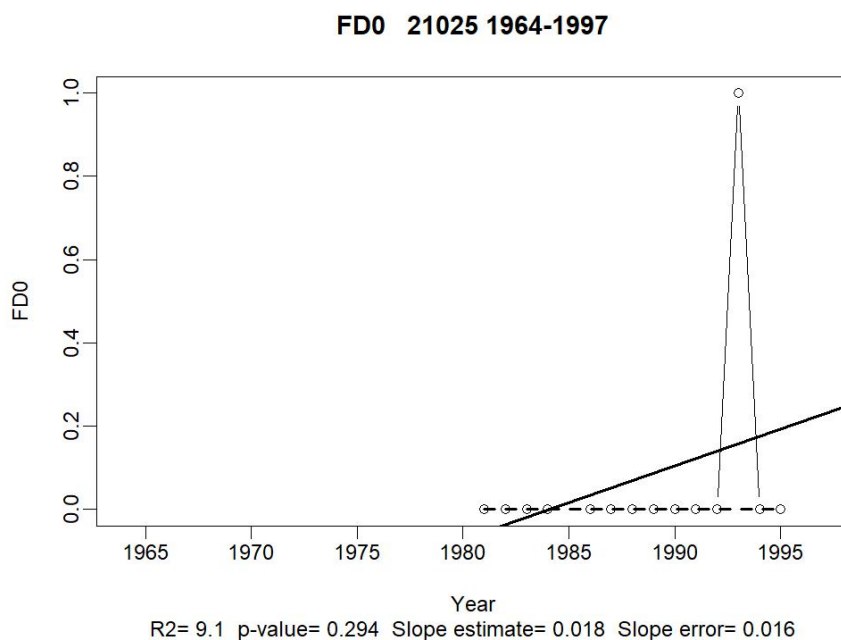


3.2.4 Índice climático: Días de heladas

En el municipio de Chilchotla para las heladas se tienen datos desde 1965 hasta 1995 y en el cual se mantuvo sin heladas hasta el año 1982 donde se mantuvo constante hasta 1995 por excepción del año 1992 donde se tuvo un valor muy alto y que está relacionado con el huracán Andrew que fue categoría 5 EHSS (ECURED, sf b).

En la gráfica se observan pocos datos y con una gran variabilidad, obviamente el ajuste de la recta no es adecuado, por lo que se requiere mayor información. Ver figura 17.

Figura 17. Días de helada en el municipio de Chilchotla.



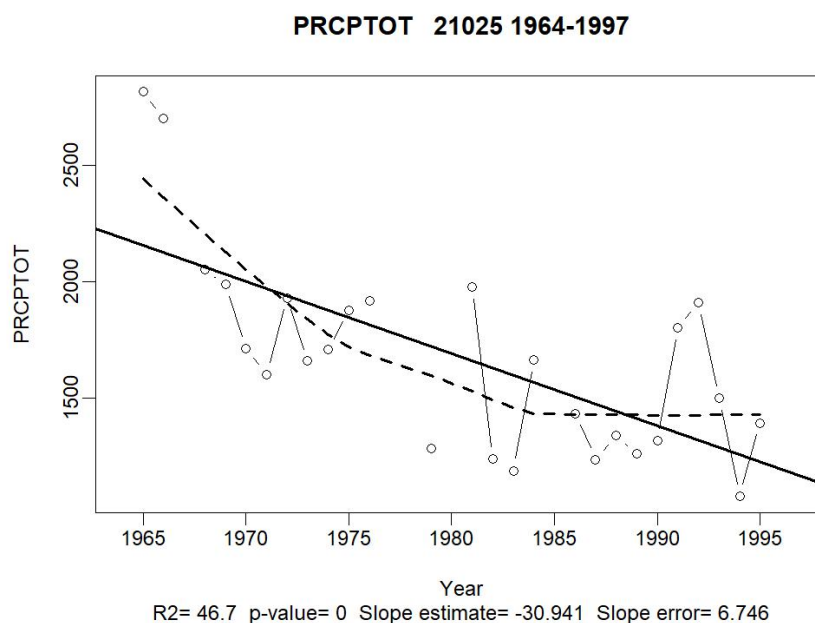
3.2.5 Índice climático: Precipitación total

En este índice del municipio de Chilchotla se puede notar que existe una tendencia negativa como puede verse en la pendiente de la recta (-30.941) que con el paso de los años estos han ido disminuyendo lo que muestra el cambio climático con respecto tiempo. Los mayores valores registrados son los del año 1966 y 1967 y que muestran valores que no coinciden con la relacion entre los años siguientes y que se deben a los huracanes de 1966 y 1967 (Luna, 1979) que son:

- Huracán Alma (1966) categoría 3 EHSS
- Huracán Becky (1966) categoría 1 EHSS
- Huracán Celia (1966) categoría 1 EHSS
- Huracán Dorothy (1966) categoría 1 EHSS
- Huracán Inez (1966) categoría 4 EHSS
- Huracán Beulah (1967) categoría 5 EHSS

Estos fenómenos impactaron al municipio de Chilchotla como se puede ver en la figura 18.

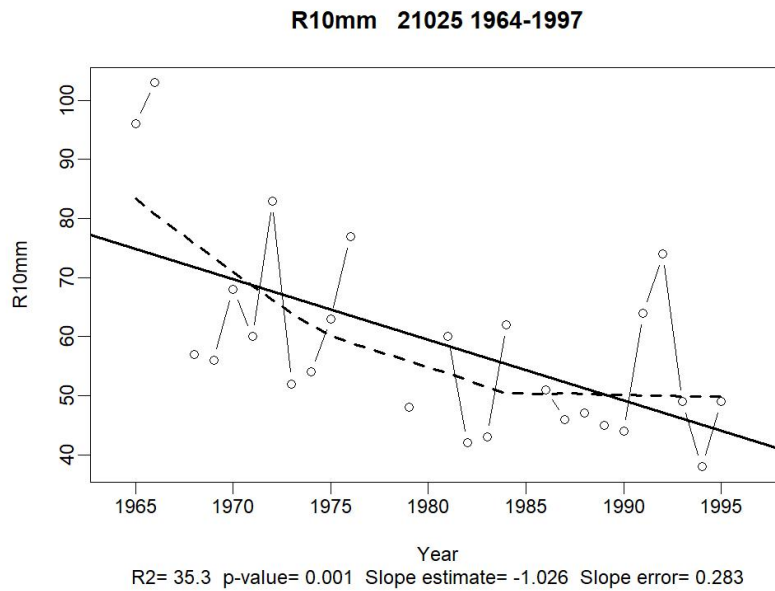
Figura 18. Precipitación total en el municipio de Chilchotla.



3.2.6 Índice climático: Días con precipitación de 10 mm

La gráfica de número de días con precipitación de 10 mm muestra un comportamiento muy parecido a la precipitación total de este mismo municipio, esto quiere decir que también fue afectada por los huracanes mencionados en el punto anterior. Tiene una tendencia negativa en la pendiente de (-1.026) que muestra una disminución y al mismo tiempo comprueba que ha habido un cambio climático con respecto del tiempo. Ver la figura 19.

Figura 19. Número de días con lluvia mayor a 10mm.

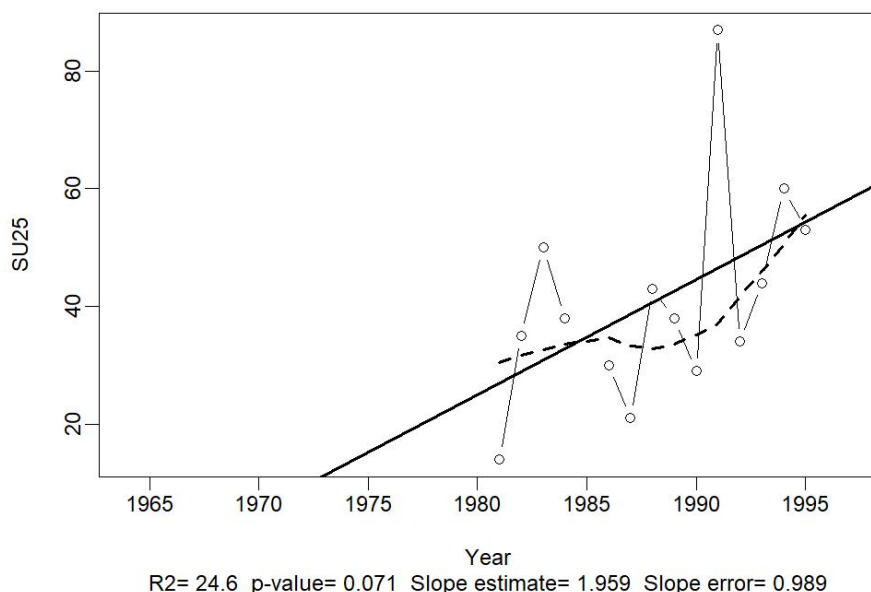


3.2.7 Índice climático: Días de verano

En esta variable existen limitados puntos de observaciones (años) solamente desde 1982-1995 sin ser significativas se puede ver una tendencia al crecimiento de la variable. Ver figura 20.

Figura 20. Días de verano en el municipio de Chilchotla.

SU25 21025 1964-1997



3.3 Ciudad Serdán (Municipio de Chalchicomula de Sesma)

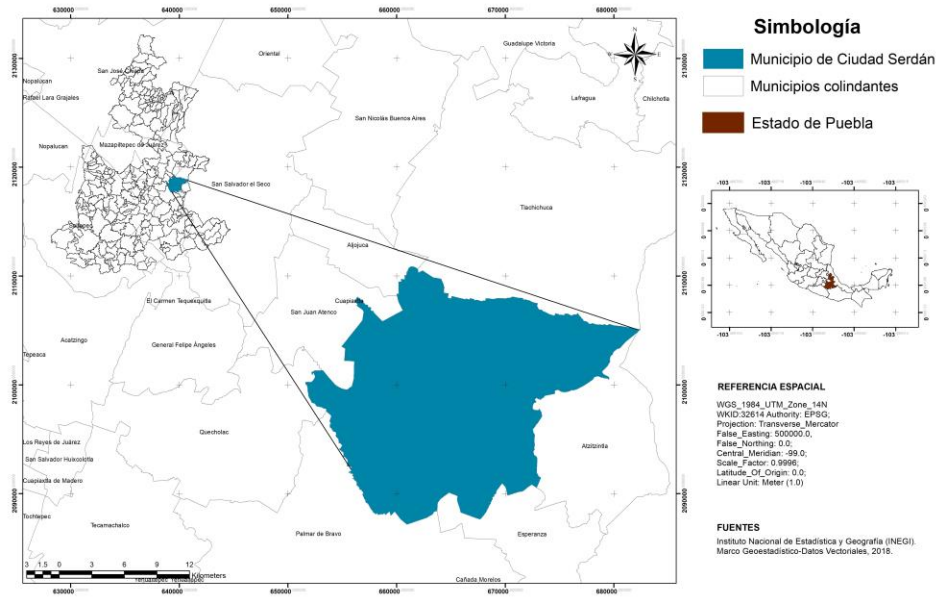
3.3.1 Características del lugar

Ciudad Serdán (Municipio de Chalchicomula de Sesma) se encuentra en la parte centro este del estado de Puebla con las coordenadas de los paralelos de 18° 52'42" y 19° 05'36" de la longitud norte y los meridianos 97° 14'24" y 97° 35'36" de la longitud occidental. Ciudad Serdán está limitada con San Juan Atenco, Tlachichuca y Aljojuca en el norte y Esperanza al sur, por el oeste limita con Palmar de Bravo y Quecholac y al este con Atzitzintla (INAFED; sf c). Tiene una población de 43,882 habitantes y una superficie de 380,958 km² (SEDESOL, sf c)

Ciudad Serdán tiene temperatura 2-16°C y una precipitación de 400-90 mm también cuenta con tres tipos de clima el templado subhúmedo con lluvias en verano (poca humedad) con un 40% el clima templado subhúmedo con lluvias en verano con un 38% y el clima semifrío subhúmedo con lluvias en verano con el 9%. La agricultura es la actividad primaria de Ciudad Serdán ya que el 79% del uso de suelo se le dedica a la agricultura, 3% se utiliza para la zona urbana, el 14% es perteneciente a la zona forestal y 4% de pastizal (INEGI sf c).

El suelo en este municipio es de litosol en la zona montañosa del suroeste, regosol en el centro y faldas del volcán, andosol también cerca del volcán y xerosol en la zona del noroeste. Los principales cultivos de Ciudad Serdán son el maíz, frijol, lechuga, durazno, pera, manzana y membrillo (INAFED, sf c). Ver figura 21.

Figura 21. Localización del municipio de Ciudad Serdán en el estado de Puebla.



3.3.2 Índice climático: Días secos consecutivos

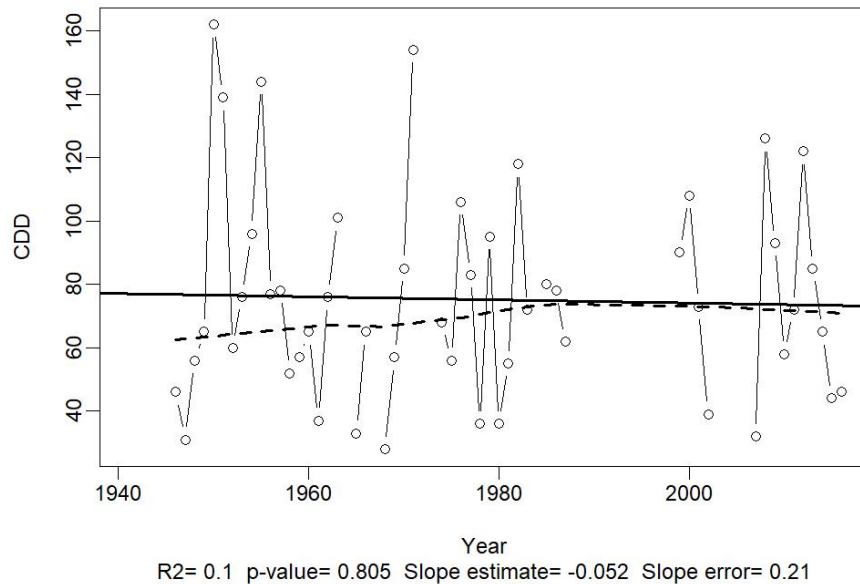
Este gráfico muestra el mayor número de días secos consecutivos en un año en Ciudad Serdán. Donde se tienen datos de 1943 hasta el 2010. Se puede observar una gran variabilidad pero no muestra una significancia ($p=0.805$) en la tendencia, se puede decir que se mantiene sin cambios en la tendencia a través del tiempo. Se pueden ver puntos muy altos en 1953, 1957, 1963, 2006 y 2009 que están relacionados al evento climático conocido como EL NIÑO donde:

- 11 meses en el año 1953 con un aumento de hasta 0.8°C .
- 9 meses en el año 1957 con un aumento de hasta 1.7°C
- 7 meses en el año 1963 con un aumento en la temperatura hasta 1.4°C
- 4 meses en el año 2006 con un aumento en la temperatura hasta 0.6°C
- 6 meses en el año 2009 con un aumento en la temperatura hasta 1.6°C

No solo el evento EL NIÑO tuvo que ver con los datos obtenidos en esta gráfica si no que también las fuertes sequías que afectaron al país jugaron un papel muy importante en este municipio como la sequía de 1948-1954, 1960-1964, 1970-1978 (Domínguez, 2016). Ver la figura 22.

Figura 22. Comportamiento de los días secos consecutivos en un año en el municipio de Ciudad Serdán.

CDD 21026 1941-2016



3.3.3 Índice climático: Días húmedos consecutivos

Para el índice de días húmedos consecutivos en Ciudad Serdán cuenta con información desde 1945 hasta el año 2010 donde se pueden observar varios datos con un valor alto en la década de los años 50's, 60's y 70's. Esto se debe a que en la década de los 70's hubo una gran temporada de huracanes los cuales afectaron esta zona por medio de precipitaciones. Como se ha mencionado anteriormente en la década de los 70's hubieron grandes sequías en el país pero éstas no afectaron a este municipio.

Por lo que se puede inferir que este comportamiento en el municipio se debió a los diversos huracanes que azotaron al país en la década de los 70's (Luna, 1979) y que coinciden con los puntos de la gráfica como:

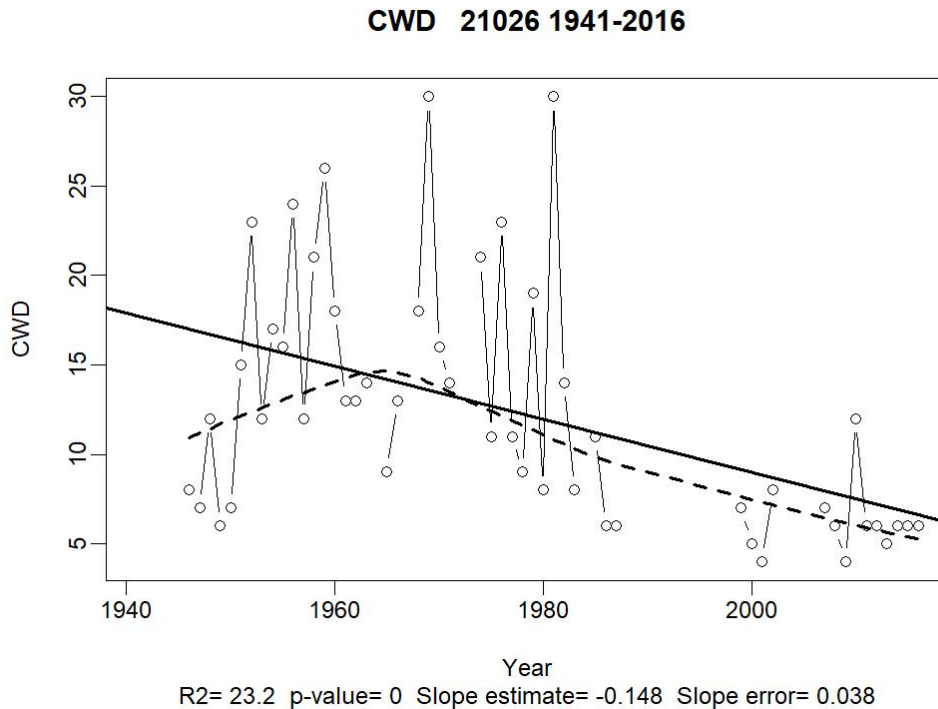
- Huracán Celia (1970)- categoría 3 EHSS
- Huracán Agnes (1972)- categoría 1 EHSS
- Huracán Brenda (1974)- categoría 1 EHSS
- Huracán Eloisa (1975)- categoría 3 EHSS

Mientras tanto en la década de los 50's y 60's el municipio fue afectado por el evento de LA NIÑA en los siguientes años:

1954 durante 8 meses y hasta con una afectación de -0.8°C
1955 durante 12 meses y hasta con una afectación de -1.7°C
1956 durante 9 meses y hasta con una afectación de -1.1°C
1964 durante 8 meses y hasta con una afectación de -0.8°C

Estos fenómenos afectaron al municipio de Ciudad Serdán como se puede ver en la figura 23.

