



**Benemérita
Universidad Autónoma de Puebla**

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“ANÁLISIS DE VARIABLES METEOROLÓGICAS PARA
IDENTIFICAR IMPACTOS NEGATIVOS EN LA
AGRICULTURA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO DE DOS
MUNICIPIOS DEL ESTADO DE PUEBLA”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
LICENCIATURA EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PRESENTAN:
**GUADALUPE HERNÁNDEZ ARELLANO Y TANIA
HERNÁNDEZ RAMÍREZ**

DIRECTOR DE TESIS:
**DRA. MARÍA DE LOS ÁNGELES VELASCO
HERNÁNDEZ**

CODIRECTOR DE TESIS:
DR. J. MIGUEL ÁNGEL HERNÁNDEZ ESPINOZA

PUEBLA, PUEBLA

OCTUBRE, 2022

Dedicatoria

Esta tesis ha sido de las mayores pruebas a mi paciencia, perseverancia y dedicación que puedo tener, me hizo darme cuenta de que el conocimiento es infinito, a valorar la importancia de los trabajos de investigación, a trabajar de una manera más crítica, más autónoma y entre otras cosas, me ha hecho también más satisfactorio el haber culminado mi carrera universitaria y estar a un paso de ser oficialmente ingeniera ambiental, debido a todo el esfuerzo y dedicación plasmados en este trabajo.

Quiero dedicar este trabajo a mis padres principalmente:

A ti mamá, por siempre creer en mí, por impulsarme desde niña a perseguir mis sueños, por darme consejos y crear en mí hábitos y valores que me formaron como persona.

A ti papá, por apoyarme hasta donde tus posibilidades te lo permitieron y por nunca negarme esta oportunidad de formarme como profesionalista.

A mis hermanos; Osvaldo, J. Pablo, Sahid y Alfredo, por su amor, su confianza y admiración que me tienen. Espero ser un buen ejemplo para ustedes y se sientan muy orgullosos de mí, los amo.

Y también para una persona muy especial en esta etapa de mi vida, para Gustavo Yéred, quien me apoyó de muchas maneras en gran parte de esta carrera, etapa en la cual atravesé por muchas circunstancias, gracias por ser ese apoyo incondicional siempre.

Este logro es por ustedes y para ustedes.

Tania Hernández Ramírez

Dedicatoria

El presente trabajo se lo dedico a mi familia, con mucho cariño a ustedes que siempre y a pesar de todo estuvieron para mí apoyándome en todo momento.

En especial a mi querida mamá, María Josefina Luisa Arellano Martínez, siempre has sido y serás mi mayor y mejor ejemplo de vida, gracias por todo el esfuerzo y cariño con el que has sacado adelante a mis hermanos y a mí, te dedico el resultado de estos años que has caminado a mi lado viéndome reír y llorar, por tener palabras de aliento y animarme a creer que si podía.

A mi hermana, Cristina Hernández Arellano, que has sido un gran apoyo y parte fundamental en mi vida, que me has animado cuando lo necesitaba y consentido aun sin un motivo.

A mi hermano, Jaime Hernández Arellano, que te quitaba tiempo de sueño para acompañarme a tomar el autobús en las mañanas.

A mi papá. Jaime Hernández Reyes, que siempre estás en nuestros corazones y sé que desde donde estas nos cuidas, espero que estés orgulloso de nosotros.

Estoy infinitamente agradecida y feliz por contar con ustedes.

Guadalupe Hernández Arellano

Agradecimientos

En primer lugar, agradezco a Dios por esta oportunidad, por permitirme llegar hasta aquí, por darme salud, trabajo, un hogar, una familia y por poner en mi camino personas extraordinarias que de alguna u otra forma contribuyeron para conseguir esta meta tan importante en mi vida.

A mis padres; a ti mamá por tu apoyo e impulso que siempre me has dado, gracias por tus palabras, por tu amor, comprensión y ternura. A ti papá por no negarme esta oportunidad, por tu apoyo y comprensión que de alguna manera me tienes.

A mis amigos y compañeros de la universidad; a Lupita y Sarahi principalmente, por su amistad, apoyo y por hacer más amena la carrera. Gracias Sara, por tu paciencia y empatía que mostraste, y gracias, Lupita, por no dejarme sola en este proyecto a pesar de las adversidades o circunstancias que se dieron. Gracias niñas finalmente lo logramos.

A Gustavo Yéred, gracias por tu apoyo incondicional, por tu amor, tu paciencia, por darme ánimos en gran parte de la carrera, por admirar mis logros y alentarme siempre a confiar en mí misma.

A mis profesores de la universidad, gracias por cada una de sus aportaciones y conocimientos que ayudaron a mi formación, gracias por ser inspiración y fuentes de conocimientos. Gracias principalmente a la Dra. María de los Ángeles Velasco Hernández por su tiempo, paciencia, dedicación y por guiarnos en la realización de este trabajo, también a nuestros sinodales M.I.A. Miriam Vega Hernández y M.I. Ángel Silveti Loeza.

Tania Hernández Ramírez

Agradecimientos

Porque no hubiera logrado esto de no ser por ustedes, mi familia, les agradezco todo su cariño, apoyo y comprensión en todo momento:

Mamá gracias por ser mi guía en la vida, por tus cuidados y cariño que a tu manera me das, por el esfuerzo que haces para darme de ti lo mejor a lo largo de mi formación educativa y en la cotidianidad.

Hermanos gracias por ser un ejemplo para mí en diversos aspectos, por su ayuda brindada y estar para mí cuando lo necesito a pesar de que en ocasiones los pongo de nervios o de malas, sé que cuento con ustedes y saben que cuentan conmigo.

Gracias a Tania y Sara, niñas las aprecio mucho, gracias por su amistad, ayuda y comprensión, fue un gusto coincidir estos años con personas como ustedes. Tania, aprecio haber trabajado contigo hasta este proyecto final de la carrera, no se habría sentido igual de no ser así. Sara, siempre nos ayudaste en temas difíciles para nosotras y nos animabas a creer que si podíamos, gracias.

A la universidad y maestros que me han brindado conocimientos, en especial a la Dra. María de los Ángeles Velasco Hernández por su tiempo, apoyo y guía en este proyecto, así como a nuestros sinodales M.I.A. Miriam Vega Hernández y M.I. Ángel Silveti Loeza.

Gracias a Dios, por permitirme estar con mi familia, por brindarnos salud permitirnos estar juntos. Por permitirme llegar a donde estoy y haber conocido a personas que suman y me muestran diferentes panoramas de la vida, porque cada vivencia contribuye a mi crecimiento personal.

Guadalupe Hernández Arellano

CONTENIDO

| | |
|---|----|
| INTRODUCCIÓN | 12 |
| PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA | 13 |
| JUSTIFICACIÓN | 14 |
| OBJETIVOS | 16 |
| Objetivo general | 16 |
| Objetivos específicos | 16 |
| HIPÓTESIS | 16 |
| CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO | 17 |
| 1.1. Legislación internacional | 17 |
| 1.1.1. Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático | 17 |
| 1.1.2. Acuerdo de París | 17 |
| 1.2. Legislación nacional | 18 |
| 1.2.1. Ley General de Cambio Climático (LGCC) | 18 |
| 1.2.2. Reglamento de la ley general de cambio climático en materia del registro nacional de emisiones [RLGCC] | 19 |
| 1.2.3. Ley de cambio climático del estado de Puebla | 20 |
| 1.3. Variabilidad natural | 20 |
| 1.4. Cambio climático | 21 |
| 1.5. Efectos del cambio climático en la agricultura | 22 |
| 1.6. Meteorología y su relación con la agricultura | 24 |
| 1.6.1. Agricultura de riego | 25 |
| 1.6.2. Agricultura de temporal | 26 |
| 1.6.3. Eventos extremos | 27 |
| 1.7. Estaciones meteorológicas: funcionamiento | 30 |
| 1.8. Variables meteorológicas | 31 |
| 1.8.1. Precipitación | 31 |
| 1.8.2. Humedad | 32 |
| 1.8.3. Velocidad del viento | 32 |
| 1.8.4. Dirección del viento | 32 |
| 1.8.5. Temperatura máxima y mínima | 33 |
| CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA | 36 |
| 2.1. Selección del sitio de estudio | 36 |
| 2.1.1. Se seleccionaron dos regiones socioeconómicas del estado de Puebla | 36 |