Figura 23. Días húmedos consecutivos en el municipio de Ciudad Serdán.



3.3.4 Índice climático: Días de heladas

En Ciudad Serdán se tienen datos desde el año 1943 hasta el año 2010 en la gráfica de días húmedos consecutivos donde podemos observar una disminución gradual desde los años 40's hasta el 2010 con excepción del año 1999 donde se tienen 67 días de helada consecutivas esto se debe al evento climatológico conocido como LA NIÑA que duró los 12 meses del año y hasta con una temperatura de -1.9°C . Los años 1954, 1955 y 1956 también tuvieron un alto número de días con helada, esto también se le debe a LA NIÑA donde:

8 meses en el año 1954 con un decremento de hasta -0.9°C .

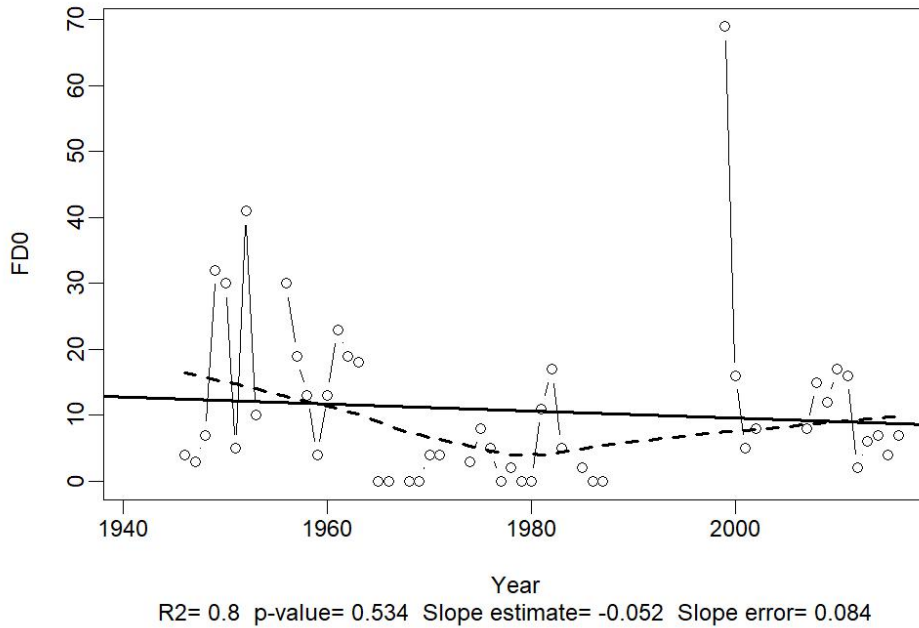
12 meses en el año 1955 con un decremento de hasta -1.9°C

10 meses en el año 1956 con un decremento en la temperatura hasta -1.1°C

Se puede notar que no existe una tendencia ($p = 0.534$) a través del tiempo, pero resalta la gran variabilidad que puede presentarse en algunos años, como fue el caso de 1999. Ver la figura 24.

Figura 24. Días de heladas en un año en el municipio de Ciudad Serdán.

FD0 21026 1941-2016



3.3.5 Índice climático: Precipitación total

En esta gráfica podemos observar el índice de la precipitación total en Ciudad Serdán donde gracias a la pendiente de la recta (-3.681) deja en claro que hay una tendencia negativa lo que significa que respecto a los años transcurridos hay presencia de cambio climático. Podemos observar los valores más altos en los años 1955, 1956 y 1985 gracias al evento de LA NIÑA donde hubo de acuerdo a Climate Prediction Center (sf):

12 meses en el año 1955 con un decremento de hasta -1.9°C

10 meses en el año 1956 con un decremento en la temperatura hasta -1.1°C

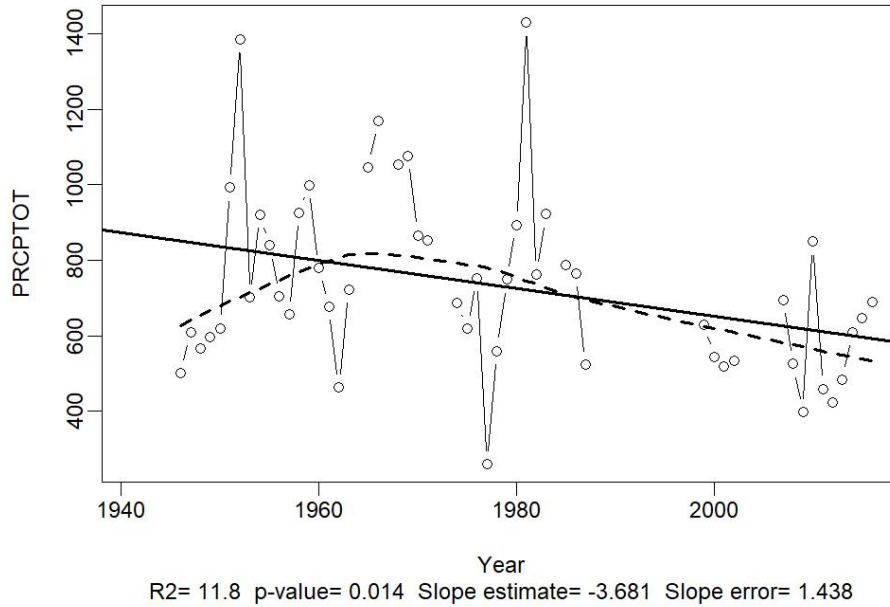
8 meses en el año 1985 con un decremento de hasta -1°C .

También en el año 1955 fue un año donde se registro el huracán Janet el cual fue categoría 5 EHSS y que afecto gravemente al país (ECURED, sf).

Los puntos más bajos de la gráfica fueron en la década de los 70's donde tuvimos una de las peores sequías que han afectado al país (1970-1978) (Domínguez, 2016). Ver figura 25.

Figura 25. Precipitación total por año en el municipio de Ciudad Serdán.

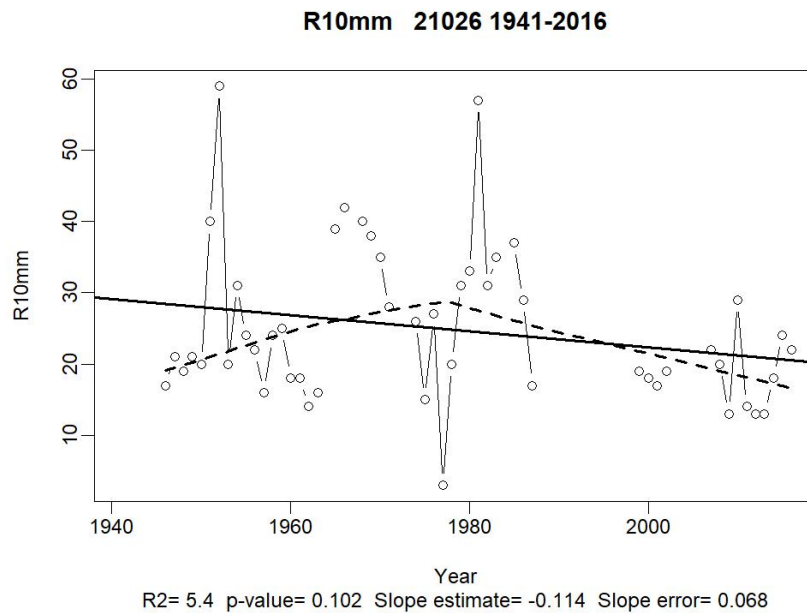
PRCPTOT 21026 1941-2016



3.3.6 Índice climático: Días con precipitación de 10 mm

Esta gráfica representa el número de días en el año con precipitación de 10 mm y podemos notar dos años con un valor muy por encima de los demás esto son los de 1955 donde como ya fue mencionado fue afectado por el evento de LA NIÑA y por el huracán Janet, el otro año fue en 1981 y aunque fue un año neutral (no hubo presencia de EL NIÑO ni de LA NIÑA) pero si se tuvo la presencia de huracanes como el huracán Floyd categoría 3 EHSS y el huracán Harvey categoría 4 EHSS. (Castro y Pérez, 2013). Ver figura 26.

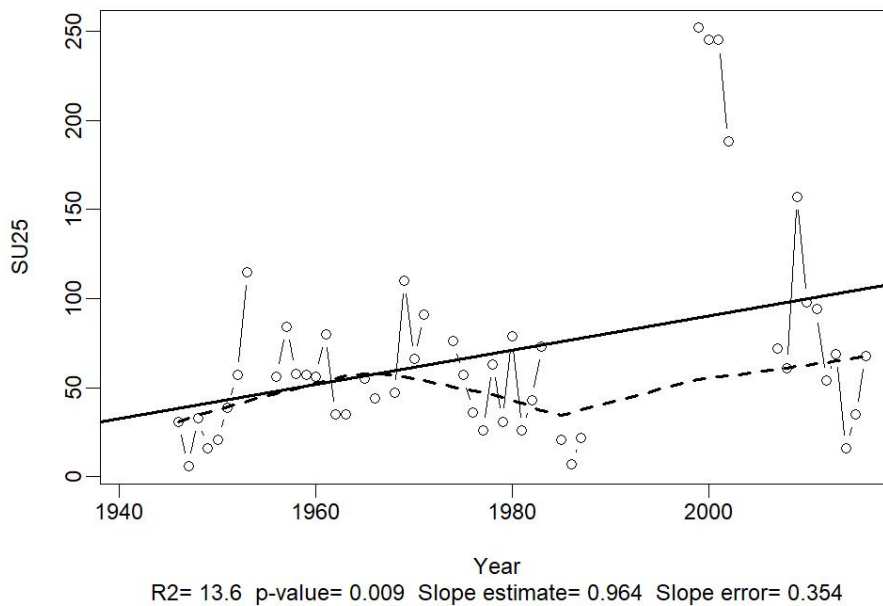
Figura 26. Número de días en un año con lluvias mayor a 10mm en el municipio de Ciudad Serdán.



3.3.7 Índice climático: Días de verano

Esta gráfica muestra los días de verano en el municipio de Ciudad Serdán aunque hace falta información de algunos años se pudo verificar que existe una tendencia ($p=0.009$) a incrementar el número de días de verano a través del tiempo. Esto obviamente tiene su impacto en las actividades agrícolas del municipio. Ver figura 27.

Figura 27. Días de verano en el municipio de Ciudad Serdán.
SU25 21026 1941-2016



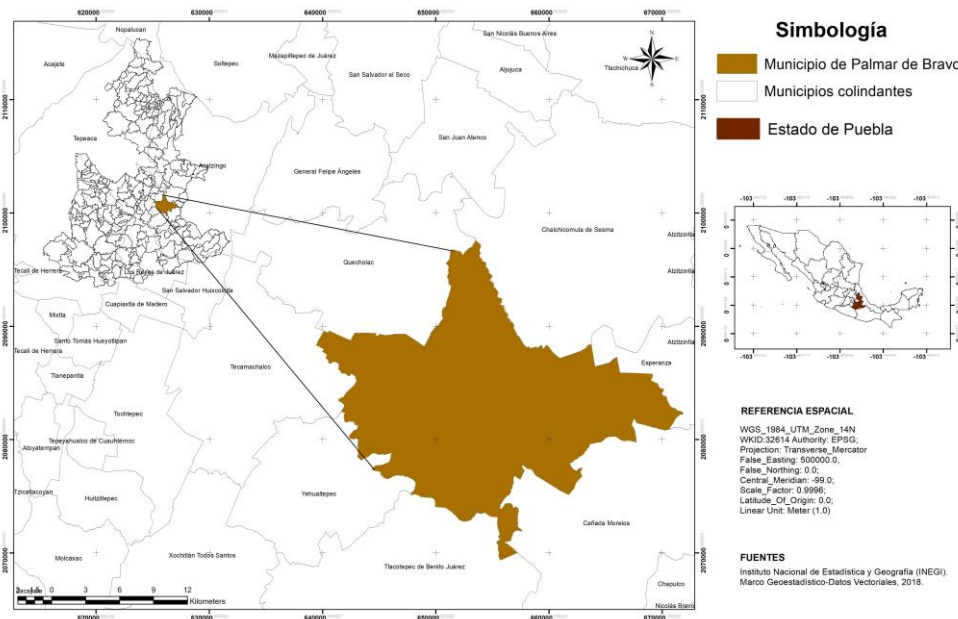
3.4 Municipio de Palmar de Bravo

3.4.1 Características del lugar

Palmar de Bravo cuenta con una población según el último censo del INEGI en el 2010 de 42,887 y el municipio tiene una superficie de 363,384 km² y colinda al noreste con Esperanza, al noroeste con Quecholac, al norte colinda con Ciudad Serdán, el oeste con Tecamachalco, al suroeste con Yehualtepec, al sur con Tlacotepec y al sureste con Cañada Morelos (SEDESOL, sf d). Las coordenadas de este municipio son latitud 18° 45' 36" y 18° 55' 06" 97° 22' 54" y 97° 40' 00" en el meridiano (INAFED, sf d).

El clima en este municipio es semiseco templado con precipitaciones en verano. El suelo en esta región es muy variado tenemos rendzina y cambisol en el sureste, xerosol y regosol en los llanos de San Andrés, Feozem al oriente del municipio y litosol en la Sierra de Soltepec. Los principales cultivos en Palmar de Bravo es el maíz, brócoli, avena, lechuga y jitomate (INAFED, sf d). Ver figura 28.

Figura 28. Ubicación del municipio de Palmar de Bravo en el estado de Puebla.



3.4.2 Índice climático: Días secos consecutivos

Este gráfico muestra los días secos consecutivos por año en el municipio de Palmar de Bravo que datan de 1970 hasta el 2015. Se tienen los mayores puntos en 1972, 1973, 1976, 1977, 1978, 1979, 2002, 2004 y 2005. Los años anteriormente mencionados están directamente relacionados con el evento climatológico de EL NIÑO donde de acuerdo a la Climate Prediction Center (sf) se tuvo:

8 meses en el año 1972 con un aumento de hasta 2.1°C.

3 meses en el año 1973 con un aumento de hasta 1.8°C

4 meses en el año 1976 con un aumento en la temperatura hasta 0.9°C

4 meses en el año 1977 con un aumento en la temperatura hasta 0.8°C

1 mes en el año 1978 con un aumento en la temperatura hasta 0.8°C

3 meses en el año 1979 con un aumento de hasta 0.6°C

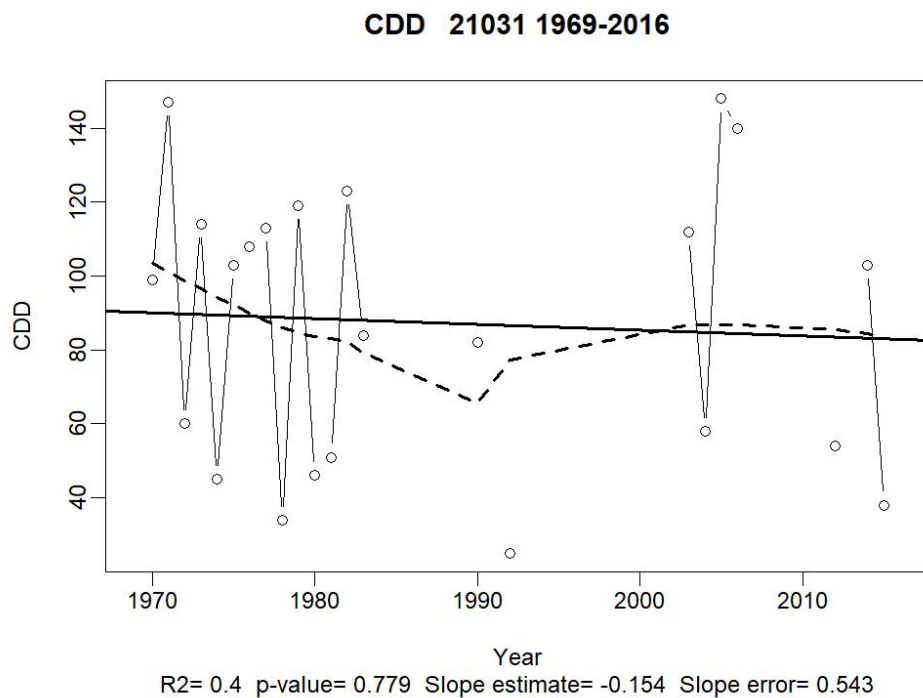
7 meses en el año 2002 con un aumento en la temperatura hasta 1.3°C

6 meses en el año 2004 con un aumento en la temperatura hasta 0.7°C

2 meses en el año 2005 con un aumento en la temperatura hasta 0.6°C

No solo el evento EL NIÑO tuvo que ver con los datos obtenidos en esta gráfica si no que también la fuerte sequía que afectó al país en 1970-1978 (Domínguez, 2016). Ver figura 29.

Figura 29. Días secos consecutivos en el municipio de Palmar de Bravo.



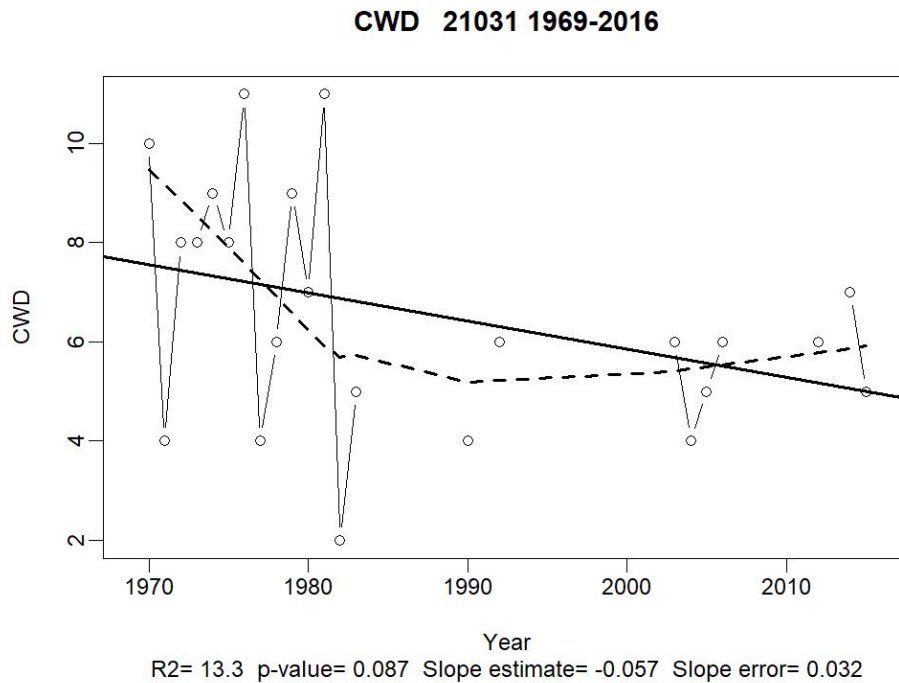
3.4.3 Índice climático: Días húmedos consecutivos

En el municipio de Palmar de Bravo se tienen datos desde 1970 hasta el 2015 con respecto a la gráfica de días húmedo consecutivo y se pueden observar años con valores muy altos en la década de los 70's. Aunque esa década fue afectada por una gran sequía fue también una década que fue afectada por muchos huracanes, en Palmar de Bravo no fue la excepción estos huracanes fueron (Luna, 1979):

- Huracán Celia (1970)- categoría 3 EHSS
- Huracán Agnes (1972)- categoría 1 EHSS
- Huracán Brenda (1974)- categoría 1 EHSS
- Huracán Eloisa (1975)- categoría 3 EHSS
- Huracán Claudia (1976)- categoría 1 EHSS
- Huracán Doreen (1976)- categoría 1 EHSS
- Huracán Heather (1976)- categoría 1 EHSS

Se puede notar que no se presenta una tendencia ($p= 0.087$) a través del tiempo. Ver figura 30.

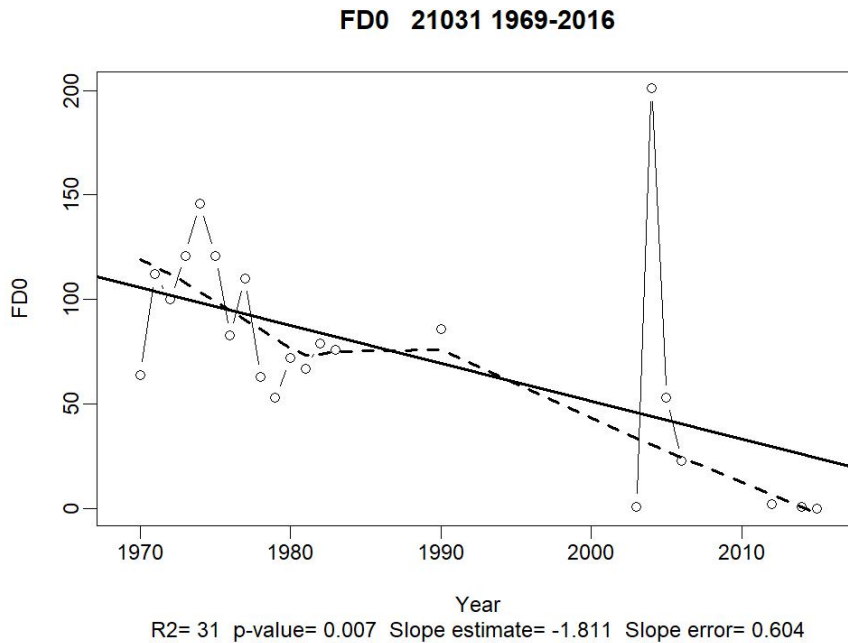
Figura 30. Días húmedos consecutivos en el municipio de Palmar de Bravo.



3.4.4 Índice climático: Días de heladas

En el municipio de Palmar de Bravo hubieron dos años sobresalientes en los días de heladas uno fue en 1975 donde se tuvieron los 12 meses del año con el evento de LA NIÑA hasta con una temperatura de -1.7°C y la otra fue en el 2007 donde se tuvieron 6 meses con el evento de LA NIÑA hasta con una temperatura de -1.4°C (Climate Prediction Center, sf). También fue afectado por los huracanes de 1975 que asolaron al país como lo son el huracán Caroline categoría 3 EHSS, el huracán Eloise categoría 3 EHSS y la depresión tropical diecisiete (luna, 1979). Ver figura 31.

Figura 31. Días de helada en el municipio de Palmar de Bravo.

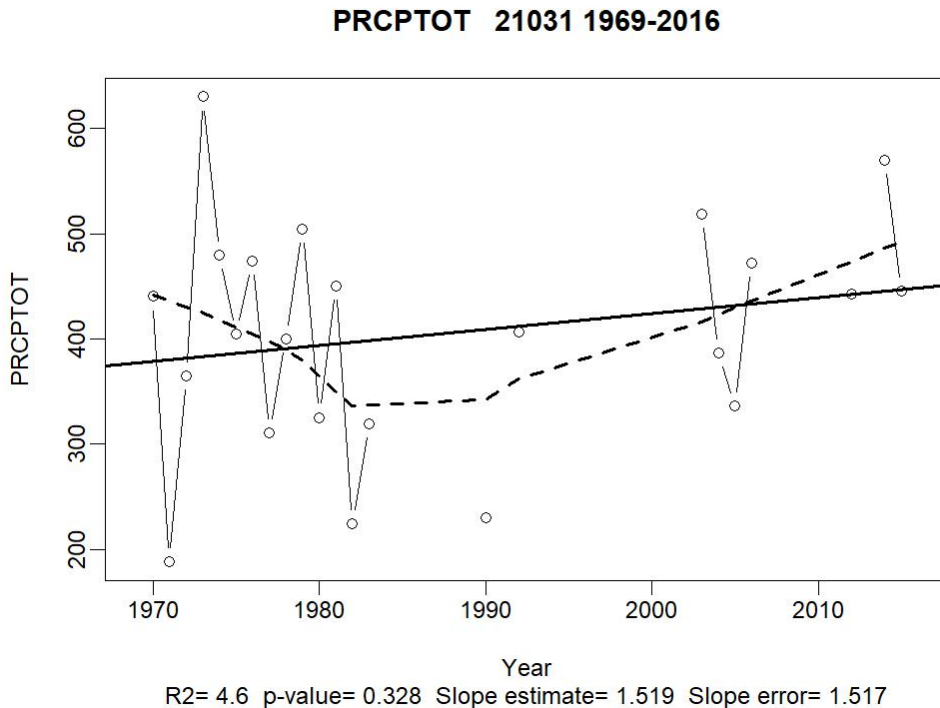


3.4.5 Índice climático: Precipitación total

Esta gráfica muestra la precipitación total en el municipio de Palmar de Bravo donde a pesar de tener sequías en la década de los 70's se pueden notar años con altos valores en este índice. Esto es causado por dos razones, los huracanes y el evento de LA NIÑA. Como se mencionó anteriormente el año 1975 fue un año donde sus 12 meses fue afectado por LA NIÑA con una temperatura que alcanzó hasta los -1.7°C (Climate Prediction Center, sf).

También en el año 1975 el país fue afectado por el huracán Caroline y el huracán Eloise el cual ambos fueron de categoría 3 EHSS así como la depresión tropical diecisiete (Luna, 1979). Ver figura 32.

Figura 32. Precipitación total por año en el municipio de Palmar de Bravo.

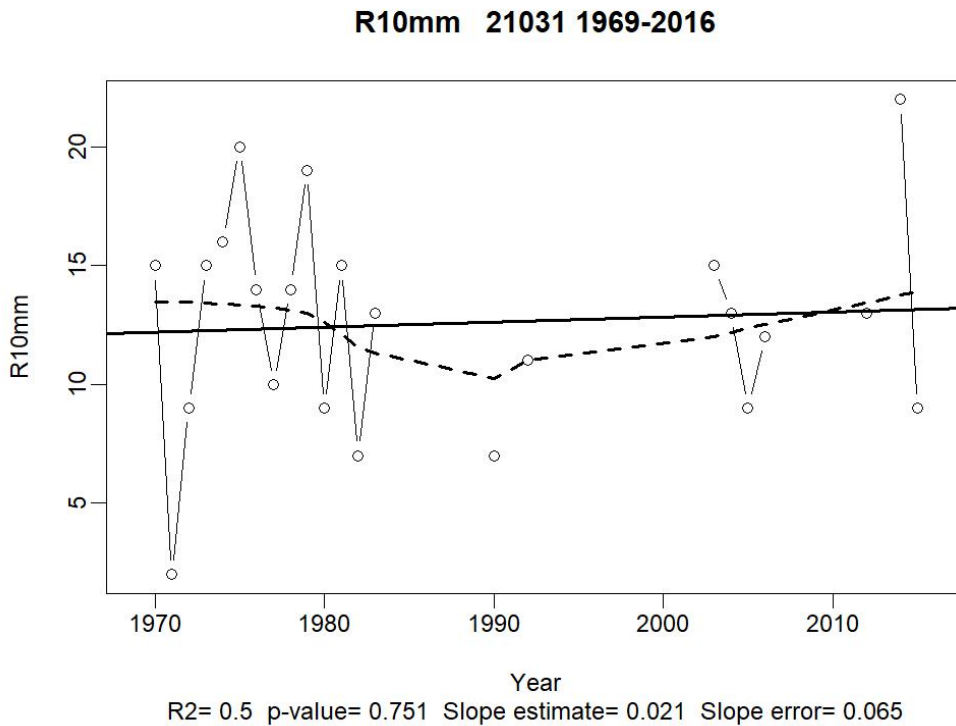


3.4.6 Índice climático: Días con precipitación de 10 mm

Esta gráfica muestra el número de días con precipitación de 10 mm en el municipio de Palmar de Bravo al igual que la precipitación total se pudo observar una gran precipitación durante la década de los 70's y aunque sabiendo que hubo sequía en esta misma década estas precipitaciones se deben al evento de LA NIÑA donde también se mencionó anteriormente que en el año 1975 fue el año donde sus 12 meses fue afectado por LA NIÑA con una temperatura que alcanzó hasta los -1.7°C (Climate Prediction Center, sf).

También en este mismo año el país fue afectado por el huracán Caroline y el huracán Eloise el cual ambos fueron de categoría 3 EHSS así como la depresión tropical diecisiete (Luna, 1979). Ver figura 33.

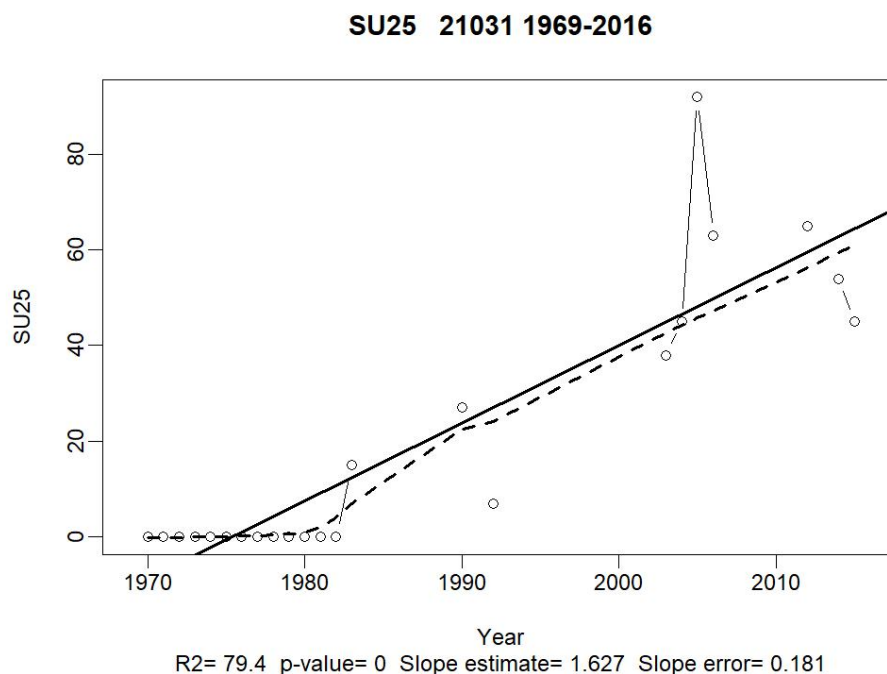
Figura 33. Número de días en un año con lluvias mayor a 10mm en el municipio de Palmar de Bravo.



3.4.7 Índice climático: Días de verano

Esta gráfica muestra los días de verano en el municipio de Palmar de Bravo aunque hace falta información de algunos años se pudo verificar que existe una tendencia ($p=0$) a incrementarse esta variable con mayor fuerza que los otros municipios. Ver figura 34.

Figura 34. Días de verano en el municipio de Palmar de Bravo.



3.5 Municipio de Tepeyahualco estación alchichica

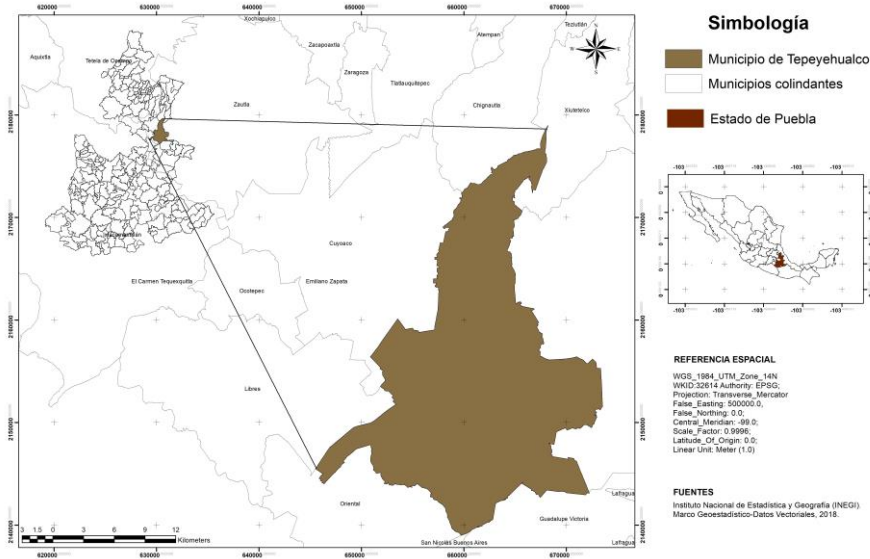
3.5.1 Características del lugar

El municipio de Tepeyahualco cuenta con una población de 16,390 habitantes y una superficie de 551,968 km² como lo indica el censo de INEGI del 2010 (SEDESOL, sf e)

Sus coordenadas son de los paralelos 19° 20' y 19° 42' en la latitud y los meridianos 97° 20' y 97° 37' de longitud. El municipio colinda al sur con Guadalupe Victoria, Oriental y San Nicolás Buenos Aires, al norte con Cuyoaco, Xiutetelco, Chignautla y el estado de Veracruz, al este con Veracruz y Guadalupe Victoria y al oeste con Oriental y Libres (INAFED, sf e).

El clima de este municipio es 70% semiseco templado, 27% templado subhúmedo con lluvias en verano y con el 3% templado con humedad, además hay una temperatura de 12-16°C y una precipitación de 300-700mm. Los principales cultivos en Tepeyahualco son el nopal, uva, maíz, frijol, jitomate, alfalfa y hongo seta (INEGI, 2009 e). Ver figura 35.