| | |
|--|----|
| 2.1.2. Se seleccionan los municipios con mejor calidad y cantidad de datos en sus estaciones | 36 |
| 2.1.3. Comparación de los fenómenos hidrometeorológicos por municipio | 39 |
| 2.1.4. Selección en base a su producción agrícola | 40 |
| 2.1.5. Información de los municipios | 42 |
| 2.1.5.1. Municipio de Tzicatlacoyan | 42 |
| 2.1.5.2. Municipio de Acatzingo | 44 |
| 2.1.6. Estaciones meteorológicas seleccionadas | 45 |
| 2.2. Aplicación del software Rclimindex | 46 |
| 2.3. Selección de los productos agrícolas | 47 |
| 2.3.1. Fenología de los cultivos seleccionados | 49 |
| 2.3.1.1. Nopal | 49 |
| 2.3.1.2. Nopal verdura (nopalitos) | 49 |
| 2.3.1.3. Nopal fruta (Tuna) | 50 |
| 2.3.1.4. Frijol | 51 |
| 2.3.1.5. Fenología del maíz | 53 |
| 2.3.1.6. Trigo de grano | 54 |
| 2.3.1.7. Agave mezcalero | 57 |
| CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 59 |
| 3.1. Índices climáticos del municipio Acatzingo | 59 |
| 3.1.1. Días secos consecutivos | 59 |
| 3.1.2. Precipitación | 59 |
| 3.1.3. Días de verano | 60 |
| 3.1.4. Días húmedos consecutivos | 60 |
| 3.1.5. Precipitación total anual en los días húmedos | 61 |
| 3.1.6. Días con heladas meteorológicas | 61 |
| 3.2. Índices climáticos del municipio Tzicatlacoyan | 65 |
| 3.2.1. Días secos consecutivos | 65 |
| 3.2.2. Precipitación | 66 |
| 3.2.3. Días de verano | 66 |
| 3.2.4. Días húmedos consecutivos | 67 |
| 3.2.5. Precipitación total anual en los días húmedos | 68 |
| 3.2.6. Días con heladas meteorológicas | 68 |
| 3.3. Relación de los índices climáticos y la fenología | 73 |
| 3.3.1. Municipio Acatzingo | 73 |

| | | |
|--|---------------------------|-----|
| 3.3.1.1. | Tuna (Nopal fruta) | 73 |
| 3.3.1.2. | Nopalitos (Nopal Verdura) | 74 |
| 3.3.1.3. | Maíz grano | 74 |
| 3.3.1.4. | Frijol | 75 |
| 3.3.2. | Municipio Tzicatlacoyan | 80 |
| 3.3.2.1. | Maíz | 80 |
| 3.3.2.2. | Trigo | 81 |
| 3.3.2.3. | Agave | 82 |
| CONCLUSIONES | | 86 |
| REFERENCIAS | | 89 |
| ANEXOS | | 99 |
| Anexo 1: Mapas de riesgos y peligros regionales por fenómenos naturales y antrópicos del estado de Puebla. | | 100 |
| Anexo 2: Producción Agrícola en los municipios de Acatzingo, Chalchicomula de Sesma, Tzicatlacoyan y Xochitlan Todos Santos de 2003 a 2020 | | 105 |
| Anexo 3: RClimDex | | 109 |
| Anexo 4: Información de cultivos | | 127 |

Tablas

| | | | |
|-------|---|-------|----|
| Tabla | 1 | ..... | 33 |
| Tabla | 2 | ..... | 37 |
| Tabla | 3 | ..... | 38 |
| Tabla | 4 | ..... | 40 |
| Tabla | 5 | ..... | 45 |
| Tabla | 6 | ..... | 47 |
| Tabla | 7 | ..... | 72 |

Figuras

| | | | |
|--------|---|-------|----|
| Figura | 1 | ..... | 30 |
| Figura | 2 | ..... | 41 |
| Figura | 3 | ..... | 42 |
| Figura | 4 | ..... | 48 |
| Figura | 5 | ..... | 48 |

| | | |
|--------|----|----|
| Figura | 6 | 50 |
| Figura | 7 | 51 |
| Figura | 8 | 52 |
| Figura | 9 | 54 |
| Figura | 10 | 57 |
| Figura | 11 | 58 |
| Figura | 12 | 62 |
| Figura | 13 | 63 |
| Figura | 14 | 63 |
| Figura | 15 | 64 |
| Figura | 16 | 64 |
| Figura | 17 | 65 |
| Figura | 18 | 69 |
| Figura | 19 | 70 |
| Figura | 20 | 70 |
| Figura | 21 | 71 |
| Figura | 22 | 71 |
| Figura | 23 | 72 |
| Figura | 24 | 76 |
| Figura | 25 | 77 |
| Figura | 26 | 77 |
| Figura | 27 | 78 |
| Figura | 28 | 78 |
| Figura | 29 | 79 |
| Figura | 30 | 79 |
| Figura | 31 | 80 |
| Figura | 32 | 83 |
| Figura | 33 | 83 |
| Figura | 34 | 84 |
| Figura | 35 | 84 |
| Figura | 36 | 85 |
| Figura | 37 | 85 |

SIGLAS

| | |
|-----------|--|
| CMCC | Convención Marco sobre el Cambio Climático |
| CONAGUA | Comisión Nacional del Agua |
| EMAS | Estaciones Meteorológicas Automáticas |
| ENOS | EL NIÑO/Oscilación del Sur |
| FAO | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura |
| INEGI | Instituto Nacional de Estadística y Geografía |
| IPCC | Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático |
| LGCC | Ley General de Cambio Climático |
| OMM | Organización Meteorológica Mundial |
| OMS | Organización Mundial de la Salud |
| ONU | Organización de las Naciones Unidas |
| PNUMA | Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente |
| PROAIRE | Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire |
| SAGARPA | Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación |
| SEMARNAT | Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales |
| SMN | Servicio Meteorológico Nacional |
| SIACON-NG | Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta |
| RLGCC | Reglamento de la ley general de cambio climático en materia del registro nacional de emisiones |
| IICA | Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura |
| SIAP | Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera |
| SADER | Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural |
| EPA | Agencia de Protección Ambiental |
| CENAPRED | Centro Nacional de Prevención de Desastres |
| SAPAD | Sistema de adquisición, procesamiento y almacenamiento de datos |
| CONANP | Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas |
| INAFED | Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal |
| CCI | Comisión de Climatología |
| CLIVAR | Variabilidad y Previsibilidad del Clima |
| ETCCDMI | Climate Change Detection Monitoring and Índices |

| | |
|---------|--|
| INIFAP | Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias |
| CONACYT | Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología |
| CIMMYT | Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo |
| IGAVIM | Instituto para la Gestión, Administración y Vinculación Municipal |

INTRODUCCIÓN

El cambio climático se refiere a las variaciones a largo plazo de las temperaturas y los patrones climáticos. Dichas variaciones pueden ser de origen natural o antropogénico. Pero desde el siglo XIX, la quema de combustibles fósiles ha sido la principal actividad que alimenta este problema, debido a que la quema de estos combustibles emite gases de efecto invernadero que no permiten salir el calor del sol al exterior y de esta manera se eleva la temperatura de la tierra (Naciones Unidas, 2021).

Gases como: carbono y metano, son de los principales gases responsables del efecto invernadero, que favorecen a la vez el cambio climático. Los vertederos de basura, la energía de la industria, el transporte, los edificios, la agricultura y uso del suelo son los emisores de estos gases (Naciones Unidas, 2021).

En los últimos años, las alteraciones en el clima han causado impactos en los sistemas naturales y humanos debido al cambio climático. Este fenómeno implica un riesgo para la erradicación de la pobreza, la seguridad alimentaria, la salud pública, la educación y para toda actividad de desarrollo humano, actividades que de no ser atendidas aumentan la vulnerabilidad de la población (Zamora, 2015).