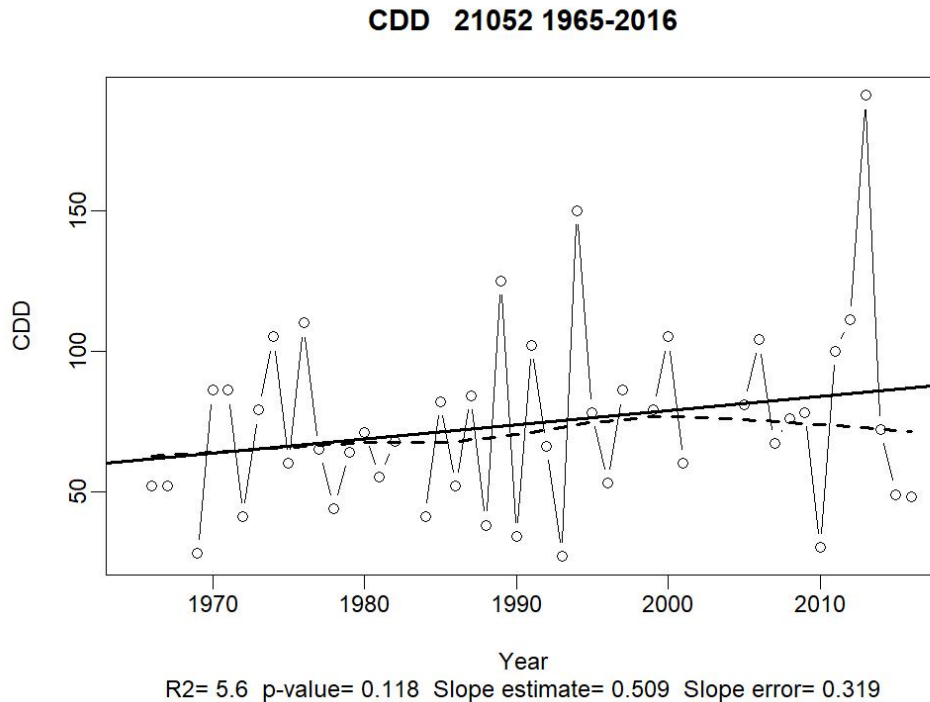
Figura 35. Ubicación del municipio de Tepeyahualco en el estado de Puebla.



3.5.2 Índice climático: Días secos consecutivos

Esta gráfica muestra los días secos consecutivos en el municipio de Tepayahualco desde el año 1965 hasta el año 2015 y donde se tiene el máximo valor en el año 2013 donde fue un año neutral (sin presencia del evento EL NIÑO y LA NIÑA) lo cual se puede inferir que este dato fue gracias a la sequía registrada en el país en el año 2013 (Esparza, 2014). Ver figura 36.

Figura 36. Días secos consecutivos en el municipio de Tepeyahualco.



3.5.3 Índice climático: Días húmedos consecutivos

En este índice podemos ver que hay altos y bajos normalmente regulares y con cierto patrón esto se debe a eventos climatológicos como el EL NIÑO y LA NIÑA y huracanes. En el año 2012 se registró un valor muy alto en días húmedos consecutivos el cual se debe a que este año fue afectado por el evento de LA NIÑA con tres meses durante el año y hasta una afectación de -0.8°C (Climate Prediction Center, sf).

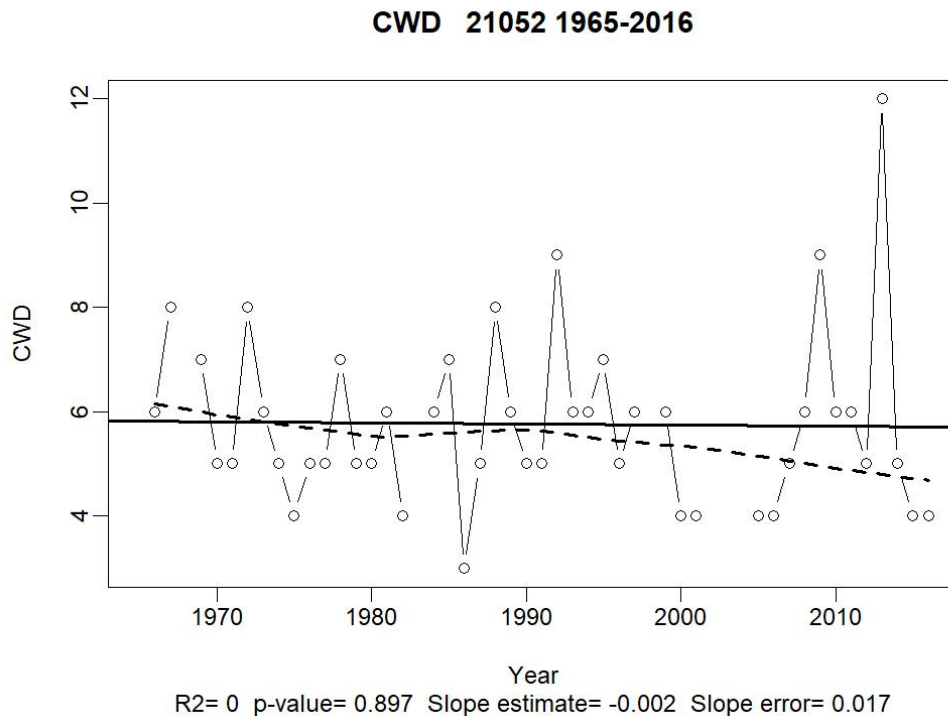
También este año fue afectado por medio de precipitaciones causadas por los huracanes y tormentas tropicales como son (Castro y Pérez, 2013):

- Tormenta tropical Ernesto
- Tormenta tropical Beryl
- Huracán Chris categoría 1 EHSS
- Tormenta tropical Debby
- Huracán Ernesto categoría 2 EHSS
- Tormenta tropical Helene
- Huracán Issac categoría 1 EHSS

Huracán Sandy categoría 3 EHSS

Estos fenómenos impactaron a este municipio como se puede ver en la figura 37.

Figura 37. Días húmedos consecutivos en el municipio de Tepeyahualco.

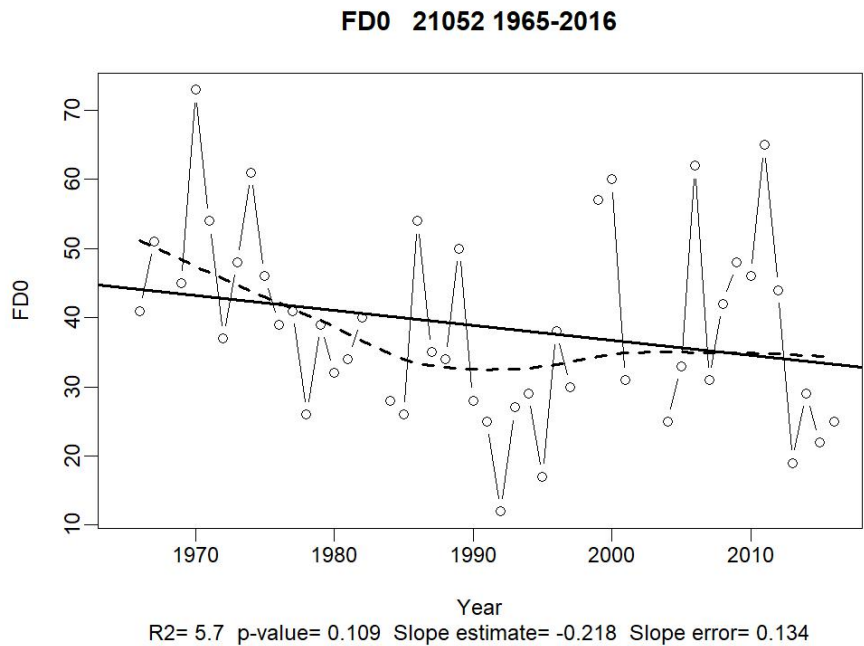


3.5.4 Índice climático: Días de heladas

El índice mostrado en esta gráfica muestra los años en los cuales hubieron heladas desde 1965 hasta el 2015, los valores más altos están registrados en 1971, 1974, 2007 y 2011 los cuales están relacionados directamente con el evento climatológico de LA NIÑA el cual muestra la siguiente información para estos años:

- En 1971 hubieron 12 meses del año afectando hasta con -1.8°C
- En 1974 hubieron 10 meses del año afectando hasta con -1.8°C
- En 2007 hubieron 6 meses del año afectando hasta con -1.1°C
- En 2011 hubieron 11 meses del año afectando hasta con -1.4°C (Climate Prediction Center, sf). Ver figura 38.

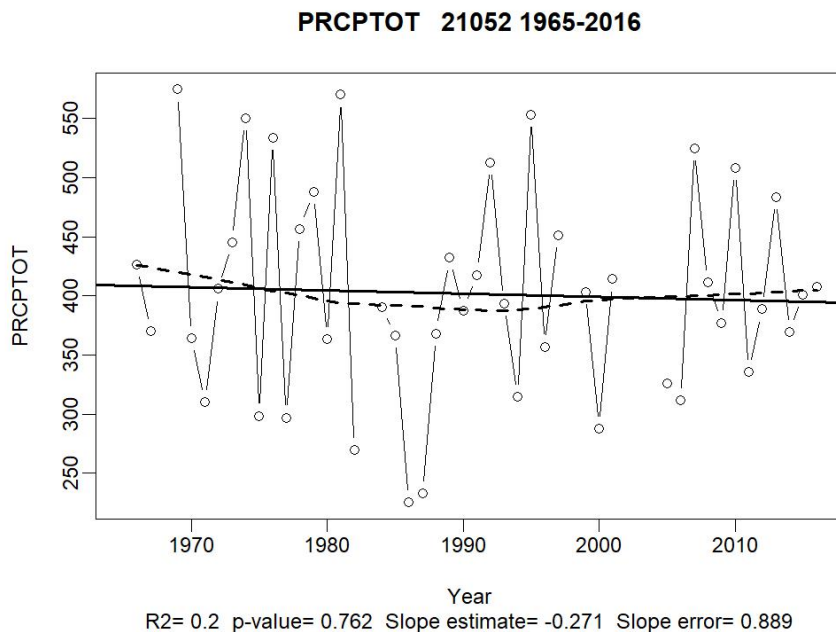
Figura 38. Días de helada en el municipio de Tepeyahualco.



3.5.5 Índice climático: Precipitación total

Para el índice de precipitación total se puede observar que ha habido bastante actividad teniendo valores muy altos registrados, se puede notar que aunque en la sequía de la década de los 70's y la de 1993-1996 fue muy fuerte en el país, ésta no afectó este municipio. (Domínguez, 2016). Lo que se observa en esta gráfica es que la precipitación tiene un gran cambio año con año, sin embargo, el promedio se mantiene a través del tiempo. Como el agua es fundamental para los cultivos es claro que esa variabilidad va a afectar la producción y las familias campesinas se encontrarán con presencia de años buenos y años malos que obviamente afectan sus condiciones de vida. Ver figura 39.

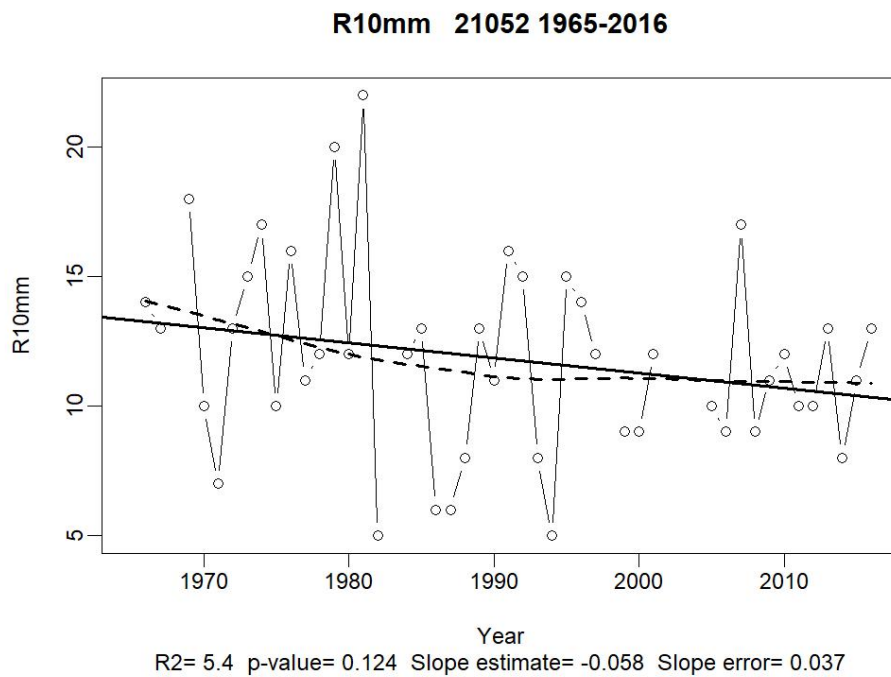
Figura 39. Precipitación total en el municipio de Tepeahualco



3.5.6 Índice climático: Días con precipitación de 10 mm

Al igual que el índice de precipitación total, el número de días con lluvias hasta 10 mm, muestra bastante actividad ya que en varios años hay un alto registro de datos, esto quiere decir que además que hubieron años buenos y años malos para la agricultura en este municipio, hubieron bastantes lluvias intensas las cuales pudieron favorecer la actividad del campo. Ver figura 40.

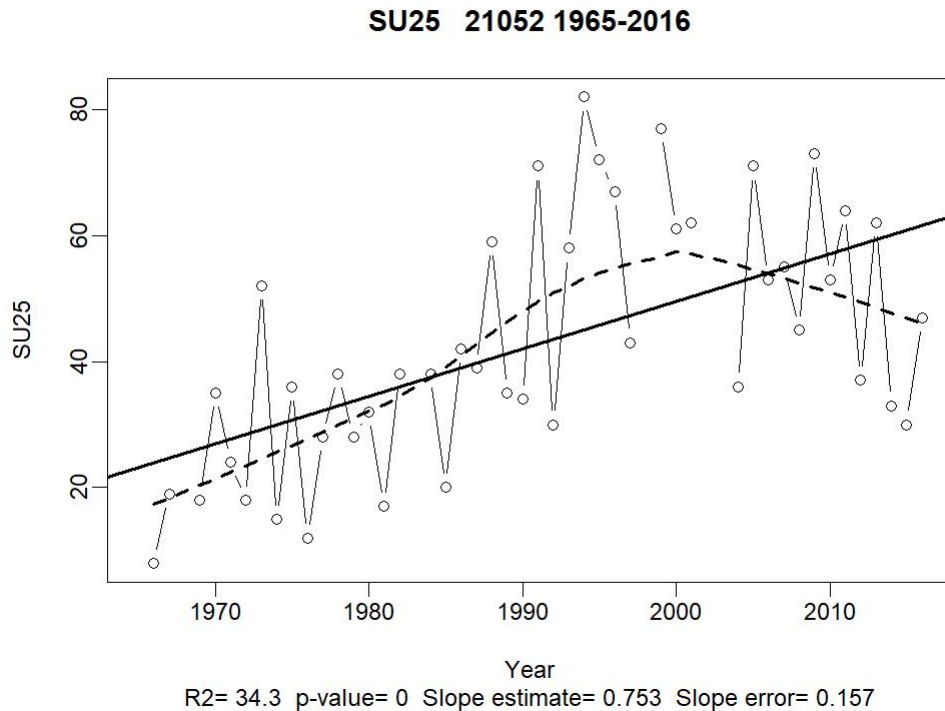
Figura 40. Número de días en un año con lluvias mayor a 10mm en el municipio de Tepeyahualco.



3.5.7 Índice climático: Días de verano

En la gráfica se observa un incremento en el número de días de verano a través del tiempo (pendiente = 0.753) en este sentido es posible observar que a través del tiempo el clima va teniendo algunos cambios donde es necesario evaluar los cambios en las actividades productivas y estudiar nuevas formas de enfrentar los cambios. Ver figura 41.

Figura 41. Días de verano en el municipio de Tepeyahualco.



3.6 Municipio de Guadalupe Victoria

3.6.1 Características del lugar

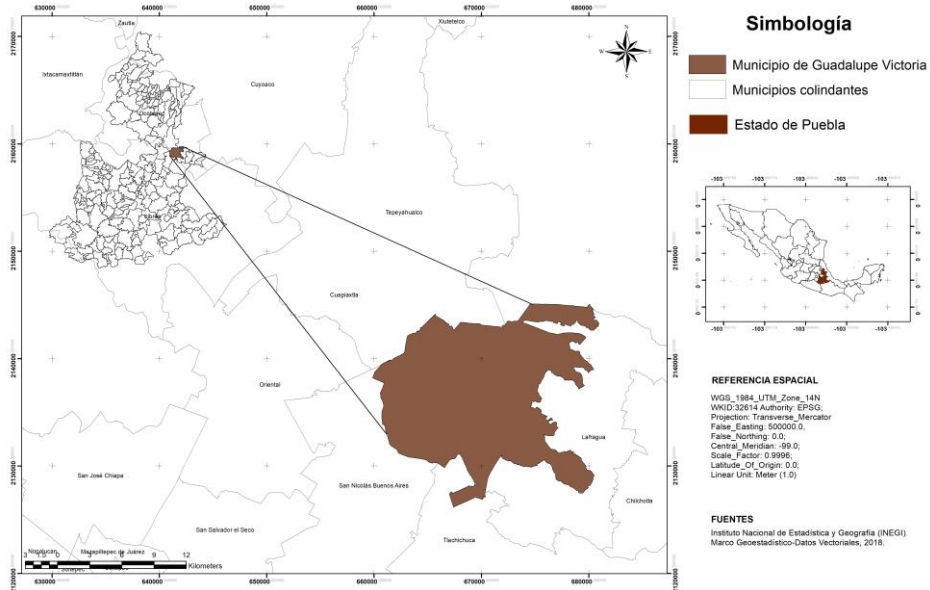
El municipio de Guadalupe Victoria tiene una población de 16,551 habitantes y una superficie de 228,772 km² según indica el censo de INEGI del año 2010 (SEDESOL, sf f). Las coordenadas de este municipio es de 19° 14'54" y 19° 25'42" de latitud y 97° 15'54" y 97° 31'06" de longitud. Guadalupe Victoria colinda al sur con Tlachichuca, al norte con Tepeyahualco, al oeste con San Nicolás Buenos Aires y al este con Lafragua (INAFED, sf f).

El clima de este municipio es de 77% semiseco templado, 16% templado subhúmedo con lluvia (humedad baja), 3% semifrío subhúmedo (humedad media), 2% templado subhúmedo con lluvias en verano (humedad media) y semifrío subhúmedo con lluvias en verano (humedad alta) (INEGI, 2009 f).

En el aspecto edafológico de este municipio hay varios tipos de suelo como andosol de la Sierra de Quimixtlán, Fluvisol en la parte sur del municipio, Feozem y litosol en la parte montañosa y regosol que es el suelo predominante (INAFED, sf f). El

uso de suelo consiste en 63% de la agricultura, 14% zona forestal, 12% la zona matorral, 8% la zona pastizal, 1% zona urbana y 1% es el área sin vegetación. Los principales cultivos de este municipio son el frijol, maíz, papa, haba, trigo, alfalfa y cebada (INEGI, 2009 f). Ver figura 42.

Figura 42. Ubicación de Guadalupe Victoria en el estado de Puebla.



3.6.2 Índice climático: Días secos consecutivos

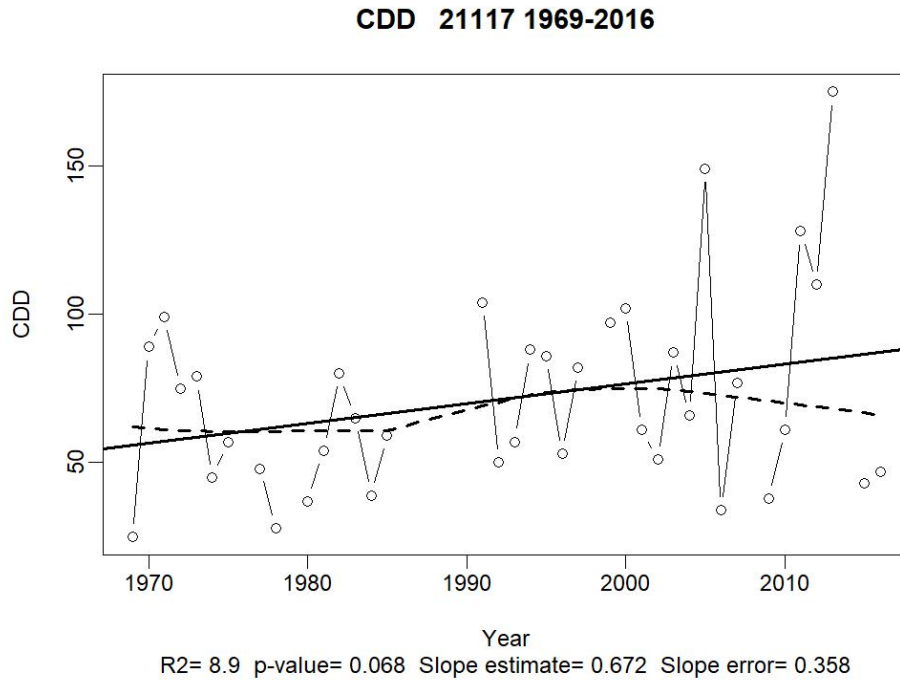
En el municipio de Guadalupe Victoria se cuenta con información desde 1970 hasta el 2015 donde se puede notar que los años que fueron más secos fueron en 2004 y 2015 los cuales directamente relacionados con el evento EL NIÑO con los datos (Climate Prediction Center, sf):

6 meses del año en 2004 hasta con un aumento de 0.7°C

12 meses del año en 2015 hasta con un aumento de 2.7°C

En la década de los 70's se tuvo una época de sequía lo cual ésta pudo haber afectado en los días secos consecutivos en 1972. (Domínguez, 2016). Ver figura 43.

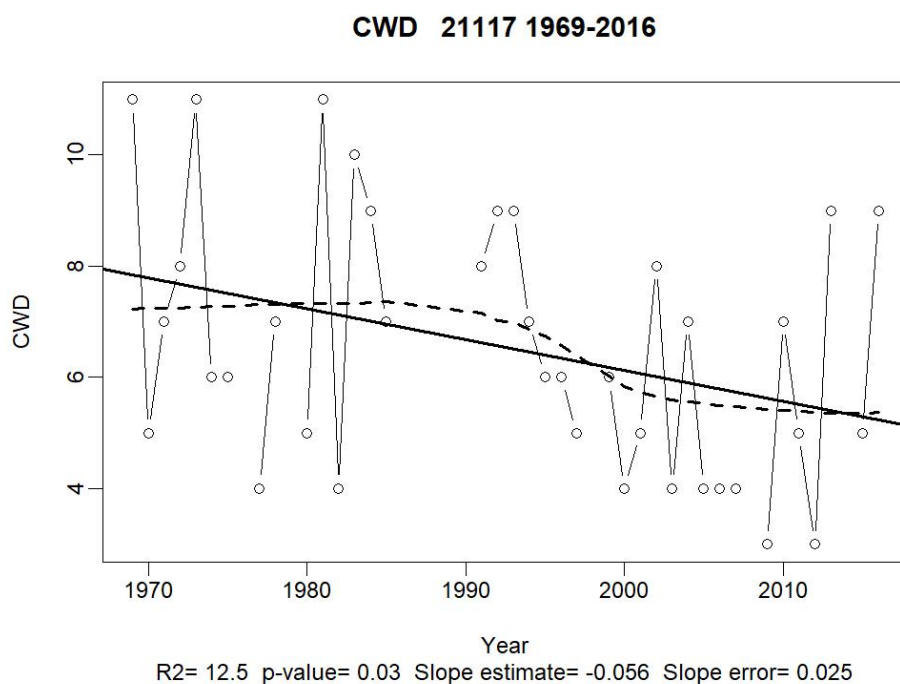
Figura 43. Número de días secos consecutivos en el municipio de Guadalupe Victoria.



3.6.3 Índice climático: Días húmedos consecutivos

En el municipio de Guadalupe Victoria en el índice de días húmedos consecutivos se tiene el año más alto en 1981 y aunque este fue un año neutral (sin presencia de EL NIÑO o LA NIÑA) se tuvo la presencia de varios huracanes como el huracán Floyd categoría 3 EHSS y el huracán Harvey categoría 4 EHSS. También aunque hubo sequía en la década de los 70's hay un índice alto en el año de 1975 donde el municipio fue afectado por el Huracán Eloisa que fue categoría 3 EHSS (Castro y Pérez, 2013). Ver figura 44.

Figura 44. Número de días húmedos consecutivos en el municipio Guadalupe Victoria.



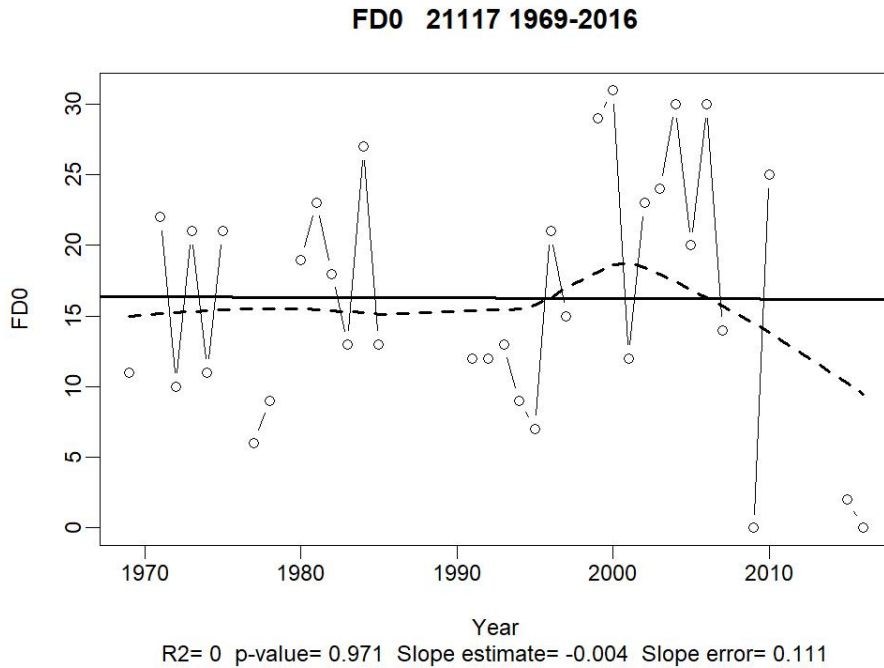
3.6.4 Índice climático: Días de heladas

En el municipio de Guadalupe Victoria nos arroja datos desde el año 1970 hasta el 2013 donde sólo cuenta con dos puntos máximos en los valores con respecto a los días de heladas y estos son los años 1983, 2000, 2001, 2005, 2008 y 2010 donde:

En 1983 con 4 meses del año afectando hasta con -1°C
 En el 2000 con 12 meses del año afectando hasta con -1.7°C
 En el 2001 con 2 meses del año afectando hasta con -0.7°C
 En el 2005 con 2 meses del año afectando hasta con -0.6°C
 En el 2008 con 8 meses del año afectando hasta con -1.6°C
 En el 2010 con 7 meses del año afectando hasta con -1.7°C
 (Climate Prediction Center).

Estos fenómenos impactaron al municipio de Guadalupe Victoria como podemos ver la figura 45.

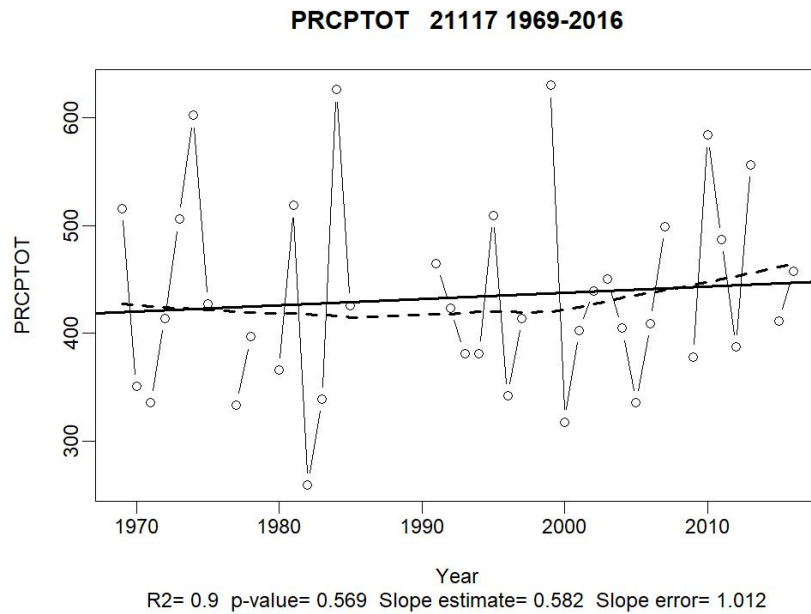
Figura 45. Días de helada en el municipio de Guadalupe Victoria.



3.6.5 Índice climático: Precipitación total

Para el índice de precipitación total se puede observar que hubo bastante actividad teniendo valores muy altos registrados, se puede notar que aunque en la sequía de la década de los 70's fue muy fuerte en el país, ésta no afectó este municipio, en cambio la sequía de 1993-1996 sí afectó al municipio (Domínguez, 2016). Lo que se observa en esta gráfica es que la precipitación tiene un gran cambio a través de los años, sin embargo, el promedio se mantiene. La actividad pluvial es necesaria para la agricultura es por esto que si tenemos tanta variabilidad como muestra esta gráfica significa que los pobladores de este municipio han tenido años muy buenos y también años desastrosos con respecto a la agricultura. Ver figura 46.

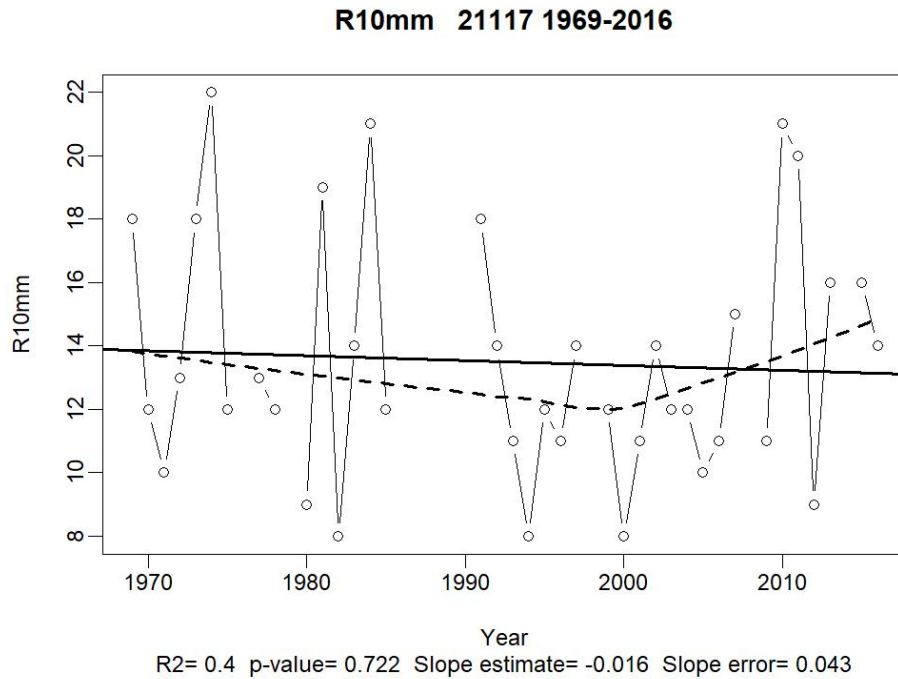
Figura 46. Precipitación por año en el municipio de Guadalupe Victoria.



3.6.6 Índice climático: Días con precipitación de 10 mm

En este índice y al igual que el analizado para este municipio de precipitación de 10 mm, ha sido muy activo ya que a través de los años hay altos datos registrados lo que significa que los pobladores de este municipio han podido utilizar estas lluvias para la agricultura, sin embargo, en muchos otros años, éstos se han visto enfrentando graves problemas. Ver figura 47.

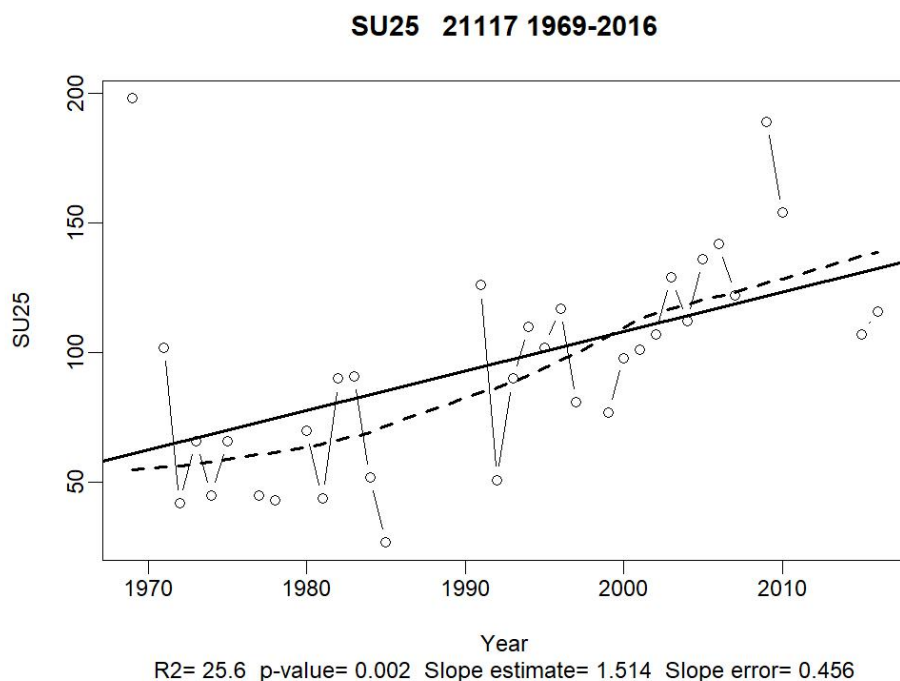
Figura 47. Número de días en un año con lluvias mayor a 10mm



3.6.7 Índice climático: Días de verano

El índice en esta gráfica tiene un incremento en el número de días de verano a través del tiempo (pendiente = 1.514) se puede observar que a través del tiempo el clima va cambiando, es necesario evaluar los cambios en las actividades productivas y estudiar nuevas formas de enfrentar los cambios. Ver figura 48.

Figura 48. Días de Verano en el municipio de Guadalupe Victoria.