Ahora bien, la evidencia del cambio climático se encuentra en la mayor frecuencia, intensidad y magnitud de eventos climáticos que comienzan a repetirse temporada tras temporada, o cambios graduales en la temperatura y la precipitación que van transformando lenta y progresivamente el clima de una región. En otras palabras, la temperatura y la precipitación promedio, así como los máximos y los mínimos, se vienen modificando y no volverán a ser los mismos. Así, la certeza del cambio climático se tendrá cuando al revisar los datos climáticos en el año 2040 o 2070 o 2100, corroboremos que efectivamente hubo cambios significativos en los valores de las variables climáticas respecto al comportamiento observado 30 o 50 años antes. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, [IDEAM], 2016, p.40)

El calentamiento atmosférico está alterando procesos habituales, factores como: las olas de calor, la disminución de precipitaciones y propagación de especies invasoras de insectos o hierbas limitarán previsiblemente la productividad agraria. Todo cultivo necesita de: tierra, agua,

luz solar y calor adecuados para crecer, pero debido a las actuales circunstancias, el sector agrícola es de las actividades más afectadas por el cambio climático (Greenpeace, 2018).

El presente trabajo aborda la descripción de algunos índices climáticos y su relación con la agricultura de dos municipios del estado de Puebla seleccionados bajo ciertos filtros, haciendo uso del software RClimdex para generar las gráficas de los índices climáticos así como de la información de SIACON para su relación con los principales cultivos.

PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

Uno de los problemas ambientales a los que se enfrenta la humanidad es el cambio climático, del cual ya se experimentan consecuencias y se espera que estas sean aún más graves con el paso del tiempo. Se espera que el cambio climático ocasione afectaciones más negativas por lo que adaptarse será más complicado. Las consecuencias que este problema representa se distribuyen geográficamente y repercuten en la sociedad en distintas magnitudes y diferencias en cuanto a su capacidad de adaptación (Labandeira y Linares, 2016).

Zamora (2015) se refiere al cambio climático como un factor de riesgo en diferentes ámbitos, tales como, la salud, educación, desarrollo y para la seguridad alimentaria e indica que México, por su ubicación geográfica, clima y orografía, se encuentra expuesto a sucesos hidrometeorológicos extremos con la expectativa de pérdida de humedad en los suelos, su posterior desertificación y degradación, provocando una disminución de la productividad agrícola.

Montiel, Martínez, Santos y Herrera (2017) concuerdan con el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) quien advirtió que a nivel global se esperarían incrementos de temperatura y una mayor variabilidad de precipitación, afectando de directamente a todos los sectores de la economía, especialmente en las actividades primarias (agricultura, ganadería y forestal).

De acuerdo con la Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) los cambios en los modelos de producción agrícola, derivados del cambio climático, afectarán la seguridad alimentaria en dos formas. En primer lugar, se verá afectado el suministro de alimentos a nivel local y mundial. En muchos

países de ingresos bajos, que tienen una capacidad financiera limitada para el comercio y que se apoyan mayormente en su propia producción para satisfacer sus necesidades alimentarias, puede resultar imposible compensar la disminución en el suministro local sin aumentar su dependencia de la ayuda alimentaria. En segundo lugar, se verán afectadas todas las formas tradicionales de producción agrícola y se reducirá la capacidad de acceso a los alimentos. (Sánchez, Gay y Estrada, 2011, p.50)

El principal medio de vida en zonas rurales es la agricultura y depende en su totalidad del clima, esto quiere decir que cualquier tipo de variabilidad de precipitación o temperatura afecta el desarrollo de los cultivos. Como consecuencia del cambio climático la agricultura se verá afectada en cuanto a su rendimiento, probablemente incrementen las plagas al igual que la erosión de los suelos, las sequías, inundaciones, ondas de calor y condiciones climáticas extremas que pondrán en riesgo la actividad agrícola (Morales y Zúñiga, 2016).

Se pretende seleccionar un municipio de la región del Valle de Serdán y uno de la Mixteca para estudiar su comportamiento del clima y su posible relación con afectaciones del cambio climático en la agricultura.

JUSTIFICACIÓN

Como anteriormente se ha mencionado uno de los efectos del cambio climático se ve reflejado en la agricultura, debido a que este fenómeno provoca diferentes variaciones en el ambiente que afectan de manera directa e indirecta el rendimiento de esta.

El cambio climático provoca que la agricultura sea más vulnerable. El aumento de las temperaturas conduce a una considerable disminución de los cultivos deseados afectando así el rendimiento de estos. Por otra parte, también provoca la proliferación de malas hierbas y pestes. Los cambios en los regímenes de lluvias aumentan las probabilidades de fracaso de las cosechas a corto plazo y también la reducción de la producción a largo plazo (Lemos, 2018).

La agricultura de temporal (que depende de las lluvias de verano) sería fuertemente afectada; el agua disponible (de por sí escasa), más disputada por ciudades, cultivos e industrias; los bosques, particularmente los templados, podrían reducirse al no

tener condiciones climáticas adecuadas para su desarrollo. El panorama no es alentador si no actuamos desde ahora para prevenir nuestro futuro como país. (Conde, 2011, p.21)

El aumento de las temperaturas y el cambio en los regímenes pluviales influyen tanto directa como indirectamente en el rendimiento de los cultivos. Uno de los efectos indirectos se da a través de los cambios en la disponibilidad de agua de riego (Valeriano, 2020).

La mayoría de los estudios se centran de manera general y no hay suficiente información de los efectos del cambio climático a nivel local. Tener información al respecto tanto de forma general como local es igual de útil e importante para prepararnos y/o adaptarnos a las futuras condiciones críticas que se avecinan.

Ante esta situación es necesario realizar investigaciones de los efectos del cambio climático de manera local o enfocarse a más sitios de estudio en particular, en donde se muestran las variables meteorológicas para poder entender el comportamiento de dichas variables del clima y sus afectaciones en el mismo.

Si bien la Agricultura no es la principal actividad económica del estado, representa un buen porcentaje tanto a nivel estatal como nacional, y es la que principalmente se ve afectada por los impactos del cambio climático. Puebla cuenta con un 46.9 % de territorio agrícola del total de su superficie territorial (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2016).

Además, Puebla es el tercer estado a nivel nacional que cuenta con la mayor extensión territorial de ocupación agrícola, sólo después de México y Chiapas. (INEGI, 2016).

Debido a la falta de estudios a nivel local o regional que permitan visualizar las condiciones a las que se enfrentan los agricultores de diversas localidades, se realizará la investigación para estudiar las variaciones del clima y sus afectaciones en la agricultura en dos de los municipios del estado de Puebla, uno de la región del Valle Serdán y otro de la región de la Mixteca. Esto con la finalidad de integrar más información para investigaciones posteriores que ayuden a preparar y/o adaptarnos a las crisis alimentarias y demás problemas que se pudieran desencadenar a raíz de los efectos del cambio climático en la agricultura local.

OBJETIVOS

Objetivo general

Analizar la variabilidad natural y el posible cambio climático a partir de variables meteorológicas de series de tiempo históricas para identificar su impacto en los principales cultivos de dos municipios del estado de Puebla; Acatzingo y Tzicatlacoyan.

Objetivos específicos

- Investigar la vulnerabilidad de los municipios de Acatzingo y Tzicatlacoyan de acuerdo con el mapa de riesgos y peligros por fenómenos naturales y antrópicos del estado de Puebla.
- Generar gráficas de índices climáticos a partir del software Rclimindex.
- Identificar en Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON) los principales cultivos y el rendimiento de estos para relacionarlos con los índices climáticos.
- Describir el comportamiento de la variabilidad natural y cambio climático a través del estudio de variables meteorológicas en una escala histórica de tiempo desde 1944 a 2018 para los municipios seleccionados del estado de Puebla.