3.7 Municipio de Guadalupe Victoria estación Guadalupe Buena Vista

3.7.1 Índice climático: Días secos consecutivos

En la estación de Guadalupe Buena Vista en el municipio de Guadalupe Victoria se cuenta con información desde 1960 hasta el 2015 donde se puede notar que los años que fueron más secos fueron en 1963, 1972, 2004 y 2015 los cuales directamente relacionados con el evento EL NIÑO con los datos (Climate Prediction Center, sf):

7 meses del año en 1963 hasta con un aumento de 1.4°C

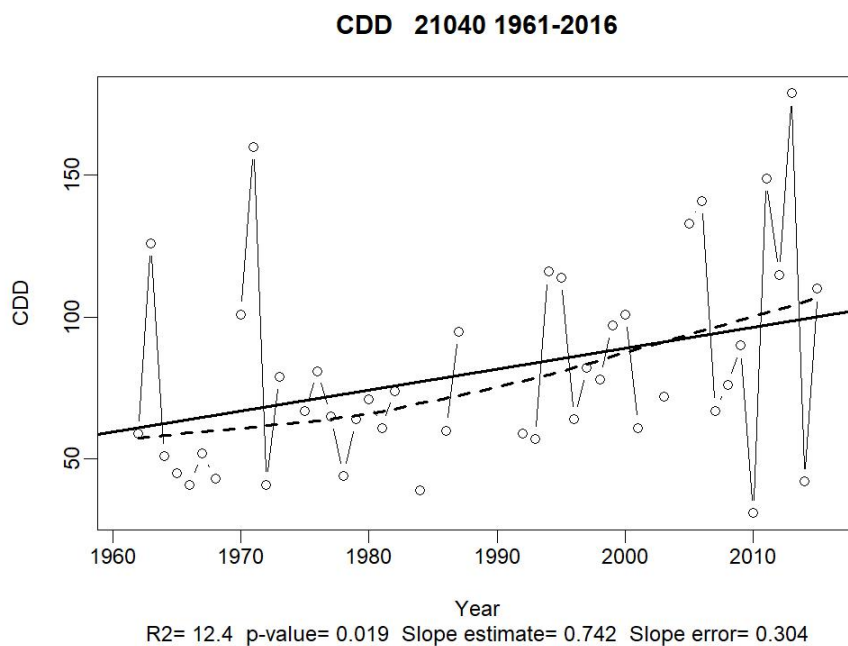
8 meses del año en 1972 hasta con un aumento de 2.1°C

6 meses del año en 2004 hasta con un aumento de 0.7°C

12 meses del año en 2015 hasta con un aumento de 2.7°C.

Recordemos que en la década de los 70's se tuvo una época de sequía lo cual esta pudo haber influenciado en los días secos consecutivos en 1972. (Domínguez, 2016). Ver figura 49.

Figura 49. Comportamiento de días secos consecutivos en el municipio de Guadalupe Victoria en la estación Guadalupe Buena Vista.

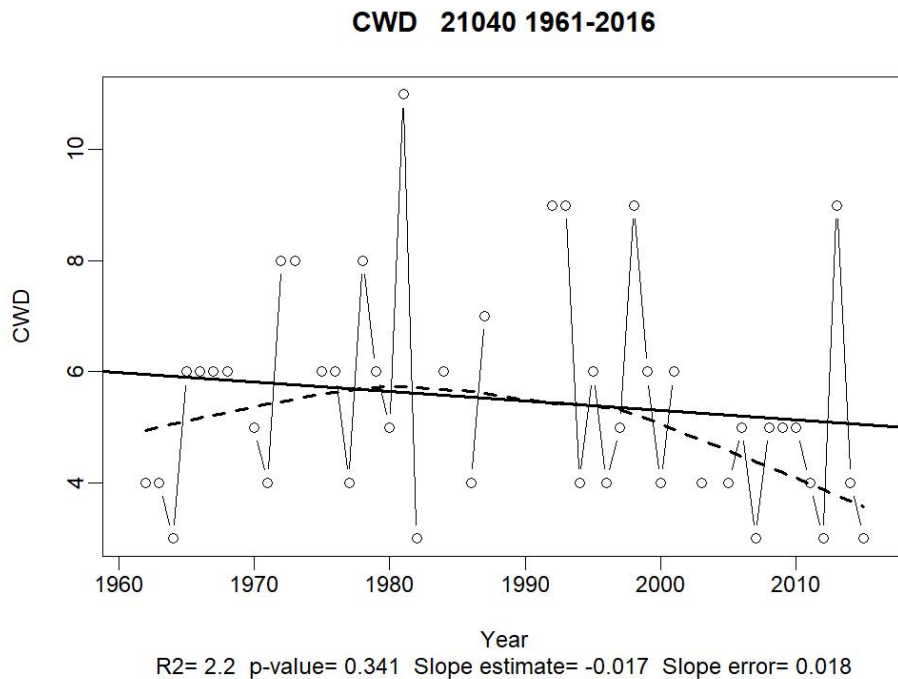


3.7.2 Índice climático: Días húmedos consecutivos

En la estación de Guadalupe Buena Vista en el municipio de Guadalupe Victoria en el índice de días húmedos consecutivos se tiene el año más alto en 1981 y aunque este fue un año neutral (sin presencia de EL NIÑO o LA NIÑA) se tuvo la presencia de varios huracanes como el huracán Floyd categoría 3 EHSS y el huracán Harvey categoría 4 EHSS (Castro y Pérez, 2013).

Se tienen otros altos valores en la década de los 90's como es el caso de 1999 donde este año sí tuvo presencia del evento de LA NIÑA durante todo el año y con un efecto de -1.7°C . (Climate Prediction Center, sf). Ver la figura 50.

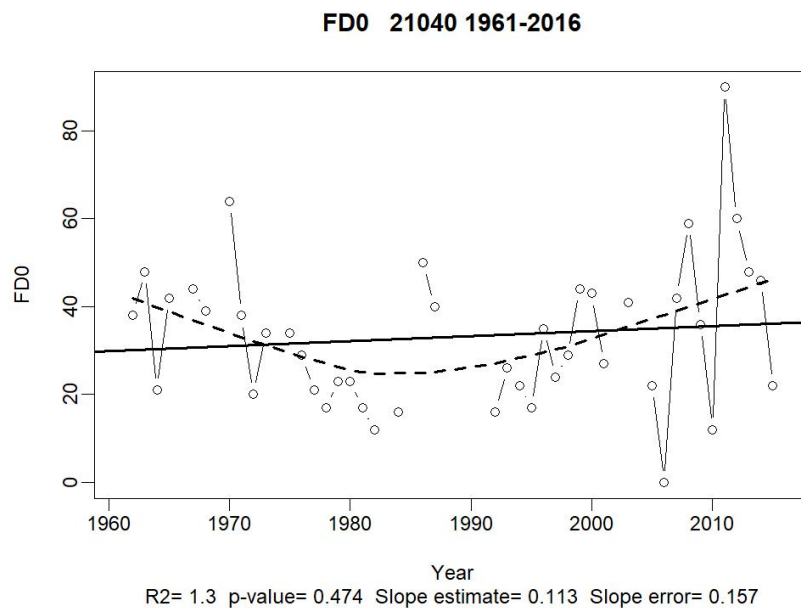
Figura 50. Comportamiento por año de días húmedos consecutivos en el municipio de Guadalupe Victoria en la estación de Guadalupe Buena Vista.



3.7.3 Índice climático: Días de heladas

En el municipio de Guadalupe Victoria de la estación de Guadalupe Buena Vista nos arroja datos desde el año 1960 hasta el 2013 donde sólo cuenta con dos puntos máximos en los valores con respecto a los días de heladas y estos son los años 1971 y 2011, ambos años coinciden con la presencia del evento climatológico de LA NIÑA en el año 1971 se tuvieron los 12 meses con LA NIÑA y hasta con -1.4°C y en el 2011 se tuvieron 7 meses con LA NIÑA y hasta con -1.4°C (Climate Prediction Center, sd). Ver figura 51.

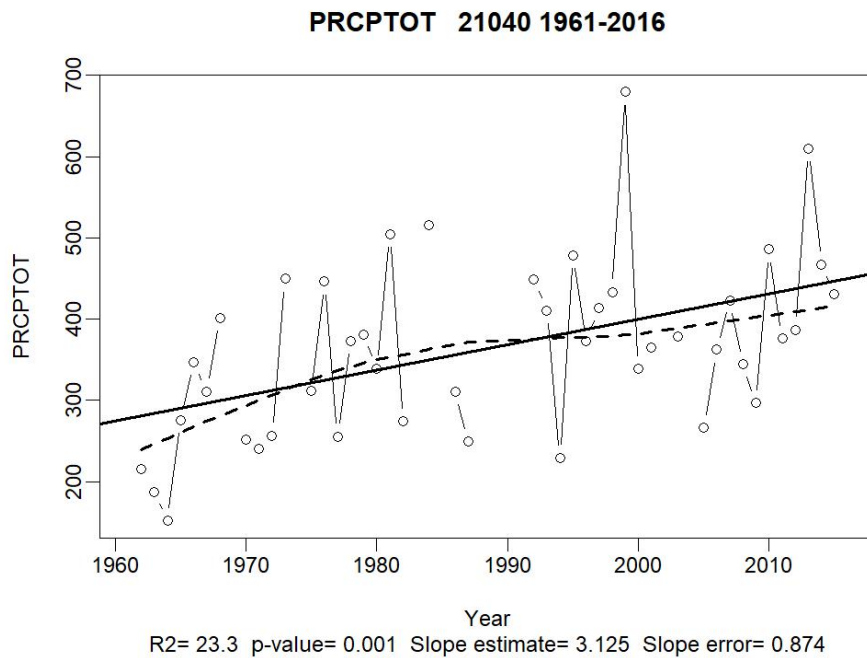
Figura 51. Comportamiento de días de heladas por año en el municipio de Guadalupe Victoria en el municipio de Guadalupe Buena Vista.



3.7.4 Índice climático: Precipitación total

En el municipio de Guadalupe Victoria en la estación de Guadalupe Buena Vista se obtuvieron los datos mostrados en la gráfica para el índice de la precipitación total en donde el año que tuvo un valor más alto fue el del año 1999 en el cual se tuvieron los 12 meses del año con el evento climatológico de LA NIÑA y con un efecto de hasta -1.7°C (Climate Prediction Center, sf). Donde también fue un año que fue impactado por múltiples huracanes como el huracán Bret que fue categoría 4 EHSS, el huracán Dennis que fue de categoría 2 EHSS y el huracán Floyd que fue categoría 3 EHSS (Castro y Pérez, 2013). Ver figura 52.

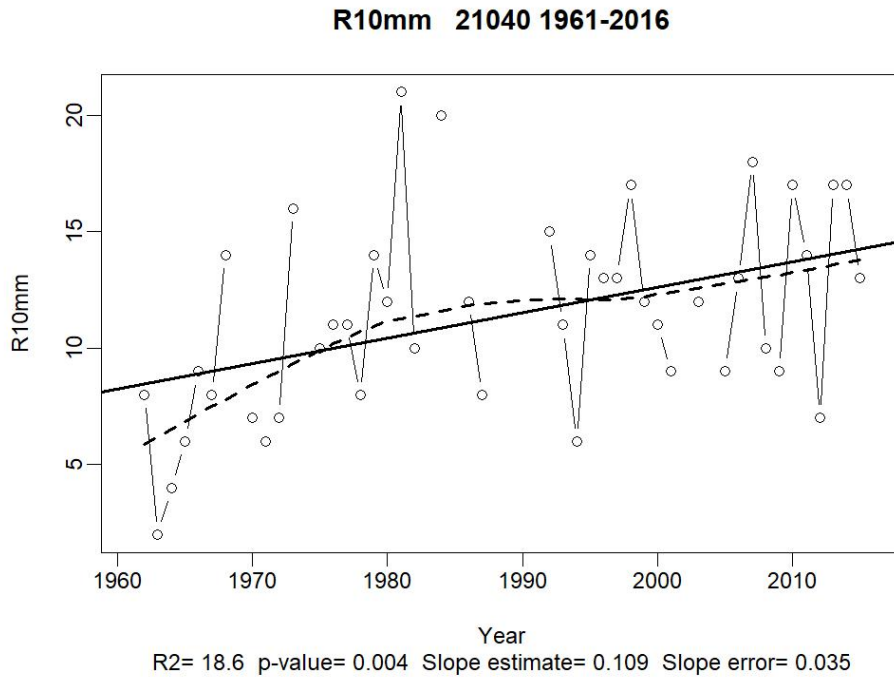
Figura 52. Precipitación total en el municipio de Guadalupe Victoria en la estación Guadalupe Buena Vista.



3.7.5 Índice climático: Días con precipitación de 10 mm

En la estación de Guadalupe Buena Vista que se encuentra en el municipio de Guadalupe Victoria se obtuvieron los datos de número de días al año con precipitación de 10 mm, donde se tiene el valor más alto en el año 1981, este año fue un año neutral lo cual significa que no hubo presencia de eventos climatológicos como el de EL NIÑO y LA NIÑA, lo que si pudo haber afectado en tanto a lluvias intensas ese año fue la presencia de huracanes como el huracán Floyd categoría 3 EHSS y el huracán Harvey categoría 4 EHSS (Castro y Pérez, 2013). Ver figura 53.

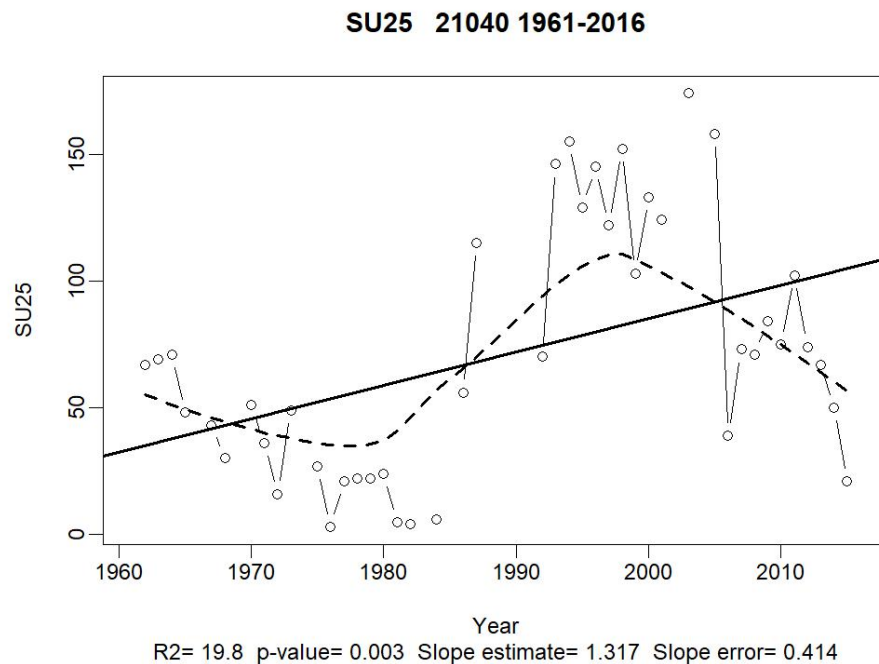
Figura 53. Número de días en un año con lluvias mayor a 10mm



3.7.6 Índice climático: Días de verano

En la estación de Guadalupe Buena Vista se puede observar que los días de verano van en aumento a través del tiempo lo cual significa que está habiendo un cambio climático ya que existe una tendencia ($p=0.003$) a incrementar. Ver la figura 54.

Figura 54. Días de verano en la estación Guadalupe Buena Vista en el municipio de Guadalupe Victoria.



3.8 Municipio de Guadalupe Victoria estación el progreso

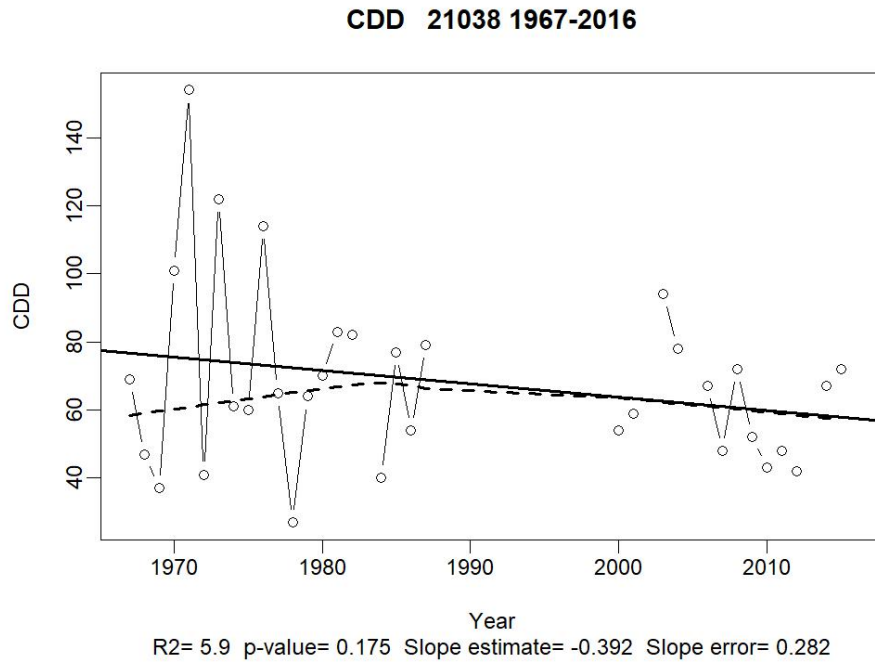
3.8.1 Índice climático: Días secos consecutivos

En el municipio de Guadalupe Victoria en la Estación del Progreso se puede ver que solo se tienen registrados altos valores para los días secos consecutivos en la década de los años 70's esto fue afectado por la gran sequía que el país sufrió en esa década (Domínguez, 2016), también se presentó el evento EL NIÑO en 1970, 1972, 1973, 1976, 1977, 1978 y 1979 con datos según el Climate Prediction Center (sf) de:

- En 1970 con 1 mes del año afectando hasta 1.1°C
- En 1972 con 8 meses del año afectando hasta 1.4°C
- En 1973 con 3 meses del año afectando hasta 0.7°C
- En 1976 con 4 meses del año afectando hasta 2°C
- En 1977 con 6 meses del año afectando hasta 0.8°C
- En 1978 con 1 mes del año afectando hasta 0.7°C
- En 1979 con 3 meses del año afectando hasta 0.6°C

Estos fenómenos afectaron al municipio de Guadalupe Victoria como se puede ver en la figura 55.