HIPÓTESIS

La aplicación del software Rclimindex mostrara el comportamiento de índices climáticos y al realizar el análisis de las variables: Precipitación, días secos consecutivos, días con heladas meteorológicas, días húmedos consecutivos, días en donde la temperatura es mayor a 25°C y días en donde llueve 10mm en series de tiempo históricas mostrarán tendencias negativas y positivas que, al relacionarlas con el rendimiento de los principales cultivos se identificará la vulnerabilidad de la variabilidad del clima natural y del cambio climático para los municipios de Puebla; Acatzingo y Tzicatlacoyan.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1. Legislación internacional

A nivel internacional los instrumentos jurídicos son los siguientes:

1.1.1. Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático

Artículo 1. Definiciones.

Por "cambio climático" se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmosfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables. (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 1992, p.3).

Artículo 2. Objetivo

El objetivo último de la presente Convención y de todo instrumento jurídico conexo que adopte la Conferencia de las Partes, es lograr, de conformidad con las disposiciones pertinentes de la Convención, la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmosfera a un nivel que impida interferencias antropológicas peligrosas en el sistema climático. Ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible. (ONU,1992, p.4).

1.1.2. Acuerdo de París

Artículo 2.

1. El presente Acuerdo, al mejorar la aplicación de la Convención, incluido el logro de su objetivo, tiene por objeto reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza, y para ello:

a) Mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2 °C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5 °C con respecto a los niveles preindustriales, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático;

b) Aumentar la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático y promover la resiliencia al clima y un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero, de un modo que no comprometa la producción de alimentos; (...). (ONU, 2016, p. 2).

c) Situar los flujos financieros en un nivel compatible con una trayectoria que conduzca a un desarrollo resiliente al clima y con bajas emisiones de gases de efecto invernadero. (ONU, 2016, p. 2).

1.2 . Legislación nacional

En México la legislación aplicable es:

1.2.1. Ley General de Cambio Climático (LGCC)

Artículo 2o. Esta ley tiene por objeto:

I. Garantizar el derecho a un medio ambiente sano y establecer la concurrencia de facultades de la federación, las entidades federativas y los municipios en la elaboración y aplicación de políticas públicas para la adaptación al cambio climático y la mitigación de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero;

II. Regular las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero para lograr la estabilización de sus concentraciones en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático considerando en su caso, lo previsto por el artículo 2o. de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y demás disposiciones derivadas de la misma;

III. Regular las acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático;

IV. Reducir la vulnerabilidad de la población y los ecosistemas del país frente a los efectos adversos del cambio climático, así como crear y fortalecer las capacidades nacionales de respuesta al fenómeno;

V. Fomentar la educación, investigación, desarrollo y transferencia de tecnología e innovación y difusión en materia de adaptación y mitigación al cambio climático;

V. Establecer las bases para la concertación con la sociedad, y

VI. Promover la transición hacia una economía competitiva, sustentable y de bajas emisiones de carbono. (LGCC, 2012, p. 1-2).

ARTÍCULOS TRANSITORIOS

Artículo Segundo. El país asume el objetivo indicativo o meta aspiracional de reducir al año 2020 un treinta por ciento de emisiones con respecto a la línea de base; así como un cincuenta por ciento de reducción de emisiones al 2050 en relación con las emitidas en el año 2000 (...). (LGCC, 2012, p.42).

1.2.2. Reglamento de la ley general de cambio climático en materia del registro nacional de emisiones [RLGCC]

Artículo 6. Para los efectos del artículo 87, segundo párrafo, fracción II de la Ley, el umbral a partir del cual los Establecimientos Sujetos a Reporte, identificados conforme a los artículos 3 y 4 del presente Reglamento, deben presentar la información de sus Emisiones Directas o Indirectas, será el que resulte de la suma anual de dichas Emisiones, siempre que tal resultado sea igual o superior a 25,000 Toneladas de Bióxido de Carbono Equivalente. (RLGCC, 2014, p. 11).

Artículo 9. Los Establecimientos Sujetos a Reporte, tendrán las siguientes obligaciones:

I. Identificar las Emisiones Directas de Fuentes Fijas y Móviles, conforme a la clasificación de sectores, subsectores y actividades contenidas en los artículos 3 y 4 del presente Reglamento;

II. Identificar las Emisiones Indirectas asociadas al consumo de energía eléctrica y térmica;

III. Medir, calcular o estimar la Emisión de Gases o Compuestos de Efecto Invernadero de todas las Fuentes Emisoras identificadas en el Establecimiento aplicando las metodologías que se determinen conforme al artículo 7 del presente Reglamento; (...). (RLGCC, 2014, p. 14).

1.2.3. Ley de cambio climático del estado de Puebla

ARTÍCULO 2. La presente Ley tiene por objeto:

- I. Garantizar el derecho a un ambiente sano para el desarrollo y bienestar;
- II. Establecer la concurrencia de facultades del Estado y de los municipios en la elaboración y aplicación de políticas públicas para la adaptación al cambio climático y la mitigación de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero;
- III. Establecer las bases de coordinación entre las Dependencias y Entidades de la Administración Pública Estatal y las Municipales, que permitan la efectiva acción del Estado en materias de adaptación y mitigación al cambio climático;
- IV. Regular las acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático en el Estado;
- V. Reducir la vulnerabilidad de la población y de los ecosistemas del Estado frente a los efectos adversos del cambio climático, así como crear y fortalecer las capacidades estatales y locales de respuesta al fenómeno. (Gobierno del Estado de Puebla, 2013, p. 5).

1.3. Variabilidad natural

La variabilidad climática hace referencia a las condiciones variables en el clima, en escalas temporales y espaciales que van más allá de un fenómeno meteorológico en particular. El fenómeno meteorológico cálido conocido como EL NIÑO, o en contraste el evento LA NIÑA, conjuntamente conocidos como EL NIÑO Oscilación Sur (ENOS), son ejemplos de variabilidad climática (Quintero, Carvajal y Aldunce, 2012).

En el glosario del IPCC, 2018, se define Variabilidad climática como:

Denota las variaciones del estado medio y otras características estadísticas (desviación típica, sucesos extremos, etc.) del clima en todas las escalas espaciales y temporales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos. La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones del forzamiento externo natural o antropógeno (variabilidad externa). (p. 92).

El aumento de temperatura, elevación del mar, cambios en las precipitaciones, la frecuencia e intensidad de los fenómenos climáticos extremos, son cambios en el clima que conducen a una mayor variabilidad climática. Es importante mencionar que estos cambios en el clima provocan modificaciones en la biodiversidad, como pueden ser enfermedades, plagas e incluso alteración en la frecuencia e intensidad de incendios, olas de calor, sequías, entre otras (IPCC, 2002).

1.4. Cambio climático

Diferentes autores e instituciones a lo largo del tiempo han determinado diferentes conceptos para definir lo que es el cambio climático.

La Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC), en su artículo 1, define el “cambio climático” como un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observado durante períodos de tiempo comparables. Para el IPCC, [el término como tal] denota un cambio en el estado del clima identificable (por ejemplo, mediante análisis estadísticos) a raíz de un cambio en el valor medio y en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, generalmente cifrado en decenios o en períodos más largos. (Díaz, 2012, p.229).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) (2018) menciona que el cambio climático representa un riesgo en aspectos sociales, ambientales de la salud, la calidad del aire, del agua, la demanda satisfactoria de alimentos y una vivienda segura. Según se prevé, entre 2030 y 2050 el cambio climático causará unas 250.000 defunciones adicionales cada año, debido a la malnutrición, el paludismo, la diarrea y el estrés calórico.

Cambio climático, se ha convertido en un término muy conocido en todo el planeta que abarca una gama de fenómenos, desde capas de hielo polar en continua descongelación hasta condiciones erráticas y desastres del clima, todo lo cual ha dado lugar a una serie de debates y acuerdos internacionales. Muchas personas están abogando por la necesidad de tomar en serio el cambio climático y actuar ya, antes de que enfrentemos mayores problemas que podrían conducir a una migración masiva desde áreas inundadas, escasez de alimentos y enfermedades, entre otros impactos. (Skinner, 2011, p.13).

Los extremos cambios climáticos a lo largo de la segunda mitad del siglo XX, el calentamiento de los océanos, la fusión de hielo y nieve, la elevación del nivel del mar son resultado principalmente de la actividad humana (con una probabilidad superior al 95%) de más de la mitad del aumento observado en la temperatura superficial media global en el periodo 1951-2010 (Camino, Ruggeroni y Hernández, 2014).

El cambio climático constituye el desafío más importante de la humanidad para el presente siglo. Se trata de un complejo fenómeno resultante del proceso civilizatorio en boga que desestabilizará aún más los ciclos y dinámicas naturales y sociales de todo el globo. (González y Meira, 2020, p.157).

1.5. Efectos del cambio climático en la agricultura

La agricultura es muy sensible a las condiciones ambientales del entorno, a la disponibilidad y calidad de los recursos naturales y por ende a la variabilidad climática y al cambio climático. Este último representa una amenaza para la producción agrícola, para las personas que dependen de esta actividad y sobre todo para la seguridad alimentaria y nutricional de toda la población. Este fenómeno se manifiesta modificando el comportamiento de las precipitaciones, temperaturas y vientos, así como también en el aumento de la intensidad y frecuencia de eventos meteorológicos extremos que conducen hacia desastres que afectan a la agricultura (FAO, 2018).

La OMS (2018) señala que la producción de alimentos básicos en muchas regiones disminuirá debido al aumento de las temperaturas y a la variabilidad climática. Lo anterior aumentará aún más los niveles de malnutrición y desnutrición, que actualmente causan 3,1 millones de defunciones cada año.

De acuerdo con los modelos de cambio climático empleados, la evapotranspiración (la cantidad de agua evaporada desde el suelo y transpirada por las plantas) habrá aumentado 34%, el escurrimiento (la cantidad de agua que fluye en los cauces existentes) habrá disminuido hasta 10% y la infiltración (la cantidad de agua que se infiltra en el subsuelo y recarga los mantos freáticos) habrá caído en promedio 58% para 2050. (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [SAGARPA], 2012, p.10).

La capacidad de adaptación de los ecosistemas naturales y algunas especies se ven amenazadas por el cambio climático, esto a consecuencia de los aumentos de temperaturas que se han experimentado. Por otra parte, también se afectaría a la agricultura por este fenómeno debido a que podría acabar con grandes áreas de cultivos, principalmente con los de tipo temporal y con ello poner en riesgo la seguridad alimentaria del país (Sosa, 2015).

El incremento de la temperatura generará problemas de erosión genética y conducirá a la extinción de muchas especies vegetales; las altas temperaturas pueden afectar adversamente la fotosíntesis, la respiración, las relaciones hídricas y la estabilidad de las membranas, la regulación hormonal y el metabolismo secundario de las plantas. (Jarma, Cardona y Araméndiz, 2012, p.63).

Los rendimientos y la calidad de los cultivos tienen alta probabilidad de verse disminuidos debido a las crecientes temperaturas y a la disminución de la precipitación. Otras de las consecuencias que se esperan son una mayor lixiviación de nitrógeno y erosión del suelo, menor disponibilidad de tierras y de recursos hídricos para la actividad agropecuaria (Ortiz, 2012).

En el estudio realizado en Toluca, se encontró que la precipitación afecta algunas zonas de cultivo, debido a lluvias y granizadas intensas. Esta alteración condiciona la temporada de riego, lo cual resulta en problemas en cultivos y por supuesto, en la población dedicada a esta actividad (Reyes Adame y Cadenas, 2018).

En localidades cañeras del norte de Oaxaca se ha presentado un aumento en la temperatura en los últimos años, en 2019 se tuvo una sequía, la temporada de lluvias se retrasó y fue escasa, en este año la precipitación registró un déficit del 40% de la precipitación promedio. "El déficit de lluvia no permitió que el suelo sostuviera los cultivos,

no solo de caña sino tampoco de maíz, los cuerpos de agua disminuyeron su nivel, y finalmente esto repercutió en la economía local porque las ganancias de los campesinos se vieron reducidas la economía local porque las ganancias de los campesinos se vieron reducidas” (Toscana y Günther, 2021).

En un estudio realizado en el estado de Veracruz, se menciona que, a mediados de los años 90, los productores del área adoptaron variedades de semillas de maíz mejoradas de empresas privadas que resistiera las altas temperaturas y la poca agua (situación similar que ocurrió en los valles de México, Toluca, Puebla y Chiapas), cabe mencionar que este tipo de cultivo requiere la introducción total o parcial de tecnología asociada, por lo que se necesita de cierta capacidad financiera. En el país se posee una diversidad de razas de maíz adaptadas a condiciones específicas y que actualmente se han visto amenazadas. El inicio de la siembra de maíz ha cambiado, los productores necesitan realizar ajustes, lo que antes se hacía en mayo se ha retrasado a los meses de junio, julio y septiembre, o bien, se realiza la siembra en lugares bajos donde hay retención de humedad (Casanova, Martínez, López y Rosales, 2019).

1.6. Meteorología y su relación con la agricultura

Ugarte (2017) define como clima al estado atmosférico más frecuente para un lugar y periodo de tiempo determinados y explica que todos los elementos del clima (temperatura, precipitación, humedad, viento, presión atmosférica, fenómenos eléctricos) están interrelacionados. Estas relaciones se explican usando descripciones estadísticas de las tendencias y la variabilidad de los elementos principales.

Uno de los factores que inciden directamente sobre la agricultura es el clima, mismo que podría beneficiar o afectar el desarrollo y/o rendimiento de esta. El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) 2015, menciona que variables del clima como la radiación solar (insolación), la temperatura (máxima, mínima y promedio), la lluvia, el viento, la humedad del aire y la evaporación, son recursos críticos para la producción agropecuaria, pero dada su variabilidad y las pocas posibilidades de controlarlos, también constituyen importantes factores de riesgo.

Dada la intrínseca relación existente entre los fenómenos y/o procesos del clima sobre la agricultura, surgió la necesidad de desarrollar una nueva ciencia que se encarga de estudiar estas relaciones, la agroclimatología. Si bien el clima no es el único factor del medio físico

cuya influencia se refleja en la agricultura, es cierto que está sometido a variaciones más bruscas en el tiempo, y debido a la influencia que tiene este sobre la agricultura, estos efectos son más visibles a corto plazo, pudiendo ocasionar pérdidas sustanciales o totales en la agricultura (Ortiz, 2020).

Para Wagner (2005), la agroclimatología, a menudo también conocida como climatología agrícola, es un campo en la ciencia interdisciplinaria de la agrometeorología, en la que los principios de la climatología se aplican a los sistemas agrícolas. Sus orígenes se relacionan con el papel más importante que desempeña el clima en la producción vegetal y animal.

1.6.1. Agricultura de riego

El uso de riego es necesario en una gran parte del país mexicano. La precipitación pluvial media anual es de 772 mm, no obstante, el agua precipitada no se distribuye homogéneamente en el territorio nacional, hay regiones en las que la precipitación media anual es de menos de 200 mm en la parte noroeste del país en cambio hay zonas en el sureste en las que sobrepasa los 3000 mm, también hay periodos en los que prácticamente no hay lluvias en periodos largos y regiones con precipitaciones mensuales del orden de 500 mm. Debido a dichas condiciones naturales y a medida que la población y el desarrollo económico incrementan la demanda de productos agrícolas, se ha propiciado un avance en cuanto a la agricultura de riego. A pesar de que existen regiones en el país donde la agricultura de temporal es exitosa, se estima que la agricultura de riego es de dos a tres veces más productiva que la de temporal en cultivos como maíz, sorgo grano, trigo y frijol. Resulta importante remarcar que la agricultura de riego busca tener una mayor productividad en un espacio determinado que la agricultura de temporal, ejemplo de esto se da en 2014 donde el valor total de la producción agrícola se estimó en \$238, 559,104, de los que el 64% se atribuyen a producción bajo riego y 36% para agricultura de temporal, esto cuando la superficie cosechada por riego fue de 4, 119,605 ha y 10, 980,356 ha para la cosecha de temporal (Palacios y Escobar, 2016).