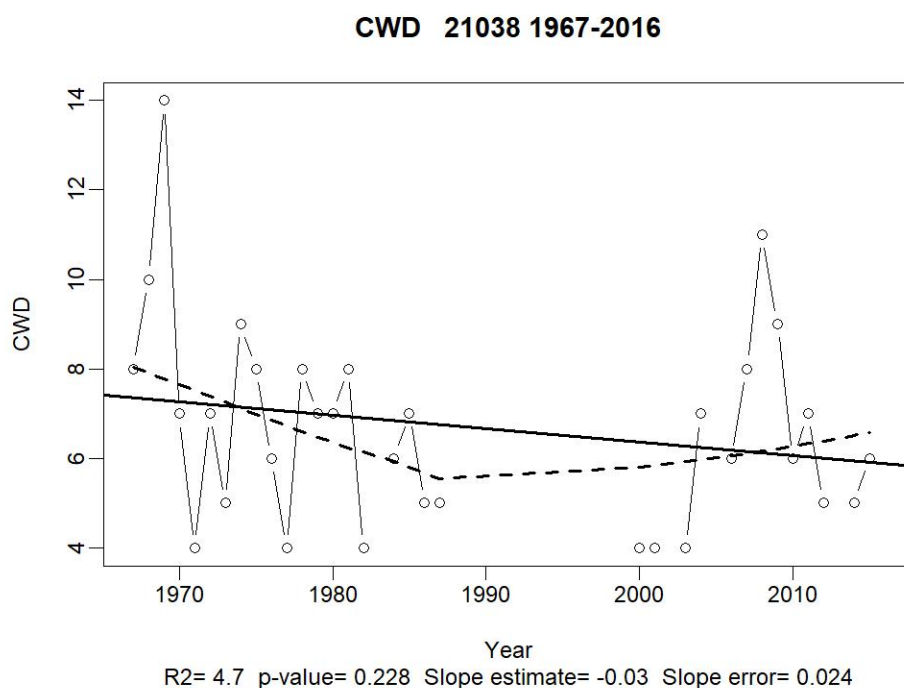
Figura 55. Comportamiento de los días secos consecutivos en la estación del progreso en Guadalupe Victoria.



3.8.2 Índice climático: Días húmedos consecutivos

En el municipio de Guadalupe Victoria en la Estación del Progreso, el índice de días húmedos consecutivos se tiene valores muy bajos los cuales muestra que no fue afectada por huracanes o el evento de LA NIÑA a excepción de dos años que presentaron altos valores que fue en 1968 y en el año 2007 los cuales fueron afectados por huracanes como Castro y Pérez, 2013). Ver figura 56.

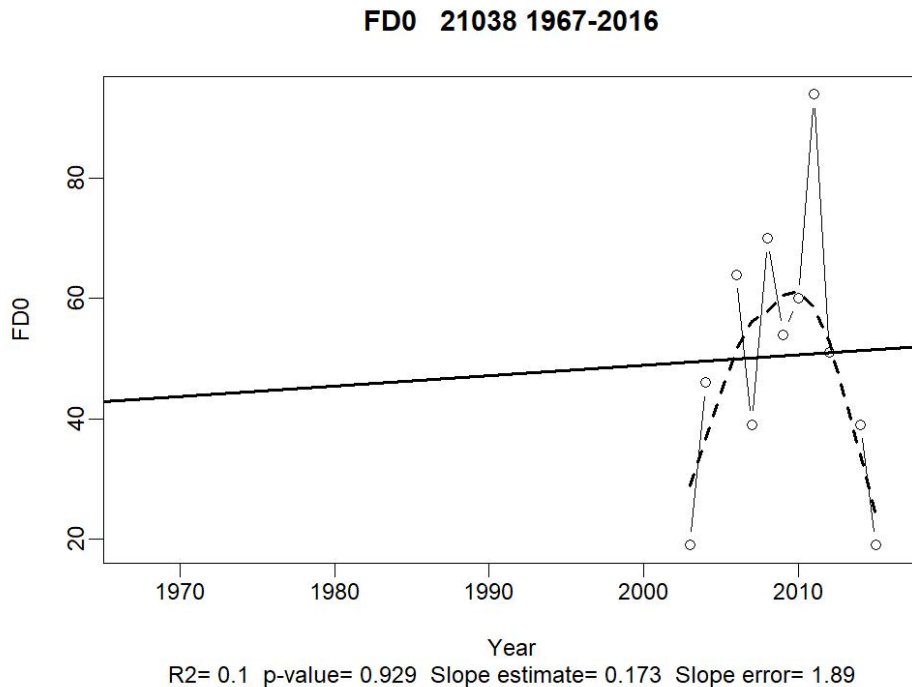
Figura 56. Comportamiento de días húmedo consecutivos en el municipio de Guadalupe Victoria en la estación del progreso.



3.8.3 Índice climático: Días de heladas

Como se observa en esta gráfica la existencia de información es restringida, con solamente una década y lo que es notable es la existencia en un año de un alto número de heladas lo que significa que en ese año existe una gran probabilidad de pérdida de cosechas incluyendo la pérdida total del cultivo lo que ocasiona problemas sociales y económicos en la familia rural buscando alternativas como migración. Ver la Figura 57.

Figura 57. Días de heladas en la estación del progreso en el municipio de Guadalupe Victoria.



3.8.4 Índice climático: Precipitación total

En esta gráfica podemos observar la precipitación total de la Estación del Progreso en el municipio de Guadalupe Victoria, se puede ver actividad alta en la década de los 70's lo que muestra que este no fue afectado por la sequía que sucedió al país en esa década, pero si se nota que fue afectada por la sequía de los 90's. (Domínguez, 2016).

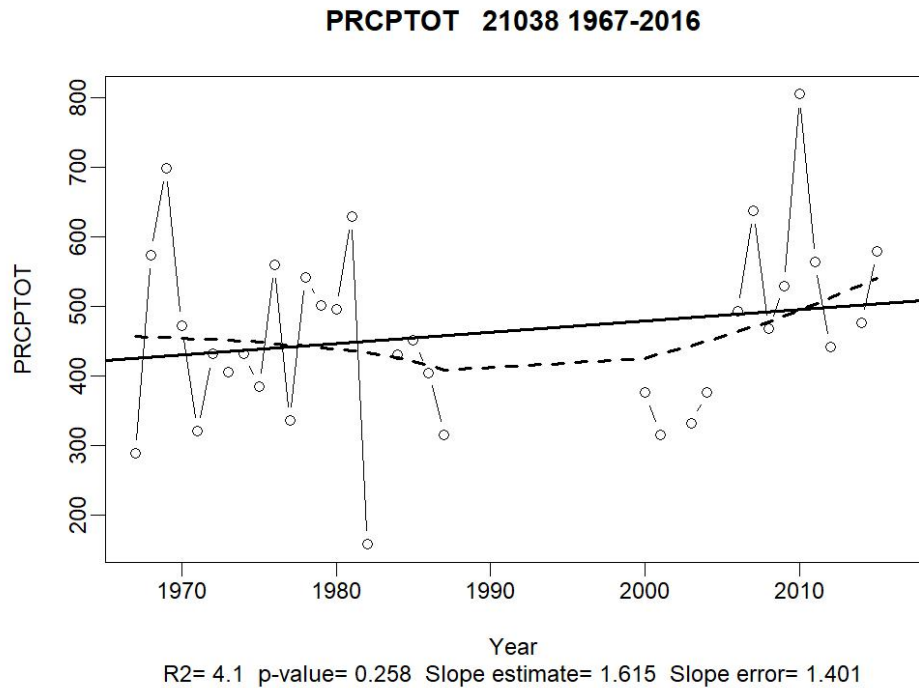
Lo que pudo + cual afecto los años (Climate Prediction Center, sf):

En 1970 con 6 meses del año afectando hasta con -1.1°C
 En 1971 con 12 meses del año afectando hasta con -1.4°C
 En 1973 con 8 meses del año afectando hasta con -2°C
 En 1974 con 10 meses del año afectando hasta -1.8°C
 En 1975 con los 12 meses del año afectando hasta -1.7°C
 En 1976 con 4 meses del año afectando hasta -1.6°C
 También se registraron valores altos en los años:

En el año 2007 con 6 meses del año afectando hasta -1.6°C
 En el año 2008 con 8 meses del año afectando hasta -1.6°C

Estos fenómenos afectaron al municipio de Guadalupe Victoria como lo muestra en la figura 58.

Figura 58. Precipitación total en la estación del progreso ubicado en el municipio de Guadalupe Victoria.



3.8.5 Índice climático: Días con precipitación de 10 mm

En esta gráfica podemos observar el número de días de 10 mm de la Estación del Progreso en el municipio de Guadalupe Victoria, se puede ver al igual que la precipitación total una gran actividad en los años 70's lo que demuestra que aunque fue afectada durante la sequía nacional de los años 90's así como por la sequía que hubo en el país en los años 70's. (Domínguez, 2016).

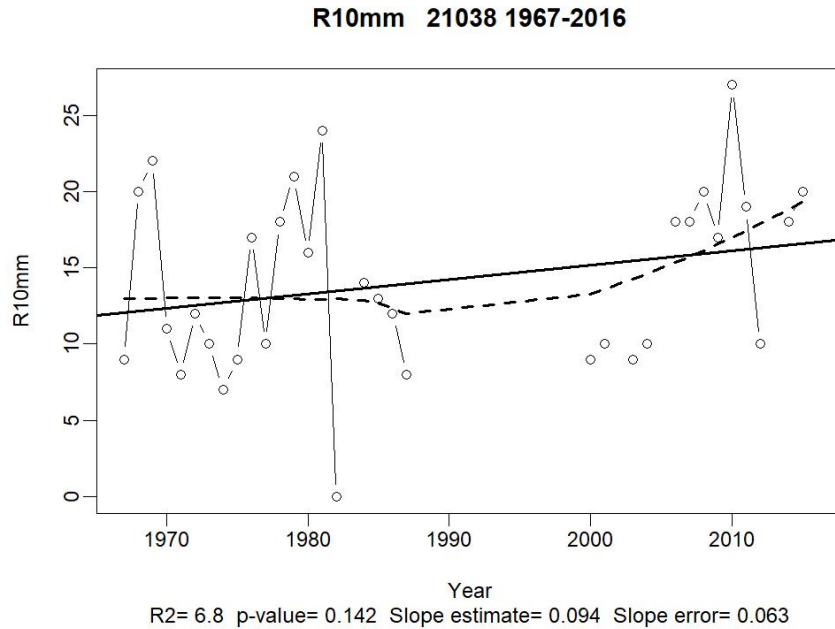
Lo que pudo afectar a este municipio en la década de los 70's y en el año 2008 fue el evento de LA NIÑA el cual según el Climate Prediction Center (sf) dice que:

- En 1970 con 6 meses del año afectando hasta con -1.1°C
- En 1971 con 12 meses del año afectando hasta con -1.4°C
- En 1973 con 8 meses del año afectando hasta con -2°C
- En 1974 con 10 meses del año afectando hasta -1.8°C
- En 1975 con los 12 meses del año afectando hasta -1.7°C
- En 1976 con 4 meses del año afectando hasta -1.6°C

En el año 2008 con 8 meses del año afectando hasta -1.6°C

Estos fenómenos afectaron al municipio de Guadalupe Victoria como se puede apreciar en la figura 59.

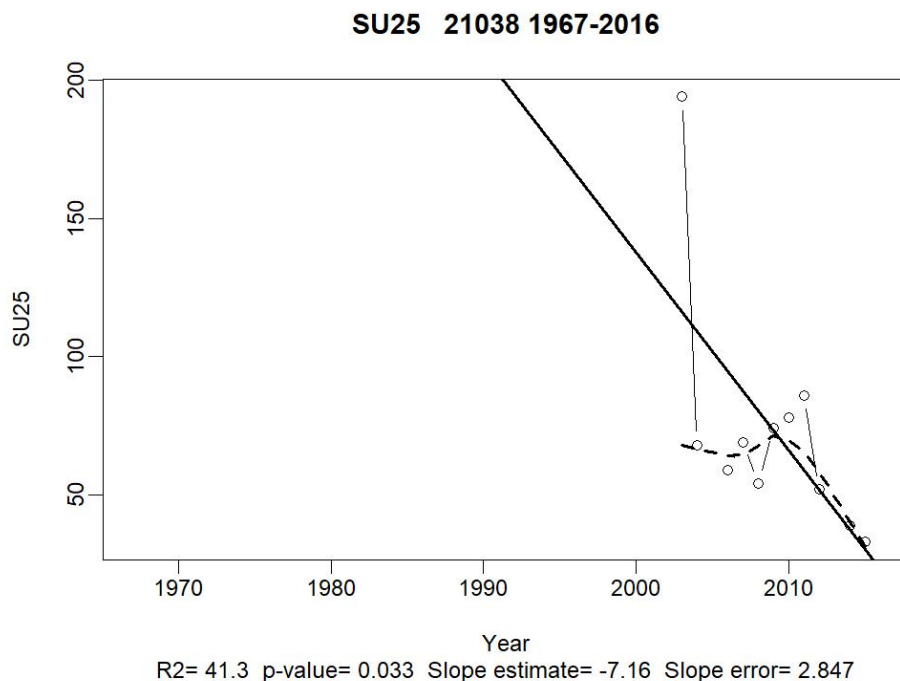
Figura 59. Número de días en un ao con lluvias mayor a 10mm en el municipio de Guadalupe Victoria en la estación del progreso.



3.8.6 Índice Climático: Días de verano

Para este índice en el municipio, los datos con que se cuentan son excesivamente pequeños que no permiten hacer una proyección ni analizar el cambio aunque con esa limitante se puede observar una tendencia a la reducción de días de verano. Como lo muestra la figura 60.

Figura 60. Días de verano en el municipio de Guadalupe Victoria en la estación del progreso.



Análisis de estudio del 2014-2018 en seis municipios del estado de Puebla.

En la tabla 2, se muestra el análisis que se realizó de los cinco años en relación con las hectáreas (ha) cosechadas se identificó que, el municipio de Acatzingo, tuvo una pérdida de 10 ha en el año 2015 y en el 2018 se perdieron 300 ha.

En el municipio de Chilchotla, se perdieron 1000 ha en el 2014.

En el municipio de Ciudad Serdán, se perdieron 31.5 de ha en el 2014 y en el 2015, se perdieron 32.5 ha.

En el municipio de Palmar de Bravo se perdieron 550 ha en el 2014 y en el 2015 se perdieron 2,630 ha.

En el municipio de Tepeyahualco, se perdieron 632 ha en el 2016.

Tabla 3. Resultados obtenidos del análisis de estudio del 2014-2018 en seis municipios del estado de Puebla.

Año	Municipio	Producción agrícola: Temporal	Principales cultivos
-----	-----------	----------------------------------	----------------------

		(OI+PV) (ha)		
		Sembrada	Cosechada	
	Acatzingo			Maíz, frijol, trigo, haba, lechuga, col, calabaza, cilantro, zanahoria, ajo, tomate, alfalfa, pera, chabacano, durazno y nopal.
2014		6,315.00	6,315.00	No hubo pérdidas
2015		4,180.00	4,170.00	Hubo pérdidas
2016		4,191.00	4,191.00	No hubo pérdidas
2017		4,085.00	4,085.00	No hubo pérdidas
2018		3,662.00	3,362.00	Hubo pérdidas
	Chilchotla	Sembrada	Cosechada	Avena, cebada, maíz, frijol, caña de azúcar y alfalfa.
2014		4,535.00	3,535.00	Hubo pérdidas
2015		4,970.00	4,970.00	No hubo pérdidas
2016		4,937.00	4,937.00	No hubo pérdidas
2017		5,034.80	5,034.80	No hubo pérdidas
2018		4,497.00	4,497.00	No hubo pérdidas
	Ciudad Serdán	Sembrada	Cosechada	Maíz, frijol, lechuga, durazno, pera, manzana y membrillo.
2014		16,287.00	16,255.50	Hubo pérdidas
2015		15,953.92	15,921.42	Hubo pérdidas
2016		16,186.68	16,186.68	No hubo pérdidas
2017		17,340.65	17,340.65	No hubo pérdidas
2018		17,334.35	17,334.35	No hubo pérdidas
	Palmar de bravo	Sembrada	Cosechada	Maíz, brócoli, avena, lechuga y jitomate.

2014		14,122.00	13,572.00	Hubo pérdidas
2015		14,261.00	11,631.00	Hubo pérdidas
2016		16,310.00	16,310.00	No hubo pérdidas
2017		14,264.00	14,264.00	No hubo pérdidas
2018		13,220.00	13,220.00	No hubo pérdidas
	Tepeyahualco	Sembrada	Cosechada	Nopal, uva, maíz, frijol, jitomate, alfalfa y hongo seta.
2014		18,028.00	18,028.00	No hubo pérdidas
2015		15,640.00	15,640.00	No hubo pérdidas
2016		15,733.00	15,733.00	No hubo pérdidas
2017		14,403.00	14,403.00	No hubo pérdidas
2018		15,277.00	15,277.00	No hubo pérdidas
	Guadalupe Victoria	Sembrada	Cosechada	Frijol, maíz, papa, haba, trigo, alfalfa y cebada.
2014		7,287.00	7,287.00	No hubo pérdidas
2015		6,520.45	6,520.45	No hubo pérdidas
2016		4,879.00	4,247.00	Hubo pérdidas
2017		6,374.70	6,374.70	No hubo pérdidas
2018		5,658.00	5,658.00	No hubo pérdidas

Fuente: elaboración propia a partir de datos del SIAP, 2020.