Un adecuado sistema de riego aporta la cantidad necesaria de agua en el momento que se necesita, humedeciendo el suelo hasta la profundidad que requiere el cultivo. Actualmente existen diferentes sistemas de riego recomendables para cada región y/o cultivo, algunos de ellos son: riego por goteo, por aspersión, por bombeo y por gravedad, entre otros. (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2018, sp).

La agricultura de riego es una exitosa estrategia de adaptación ante la variabilidad y cambio climático debido a que brinda seguridad y estabilidad de la producción; inició desviando el agua directamente de los ríos, posteriormente se construyeron sistemas de riego complejos que demandarían avances tecnológicos y mayores inversiones. Este tipo de agricultura ha mostrado una inclinación al uso intensivo de insumos agrícolas, así como de semillas mejoradas que han permitido un mayor rendimiento de los cultivos, ejemplo de esto es el rendimiento del maíz por riego que presenta un incremento anual promedio de 170 kg/ha en los últimos treinta años. La superficie sembrada de riego se concentra principalmente en cultivos correspondientes al ciclo otoño-invierno (Ojeda, Sifuentes, Rojano, y Íñiguez, 2012).

1.6.2. Agricultura de temporal

De acuerdo con la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) (2016), en la agricultura del país las siembras y cosechas, se relacionan con las estaciones del año y los periodos vegetativos de los cultivos, la agricultura de temporal se refiere a que la producción de los cultivos depende del comportamiento de las lluvias y de la capacidad del suelo para captar el agua. Al respecto, tienen la ventaja de que el gasto en la producción es menor al no tener que invertir en el tema de riego. Algunos ejemplos son el maíz de temporal, el limón y el sorgo. (s.p.).

En México, la agricultura se encuentra principalmente en manos de pequeños agricultores de temporal, proporcionando alimento y una fuente económica. En 2014, 70.5% de las unidades de producción eran menores a 5 hectáreas y estaban dedicadas a la siembra de maíz y frijol con un limitado apoyo gubernamental a través esencialmente de subsidios asistencialistas. La agricultura de temporal anual se practica en todo el país, bajo distintos climas, suelos, condiciones orográficas contrastantes y con sistemas de producción muy diversos. Esta pequeña agricultura no solo mantiene los alimentos básicos de la dieta mexicana (maíz y frijol) sino que protege la agrobiodiversidad y representa una oportunidad para dinamizar las economías locales. (Cotler, Corona, y Galeana, 2020, sp).

Cotler, Corona, y Galeana, (2020) señalan que, a nivel nacional, el 16% de las tierras destinadas a la agricultura de temporal se encuentran erosionadas en diferente grado, predominando el nivel ligero. El clima y el relieve no son las únicas variables causantes de

la erosión pero si es pueden determinar su intensidad, resulta importante considerar que el impacto en los suelos agrícolas también dependerá de factores como el sistema usado, fechas y modo de siembra, tipo y densidad del cultivo, método de cultivo y de cosecha, entre otros, por ejemplo: a diferencia de los sistemas de monocultivos, los sistemas agrícolas diversificados mantienen una mejor calidad del suelo, aumentan la retención de la humedad, la erosión es menor y tiene una mayor resiliencia al cambio climático. La erosión del suelo repercute en el contenido de carbono orgánico afectando negativamente el nivel nutricional de los suelos, la tasa de infiltración y la capacidad de retención de agua, haciendo que la productividad y resiliencia disminuya e incrementa su vulnerabilidad ante eventos hidrometeorológicos. Si se considera que el rendimiento promedio nacional es de 3.2 t/ha, las áreas agrícolas de temporal que presenta erosión pueden estar perdiendo hasta un 81% de su producción.

De acuerdo con Íñiguez, Ojeda, Díaz, y Sifuentes (2014) “caracterizar la vulnerabilidad climática de la agricultura de temporal demanda el conocimiento de las variables de la estación lluviosa” y conocer el inicio y fin de temporada de lluvias resulta favorable para el desarrollo de los cultivos permitiendo alcanzar un mayor potencial productivo. Para México, el 70% de la precipitación es de mayo a octubre y se busca coincidir los ciclos de cultivo con los periodos de lluvia. Para el conocimiento de la temporada de lluvia, se mencionan dos criterios: el primer criterio se trata del balance hídrico diario de la humedad del suelo mientras que el segundo se basa en indicadores climáticos relacionados con la lluvia acumulada observada en uno o más días, también se proponen indicadores como la evotranspiración y periodos de días secos consecutivos.

México es un país maicero, el maíz es el cultivo principal y cerca del 85% de la superficie destinada para esta siembra es bajo condiciones de temporal, sin embargo, el país tiene problemas de autosuficiencia, por lo que se ve en la necesidad de importar este cultivo. En comparación con otras gramíneas como el trigo o sorgo, el cultivo del maíz es muy sensible al estrés hídrico. Como la precipitación es la única fuente de agua para los cultivos de temporal es necesario evaluar los requerimientos hídricos que se necesitan, las condiciones ambientales, entre otros factores intervienen en su producción por lo que es importante su estudio a nivel local (Íñiguez, Ojeda, Díaz, y Sifuentes, 2014).

1.6.3. Eventos extremos

El Glosario del IPCC, (2018) define un fenómeno meteorológico/climático extremo como un fenómeno meteorológico raro en determinado lugar y época del año. Aunque las definiciones de raro son diversas, la rareza normal de un fenómeno meteorológico extremo sería igual o superior a los percentiles 10º o 90º de la estimación de la función de densidad de probabilidad observada. Por definición, las características de un fenómeno meteorológico extremo pueden variar de un lugar a otro en sentido absoluto. Un comportamiento extremo del tiempo puede clasificarse como fenómeno climático extremo cuando persiste durante cierto tiempo (p. ej., una estación), especialmente si sus valores promediados o totales son extremos (p. ej., sequía o precipitación intensa a lo largo de una temporada).

Los eventos climáticos extremos que actualmente han causado un extenso número de daños alrededor del mundo—lluvias torrenciales, sequías persistentes, ciclones, etcétera-, han sido estudiados a partir de consideraciones económicas, dadas las pérdidas y daños generados en todas las esferas sociales. No obstante, su origen ha tenido diferentes explicaciones de tipo físico y natural sobre su ocurrencia. (Ávila y González, 2014, p.37).

Los extremos climáticos siempre han sido tema de interés para muchos investigadores, debido a las afectaciones que estos pueden provocar en la sociedad y ecosistemas receptores. Por esta razón todas las investigaciones de este tema son de importancia ya que contribuyen a la búsqueda de soluciones para al menos disminuir la vulnerabilidad ante estos sucesos (Barcía, Guevara, Estrada y Otero, 2021).

Uno de los eventos extremos que han sido también objeto de estudio son las sequías. La Organización Meteorológica Mundial (OMM) (2006), define a la sequía como un fenómeno perjudicial y subrepticio, resultado de niveles de precipitación inferiores a lo que normalmente se espera y que, cuando se prolonga durante una estación o durante periodos más largos, hace que las precipitaciones no sean suficientes para responder a las demandas de la sociedad y del medio ambiente. La sequía es una aberración transitoria y en ello se diferencia de la aridez, que es una característica permanente del clima.

Otro tipo de eventos climatológicos extremos son las heladas. La FAO (2010), define como “helada” a la ocurrencia de una temperatura del aire de 0 °C o inferior, medida a una altura de entre 1,25 y 2,0 m por encima del nivel del suelo, dentro de una garita meteorológica adecuada. El agua dentro de las plantas puede que se congele o no durante un evento de

helada, dependiendo de varios factores de evitación (e.g. superenfriamiento y concentración de bacterias nucleadoras de hielo).

Un evento de helada se convierte en un evento de congelación cuando se forma hielo extracelular dentro de las plantas. El daño por congelación ocurre cuando la temperatura del tejido de las plantas cae por debajo de un valor crítico donde hay condición fisiológica irreversible que conduce a la muerte o al funcionamiento incorrecto de las células de las plantas. Esta temperatura que produce el daño de los tejidos se correlaciona con las temperaturas del aire denominadas "temperaturas críticas" medidas en garitas con instrumentos estándar. (FAO, 2010, p.3).

Otro de los fenómenos extremos es: las lluvias torrenciales o "Precipitación intensa", para dicho fenómeno diversos autores han definido conceptos diferentes. La Agencia de Protección Ambiental (EPA) (2021), se refiere a este como los casos en los que la cantidad de lluvia o nieve que se ha experimentado en determinado lugar, supera sustancialmente lo normal. Constituye un período de fuertes precipitaciones que varía según la ubicación y la temporada.

Por otra parte Qiu, Shen, Leng, & Wei (2021), denominan las lluvias torrenciales y tormentas en base a rangos de precipitaciones, mencionan que, de acuerdo con la cantidad de precipitación, los patrones de lluvia son clasificados como lluvia ligera ($1 \leq P < 10$ mm), lluvias moderadas ($10 \leq P < 25$ mm), lluvia torrencial ($25 \leq P < 50$ mm) y tormentas ($P \geq 50$ mm).

Tormentas de granizo o granizadas, también son fenómenos de interés debido a las afectaciones que pueden ocasionar en personas, animales, materiales, cultivos y obstrucciones que generan en tuberías y drenajes. El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) (2019) explica que el granizo se forma dentro de nubes de tormenta (cumulonimbus), aquí las gotas de agua son impulsadas hacia zonas frías de la atmosfera y las congela, a su vez éstas congelan a otras gotas, permitiendo que se aglutinen unas con otras y cuando se vuelven pesadas, y las corrientes de aire no las soportan, caen en forma de pedriscos. Su tamaño varía dependiendo de la cantidad de gotas de agua que puedan retener [...] Este tipo de tormentas no suelen alcanzar grandes extensiones y a pesar de su corta duración, pueden generar diferentes problemas.

1.7. Estaciones meteorológicas: funcionamiento

Actualmente se puede consultar la información climatológica nacional que va de 1900 hasta la fecha donde se dispone de información actualizada por los organismos de cuenca y direcciones locales de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la cual implica aproximadamente 55 millones de registros diarios de lluvia en 24 horas y temperatura mínima y máxima, reportados por alrededor de 5,500 estaciones climatológicas y para los casos que cuenten con registros mayores de 10 años, se realiza el cálculo de normales climatológicas, valores extremos y estadísticas mensuales. (CONAGUA, s.f., sp)

Estación Meteorológica Automática (EMA)

Es un sistema autónomo y automático formado por un conjunto de sensores de medición, dispositivos eléctricos, electrónicos y mecánicos, montados sobre una estructura de soporte, en donde son distribuidos, orientados y conectados al Sistema de adquisición, procesamiento y almacenamiento de datos (SAPAD) de la estación, con el objetivo de realizar la medición y registro de las variables meteorológicas que imperan en el lugar, y transmitir los datos obtenidos a la oficina central, en donde serán utilizados y almacenados a una base de datos. (CONAGUA, s.f., sp).

Sensores básicos que integran una EMA según la CONAGUA:

- Velocidad del viento
- Dirección del viento
- Presión atmosférica
- Temperatura
- Humedad relativa
- Radiación solar
- Precipitación

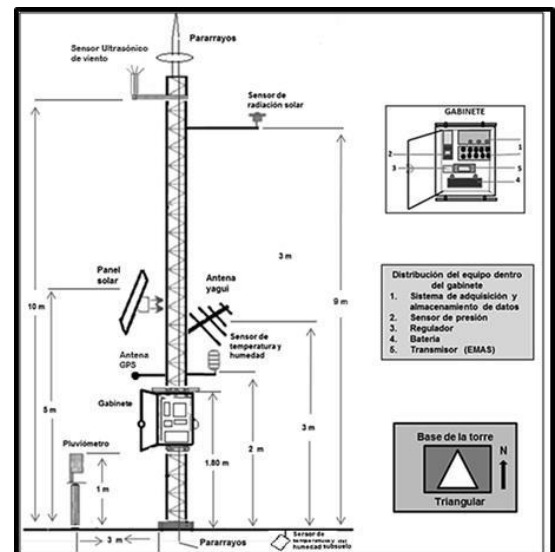


Figura 1. Sensores básicos que integran una EMA.

Fuente: CONAGUA (s.f).

Las EMA registran las siguientes variables en intervalos de diez minutos:

- Dirección del viento, en grados de 0 a 360
- Dirección máxima del viento, en grados de 0 a 360
- Velocidad del viento, en km/h de 0 a 200
- Velocidad máxima del viento, en km/h de 0 a 200
- Temperatura ambiente, en °C de -30.0 a 60.0
- Humedad relativa, en % de 0 a 100
- Presión atmosférica de la estación, en mb de 550.0 a 1 100
- Lluvia acumulada de cada 10 minutos, en mm de 0.00 a 50.00
- Radiación solar, en W/m² de 0 a 1 400.

(Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas [CONANP], 2019).

1.8. Variables meteorológicas

Las variables meteorológicas son parámetros característicos del estado del tiempo, son medibles y a través de su comportamiento se puede conocer cuáles son las condiciones que presenta la atmósfera en su momento. Las variables meteorológicas más importantes al conocer el estado de la mezcla gaseosa que envuelve al planeta son: la temperatura, presión atmosférica, humedad, viento, radiación solar y la evaporación; a estas se le suma otras aún más específicas dependiendo el objetivo o área de interés (Cabrera, 2020).

Como propósito de este trabajo de investigación retomaremos las definiciones de las siguientes variables:

1.8.1. Precipitación

Se definen como la caída de agua procedente de las nubes, en forma de gotitas o de partículas sólidas. Las pequeñas gotitas de las nubes (de 10 a 30 micras de diámetro) se unen y forman gotas más grandes (de 2000 micras de diámetro), que vencen la resistencia del aire y caen. Las precipitaciones tienen gran importancia en la vida humana y en las demás condiciones geográficas. Por ejemplo, los campesinos aprovechan directamente el agua de las lluvias en el cultivo de las plantas. Por otro lado, el agua de las lluvias o la nieve alimentan los nevados, lagos y ríos, constituyendo parte del ciclo hidrológico. (Rivas, 2018, p.30).

1.8.2. Humedad

Es el vapor de agua presente en el aire. El vapor de agua proviene de la superficie por evaporación de las masas de agua (océanos, mares, lagos y ríos), transpiración y exhalación de los organismos (...). La humedad también varía con la temperatura. Como el aire es un gas, cuando más caliente está, más vapor de agua almacena; y viceversa, cuanto más frío está menos vapor de agua tendrá. (Rivas, 2018, p.28).

1.8.3. Velocidad del viento

De acuerdo con Andrades y Múñez (2012), el viento es un desplazamiento de aire dado por las diferencias de presión de un sitio a otro y está definido por su dirección y su velocidad. Para el caso de los cultivos, es importante conocer la acción del viento para poder amortiguar efectos negativos, por ejemplo, con barreras cortavientos o decidir la dirección de los surcos.

El término de velocidad del viento, según el glosario técnico de CONAGUA, (s.f.) se refiere a:

- “1. Promedio del movimiento del aire durante un periodo de tiempo preestablecido (km/h).
2. Relación de la distancia recorrida por el aire con respecto al tiempo empleado en recorrerla” (sp).

Generalmente la velocidad aumenta respecto a la altura de la superficie, también, la rugosidad del terreno es un factor que se relaciona con la velocidad del viento ya que los obstáculos implican una reducción del libre flujo del viento. La topografía del terreno es otro factor a considerar, es decir un terreno a gran altura recibirá más directamente el viento que un terreno a una menor altura. En las estaciones climáticas, normalmente se mide a 10 m de altura y a campo abierto (Andrades y Múñez, 2012).

1.8.4. Dirección del viento

Este término es definido en el glosario técnico de CONAGUA, (s.f) como:

La dirección desde la cual sopla el viento, puede ser expresada en grados a partir del norte geográfico, como lo muestra la tabla 1:

Tabla1. Dirección del viento.

| Dirección | Grados |
|------------------|---------------|
| Norte | 0 |
| Este | 90 |
| Sur | 180 |
| Oeste | 270 |

Fuente: Conagua, s.f.