CONCLUSIONES

El análisis realizado a la base de datos asociada a la región de estudio, dentro de sus limitaciones, nos permitió identificar procesos que intervienen en la presencia o ausencia de la precipitación, además, controlan el confort térmico para los cultivos. Resaltando las tres fases de EL NIÑO-Oscilación del Sur: EL NIÑO que corresponde a la fase caliente de la Superficie del mar frente a las costas del Perú, en la zona conocida como EL NIÑO3.4, alcanzando el umbral de $+0.5^{\circ}\text{C}$. LA NIÑA que corresponde a la fase fría, con un umbral de -0.5°C , y la Fase de transición conocida como NEUTRAL que se encuentra en el rango:

$$-0.5 < \text{NEUTRO} < +0.5.$$

La lluvia asociada a los huracanes, sobre todo en la segunda parte de la temporada de lluvias, es muy importante.

Es conocido que con EL NIÑO se reduce el número de Huracanes y los sistemas de desarrollo vertical, que son los sistemas que dan la precipitación, en conclusión, en la región de estudio se tiene lluvia por abajo de lo normal. Las fases de LA NIÑA y NEUTRAL presentan un retorno a la lluvia normal o un exceso, en conclusión, estas fases convienen más para los productores de cultivos de temporal en la región de estudio.

Todo esto en un ambiente del gradiente altitudinal, asociado a la Montaña del Pico de Orizaba, que es otro forzante presente en la zona de estudio.

En relación a los posibles riesgos en la producción agrícola se identificó:

El índice climático de la precipitación es una variable, que, en los cultivos representa la forma natural en que los cultivos se desarrollan, para satisfacer la demanda hídrica, dependiendo del tipo de producción agrícola, como: Primavera, verano, Otoño, Inverno y Perennes.

El índice climático de los días en que la temperatura es mayor a 25°C y en relación a los principales cultivos de cada municipio, es relevante debido a que cada cultivo tiene su temperatura óptima y el cultivo puede estar en un proceso de estrés hídrico, lo que resulta en la posibilidad de tener plagas o enfermedades y el desarrollo fenológico del cultivo no es adecuado.

El índice de los días secos consecutivos en relación a los cultivos es un indicador que muestra los escasos de la precipitación en la localidad, por lo que, hay que tomar medidas o estrategias en la conservación del agua. Y dependiendo de la etapa de crecimiento del cultivo, es probable el nulo crecimiento o falta de madurez del cultivo.

En el índice climático de los días en que la temperatura es igual a 0°C, es otro factor en los cultivos de temporal, en donde, es considerado una helada meteorológica y generalmente los cultivos se dañan en su totalidad.

En el índice climático donde llueve 10 mm, el cual representa la mínima cantidad de precipitación para que en algunos cultivos, se pueda sembrar y no requerir de agua de riego.

En el índice climático de los días consecutivos de humedad, también es relevante debido a que está en función del proceso de fotosíntesis del cultivo, además de la evapotranspiración y el crecimiento de dicho cultivo.

El impacto a cada estación fue diferenciado, esto debido a que cada estación tiene forzante orográfico diferente y predominante.

REFERENCIAS

Adams MW, Ellingboe AH, Rossman EC. 1971. Biological uniformity and disease epidemics. *BioScience*

Adams RM, Hurd BH, Lenhart S, Leary N. 1998. Effects of global climate change on agriculture: an interpretative review. *Climate Research*

Alexander, L. V., X. Zhang, T. C. Peterson, J. Caesar, B. Gleason, A. M. G. K Tank, M. Haylock, D. Collins, B. Trewin, F. Rahimzadeh, A. Tagipour, K. R. Kumar, J. Revadekar, G. Griffiths, L. Vincent, D. B. Stephenson, J. Burn, E. Aguilar, M. Brunet, M. Taylor, M. New, P. Zhai, M. Rusticucci, J. L. Vazquez-Aguirre (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 111, D05109, doi:10.1029/2005JD006290

Aguilar, E., I. Auer, M. Brunet, T. Peterson, and J. Wieringa, 2003: Guidelines on Climate Metadata and Homogenization. *WCDMP*, 53, 55.

Allen, M. (2003). Liability for climate change: will it ever be possible to sue anyone for damaging the climate? *Nature*, 421(6926), 891-892

Altieri. M.A. 2009. Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptivas. *Leisa Revista de Agroecología*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2019.

https://www.researchgate.net/publication/302558890_Cambio_climatico_y_agricultura_campesina_Impactos_y_respuestas_adaptativas

Armendáriz - Erives, S. 2007. Desafíos y riesgos agrícolas ante el calentamiento global. En *Oportunidades y retos de la Ingeniería Agrícola ante la globalización y el cambio Climático*. UACH-URUZA. Pp. 73-79.

Ballesteros, H. B., & Aristizabal, G. L. 2007. Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. *Bogotá DC: nota técnica del IDEAM*.

Barros, V. (2004). *Cambio climático global*. Libros del zorzal.

Birthal, P, Khan T., Negi D. and Agarwal S. 2014. Impact of climate change on yields of major food crops in India: Implications for food security. Vol. 27, No. 2 (2014), pp. 145-155.

Castro, K. P., & Pérez, J. M. M. 2013. Variabilidad interdecadal de huracanes del Océano Atlántico noroeste. *Memorias del Congreso Mexicano de Meteorología y*

del X Congreso Internacional de Meteorología.
<http://ommac.org/Congreso2013/Extenso/E201308044.pdf>.

CCSP. 2008. Weather and Climate Extremes in a Changing Climate. Regions of Focus: North America, Hawaii, Caribbean, and U.S. Pacific Islands. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. [Thomas R. Karl, Gerald A. Meehl, Christopher D. Miller, Susan J. Hassol, Anne M. Waple and William L. Murray (eds.)]. Department of Commerce, NOAA's National Climatic Data Center, Washington, D.C., USA, disponible en <http://www.climate-science.gov/Library/sap/sap3-3/final-report/sap3-3-final-all.pdf>

Cervantes-Godoy, D. and J. Dewbre (2010), "Economic Importance of Agriculture for Poverty Reduction", OECD Food, Agriculture and Fisheries Working Papers, No. 23, OECD Publishing. doi: 10.1787/5kmmv9s20944-en

Cisneros, F.H. (s.f.) Definición de plaga agrícola. NC State University. Recuperado el 11 de Noviembre de <https://hortintl.cals.ncsu.edu/es/content/definición-de-plaga-agr%C3%ADcola>

Climate Prediction Center, sf. Cold & Warm Episodes by Season. https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Consultada el 9 de abril de 2020

Doll P. 2002. Impact of climate change and variability on irrigation requirements: a global perspective. *Climate Change*.

ECURED, sf. Huracán Janet. https://www.ecured.cu/Hurac%C3%A1n_Janet. Consultada el 9 de abril de **2020**

ECURED, sf b. Huracán Andrew. https://www.ecured.cu/Hurac%C3%A1n_Andrew. Consultada el 9 de abril de **2020**

FAO. 2017. El Trabajo de la FAO sobre el Cambio Climático. In Conferencia de las Naciones Unidas sobre el cambio climático 2017 (Vol. 8).

Field, C.B, *et al.* 2014. *Climate Change 2014 impacts, adaptation and vulnerability. Part A: Global and Sectorial Aspects*. Cambridge University press.

Fischer, G., M. Shah, F. N. Tubiello y H. Van Velhuizen. 2005. Socio-economic and Climate Change Impacts on Agriculture: An Integrated Assessment, 1990-2080. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, vol. 360, núm. 1463, pp. 2 067-2083.

Gommes, R. 1998. Climate-related risk in agriculture. FAO, IPCC Expert Meeting on Risk Management Methods, Toronto, AES, Environment Canada.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). 2014. Climate Change 2014: Impacts, adaptation and vulnerability. IPCC Special Report.

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). 2020. https://archive.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml. Consultado: 15 de febrero de **2020**

Gutowski, W. J., G. C. Hegerl, G. J. Holland, T. R. Knutson, L. O. Mearns, R. J. Stouffer, P. J. Webster, M. F. Wehner, F. W. Zwiers. 2008. Causes of Observed Changes in Extremes and Projections of Future Changes. Weather and Climate Extremes in a Changing Climate. Regions of Focus: North America, Hawaii, Caribbean, and U.S. Pacific Islands. T. R. Karl, G. A. Meehl, C. D. Miller, S. J. Hassol, A. M. Waple, and W. L. Murray (eds.). A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research, Washington, DC.

Hegerl, G. C., F. W. Zwiers, V. V. Kharin, and P. A. Stott. 2004. Detectability of anthropogenic changes in temperature and precipitation extremes. Journal of Climate, 17(19), 3683-3700.

INAFED, sf. Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Acatzingo, Puebla.
<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM21puebla/municipios/21004a.htm>
I. Consultada el 9 de abril de **2020**

INAFED, sf b. Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Chilchotla, Puebla.
<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM21puebla/municipios/21058a.htm>
I. Consultada el 9 de abril de **2020**

INAFED, sf c. Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Chalchicomula de Sesma, Puebla.
<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM21puebla/municipios/21045a.htm>
I. Consultada el 9 de abril de **2020**

INAFED, sf d. Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Palmar de Bravo, Puebla.
<http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM21puebla/municipios/21110a.html>.
Consultada el 9 de abril de **2020**

INAFED, sf e. Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Guadalupe Victoria, Puebla.
<http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM21puebla/municipios/21067a.htm>.
Consultada el 9 de abril de **2020**

INAFED, sf e. Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Tepayahualco, Puebla.

<http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM21puebla/municipios/21170a.htm>
I. Consultada el 9 de abril de **2020**

INAFED, sf f. Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México.
Guadalupe Victoria, Puebla.
<http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM21puebla/municipios/21067a.html>.
Consultada el 9 de abril de **2020**

INEGI, 2009 a. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Acatzingo, Puebla.
http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/21/21004.pdf. Consultada el 9 de abril de **2020**

INEGI, 2009 b. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Chilchotla, Puebla.
http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/21/21058.pdf. Consultada el 9 de abril de **2020**

INEGI, sf c. Destino de la producción agropecuaria en el estado de Puebla.
http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/380/702825118211/702825118211_2.pdf.
Consultada el 9 de abril de **2020**

INEGI, 2009 c. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Chalchicomula de Sesma, Puebla.
http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/21/21058.pdf. Consultada el 9 de abril de **2020**

INEGI, 2009 e. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Tepayahualco, Puebla.
http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/21/21170.pdf. Consultada el 9 de abril de **2020**

INEGI, 2009 f. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Guadalupe Victoria, Puebla.
http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/21/21067.pdf. Consultada el 9 de abril de **2020**

IPCC. 2007. Cambio climático 2007. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Informe de síntesis. Ginebra, Suiza. IPCC: ISBN 92-9169-322-7. 104 p.

Jones P.G., Thornton P.K. 2003. The potential impacts of climate change on maize production in Africa and Latin America in 2055. Global Environmental Change

Karl, T. R., N. Nicholls, and A. Ghazi, 1999: CLIVAR/GCOS/WMO Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes - Workshop summary. *Climatic Change*, 42, 3-7.

Katz, R. W. and B. G. Brown. 1992. Extreme events in a changing climate: variability is more important than averages. *Climatic Change*, 21(3), 289-302.

Lewis, W.A. 1954. *Economic Development with Unlimited Supplies of Labour*. Recuperado 11 de febrero, **2020**, de <https://la.utexas.edu/users/hcleaver/368/368lewistable.pdf>

Lin BB. 2011. Resilience in Agriculture through Crop Diversification: Adaptive Management for Environmental Change. *BioScience* 61: 183–193.

Lobell DB, Field CB. 2007. Global scale climate–crop yield relationships and the impacts of recent warming. *Environmental Research Letters*. 2(1), 014002

López Feldman, Alejandro J., & Hernández Cortés, Danae. (2016). Cambio climático y agricultura: una revisión de la literatura con énfasis en América Latina. *El trimestre económico*, 83(332), 459-496. <https://dx.doi.org/10.20430/ete.v83i332.231>

Luna Bauza, C. 1979. *Atlas de huracanes : en el Océano Pacífico y en el Océano Atlántico*. Secretaría de Programación y Presupuesto. http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825220150/702825220150_1.pdf. Consultada el 9 de abril de **2020**

Marcos, O. 2001. Sequía: Definiciones, Tipología y Métodos de Cuantificación. *Investigaciones Geográficas* no 26 (2001), pp. 59-80

Magaña, V., Conde, C., Sánchez, O., & Gay, C. 2000. Evaluación de escenarios regionales de clima actual y de cambio climático futuro para México. México: una visión hacia el siglo XXI. *El cambio climático en México*, 15-21. https://www.researchgate.net/profile/Carlos_Gay_Garcia/publication/267721218_EVALUACION_DE_ESCENARIOS_REGIONALES_DE_CLIMA_ACTUAL_Y_DE_CAMBIO_CLIMATICO_FUTURO_PARA_MEXICO/links/54938e860cf22d7925da320.pdf . Recuperado 11 de febrero de **2020**

Mendelsohn, R. Dinar, A. *The World Bank Research Observer*. Vol. 14, No. 2 (1999), pp. 277-293

Naciones Unidas. 1992. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>. Consultado: 15 de febrero de **2020**.

Nelson, G. C., M.W. Rosegrant, J. Koo, R. Robertson, T. Sulser, T. Zhu, C. Ringler, S. Msangi, A. Palazzo, M. Batka, M. Magalhaes, R. Valmonte-Santos, M.

Ewing, and D. Lee. 2009. Cambio Climático: El impacto en la agricultura y los costos de adaptación. Food Policy Report 21. Washington, D.C.: Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (IFPRI).

Nicholls, N. and W. Murray, 1999: Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes, Asheville, NC, USA, 3-6 June 1997 - Breakout Group B: Precipitation. Climatic Change, 42, 23-29.

Peterson Thomas C., Xuebin Zhang, Manola Brunet India, Jorge Luis Vázquez Aguirre (2008). Changes in North American extremes derived from daily weather data. Journal of Geophysical Research – Atmospheres, 113, D07113, doi:10.1029/2007JD009453

Piña Borrego, C. E. (2020). Cambio climático, inseguridad alimentaria y obesidad infantil. Revista Cubana de Salud Pública. v. 45, n. 3, e1964.

Porter JH, Parry ML, Carter TR. 1991. The potential effects of climatic change on agricultural insect pests. Agricultural and Forest Meteorology

Rosenzweig C, Hillel D. 2008. Climate change and the global harvest: impacts of El Niño and other oscillations on agroecosystems. New York: Oxford University Press

Sánchez,-Salazar, M. T. y Martínez-Galicia, M. 2006. La vulnerabilidad de la industria y los sistemas energéticos Ante el cambio climático global. Instituto de Geografía. UNAM.

SEDESOL, sf. Cedula de Información Municipal. Acatzingo, Puebla.
<http://www.microrregiones.gob.mx/zap/datGenerales.aspx?entra=nacion&ent=21&mun=004>. Consultada el 9 de abril de **2020**

SEDESOL, sf b. Cedula de Información Municipal. Chilchotla, Puebla.
<http://www.microrregiones.gob.mx/zap/datGenerales.aspx?entra=nacion&ent=21&mun=058>. Consultada el 9 de abril de **2020**

SEDESOL, sf c. Cedula de Información Municipal. Chalchicomula de Sesma, Puebla.
<http://www.microrregiones.gob.mx/zap/datGenerales.aspx?entra=nacion&ent=21&mun=045>. Consultada el 9 de abril de **2020**

SEDESOL, sf d. Cedula de Información Municipal. Palmar de Bravo, Puebla.
<http://www.microrregiones.gob.mx/zap/datGenerales.aspx?entra=nacion&ent=21&mun=110>. Consultada el 9 de abril de **2020**

SEDESOL, sf e. Cedula de Información Municipal. Tepayahualco, Puebla.
<http://www.microrregiones.gob.mx/zap/datGenerales.aspx?entra=nacion&ent=21&mun=170>. Consultada el 9 de abril de **2020**

SEDESOL, sf. Cedula de Información Municipal. Guadalupe Victoria, Puebla.
<http://www.microrregiones.gob.mx/zap/datGenerales.aspx?entra=nacion&ent=21&mun=067>. Consultada el 9 de abril de **2020**

Secretaría de la Organización Meteorológica Mundial. 1992. Vocabulario meteorológico internacional. Ginebra

SEMARNAT, sf. Ciclones que han impactado en México.
http://dgeiawf.semarnat.gob.mx:8080/approot/dgeia_mce/html/RECUADROS_INT_GLOS/D1_DESASTRES/D1_DESASTRE00_01.pdf. Consultada el 9 de abril de **2020**

The R Foundation. 2015. The R Project for Statistical Computing. Available at: <https://www.r-project.org/foundation/>, Consulted: febrero 26, 2020.

Trenberth, K. E., P. D. Jones, P. Ambenje, R. Bojariu, D. R. Easterling, A. Kleint-Tank, D. Parker, F. Rahimzadeh, J. A. Renwick, M. Rusticucci, B. Soden, and P. Zhai, 2007: Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of WG I to the Fourth Assessment Report of the IPCC., S. e. al., Ed., Cambridge University Press.

Vandermeer J, van Noordwijk M, Anderson J, Ong C, Perfectol. 1998. Global change and multi-species agroecosystems: Concepts and issues. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 67: 1–22

Vazquez-Aguirre, J. L., M. Brunet, and P. D. Jones, 2008: Cambios observados en los extremos de temperatura y precipitación en el estado de Veracruz, Mexico, a partir de datos diarios. *Cambio Climático Regional y sus Impactos.*, M. Brunet, E. Aguilar, and J. Sigro, Eds., Asociación Española de Climatología.

Vázquez, J. L. (2010). Guía para el cálculo y uso de índices de cambio climático en México (Guide for the calculation and use of climate change índices in Mexico). Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales: Mexico, DF, México.

Zhang, X. and F. Yang, 2004. RCLimdex (1.0) User Manual. Climate Research Branch, Environment Canada, 23 pp.

Ziska LH, Dukes JS. 2014. *Invasive Species and Global Climate Change*, CABI Invasives Series. Wallingford, UK: CABI Publishing