La fuerza de Coriolis interviene en la dirección del viento, esta es perpendicular al movimiento del aire originado por el gradiente de presión y va cambiando su dirección convirtiéndolo en un movimiento paralelo a las isobaras. Estos cambios de dirección se explican con la ley de Ferrel, todo fluido en el hemisferio norte que se mueve horizontalmente se desvía a la derecha de su trayectoria, para el hemisferio sur esta desviación es hacia la izquierda. La dirección del viento puede ser valorada a lo largo del tiempo y ser expresada en una rosa de vientos, con el propósito de analizar el origen del viento en un periodo determinado (Andrades, y Múñez, 2012).

Los vientos que se forman con regularidad y que van en la misma dirección se conocen como vientos persistentes y según su extensión, pueden ser locales (generados por las condiciones de terreno), regionales o globales (vientos del oeste, alisios, etc.). En cambio, los vientos que se forman esporádicamente y soplan en cualquier dirección se conocen como vientos episódicos, en este caso las depresiones y anticiclones dan lugar a este tipo de viento (Andrades, y Múñez, 2012).

1.8.5. Temperatura máxima y mínima

La temperatura se refiere a la medida del movimiento molecular, se mide mediante el uso de escalas arbitrarias que parten del cero absoluto donde teóricamente las moléculas

permanecen inmóviles. También se entiende como una condición que establece un intercambio de flujo de calor de un cuerpo a otro (CONAGUA, sf.).

Tal como se define en el glosario técnico de Conagua s.f. la temperatura máxima y mínima es:

Temperatura Máxima.

1. Es la mayor temperatura registrada en un día, y que se presenta entre las 14:00 y las 16:00 horas.
2. La temperatura más elevada en el transcurso de un intervalo determinado.

Temperatura Mínima.

1. Es la menor temperatura registrada en un día, y se puede observar en entre las 06:00 y las 08:00 horas.
2. La temperatura más baja en el transcurso de un intervalo de tiempo determinado. (sp)

Tomando como un elemento aislado y en condiciones normales, la temperatura máxima diaria se alcanza en las primeras horas de la tarde, las máximas mensuales en la zona templada del hemisferio norte entre julio y agosto, mientras que para el hemisferio sur se alcanzan entre enero y febrero (Acuña, y Robles, 2015).

En condiciones normales, las temperaturas mínimas diarias se tienen en el amanecer, las mínimas mensuales en el hemisferio norte se tienen entre enero y febrero, para el hemisferio sur se tienen entre julio y agosto (Acuña, y Robles, 2015).

La temperatura del aire es variable y se ve influenciada por los cambios que ocurren entre el día y la noche, al irradiar energía el sol calienta las masas de aire que van hacia la tierra las cuales son devueltas como radiación infrarroja que provoca que el aire se caliente. Durante la noche no se recibe energía del sol, por lo que el aire se enfría y se obtiene un punto de temperatura mínimo poco antes del amanecer. La temperatura del aire depende de factores como: variación diurna, variación estacional, distribución latitudinal y longitudinal, variación con los tipos de superficie terrestre, y variación con la altura (Acuña, y Robles, 2015).

En las plantas, el calor del suelo es importante para el proceso de germinación, si se presentan temperaturas muy bajas este puede ser tardado o en el peor de los casos, puede suspenderse totalmente. La temperatura del aire influye en procesos fisiológicos del crecimiento y desarrollo en la parte aérea de la planta - generalmente se desarrollan entre 0 y 40°C- para su crecimiento requieren que las temperaturas no presenten valores extremos, ya sean máximos o mínimos que las afecten (Mafla, Moreno, y Grupo de agrometeorología, 2011).

CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

2.1. Selección del sitio de estudio

Para la selección del sitio de estudio consideramos los siguientes filtros:

2.1.1. Se seleccionaron dos regiones socioeconómicas del estado de Puebla

La delimitación de los sitios de estudio comenzó por la selección de dos regiones socioeconómicas del estado de Puebla; región de la Mixteca poblana y la región Valle de Serdán. La región Serdán se conoce por ser una región de alta productividad, especialmente productora de maíz que es el cultivo que aporta mayor valor a la producción de la región ya que tiene características que favorecen este cultivo: clima templado húmedo y subhúmedo con lluvias en verano, rango de temperatura de 12-18°C y precipitación media anual promedio de 1000 mm (López, Sánchez, Valverde, Sánchez, Morales y Gaytán, 2019). Esta región tiene un riesgo muy alto por fenómenos naturales debido a que se encuentra en la zona sismogénica de la costa del Pacífico además de su cercanía al volcán Citlaltépetl donde Ciudad Serdán y municipios cercanos han tenido afectaciones (Gobierno de Puebla, 2020).

Mientras la región de la mixteca poblana se caracteriza por tener un alto grado de marginalidad en su población; pobreza patrimonial y alimentaria, altas tasas de analfabetismo, dispersión poblacional, escasez de servicios básicos y un entorno en el que la agricultura de subsistencia con cultivos temporal es de las actividades dominantes en la región (Ibarra y Martínez-Carrasco, 2011).

De esta manera, ambas regiones tienen características de interés para el propósito de esta investigación.

2.1.2. Se seleccionan los municipios con mejor calidad y cantidad de datos en sus estaciones

De las regiones anteriormente seleccionadas se buscaron los municipios que cuenten con la mejor cantidad y calidad de datos en sus EMA's del SMN y CONAGUA, para esto fue necesario ubicar en la página de Normales Climatológicas por Estado, también de la CONAGUA, las estaciones correspondientes a cada uno de estos municipios. Una vez

identificadas las estaciones se seleccionaron aquellos municipios que aún mantenían sus estaciones en funcionamiento.

Para el caso de los municipios de la mixteca poblana, únicamente 16 de los 45 municipios que conforman la región mantienen sus estaciones meteorológicas automáticas en operación (Tabla 2). Y para la región Serdán se encontraron 23 estaciones operando distribuidas en 13 municipios de la región, en la tabla 3 se muestran dichas estaciones meteorológicas.

Tabla 2.

Estaciones meteorológicas automáticas operando en la región Mixteca.

| Municipio | Nombre | Clave |
|------------------------|--------------------------|--------------|
| Acatzingo de Hidalgo | ACATZINGO DE HIDALGO | 21005 |
| Cuyoaco | FRANCISCO I. MADERO | 21129 |
| Cuyoaco | COLONIA TE MEXTLA | 21029 |
| Chalchicomula de Sesma | CIUDAD SERDAN (SMN) | 21026 |
| Chalchicomula de Sesma | SAN DIEGO TEXMELUCAN | 21072 |
| Chalchicomula de Sesma | SAN ISIDRO CANOAS ALTAS | 21073 |
| Chalchicomula de Sesma | SAN PEDRO TEMAMANTLA | 21079 |
| Esperanza | SANTA CATARINA LOS REYES | 21154 |
| Guadalupe Victoria | EL PROGRESO | 21038 |
| Guadalupe Victoria | GUADALUPE BUENAVISTA | 21040 |
| Guadalupe Victoria | GUADALUPE VICTORIA | 21117 |
| Guadalupe Victoria | SAN LUIS ATEXCAC | 21077 |
| Libres | LIBRES (SMN) | 21119 |
| Palmar de Bravo | CUESTA BLANCA | 21031 |
| Palmar de Bravo | PALMAR DE BRAVO | 21060 |
| Quimixtlán | QUIMIXTLAN | 21067 |
| San Juan Atenco | ATENCO | 21221 |
| San Juan Atenco | SANTA CRUZ COYOTEPEC | 21081 |
| San Salvador el Seco | SAN SALVADOR EL SECO | 21080 |
| Soltepec | VISTA HERMOSA | 21100 |
| Tecamachalco | TECAMACHALCO | 21082 |
| Tecamachalco | ALCHICHICA | 21052 |
| Tepeyahualco | TEPEYAHUALCO | 21244 |

Fuente: CONAGUA, s.f.

Tabla 3.

Estaciones meteorológicas automáticas operando en la región Valle de Serdán

| Municipio | Nombre | Clave |
|-------------------------|--------------------------|--------------|
| Acatlán | ACATLÁN DE OSORIO, (GDE) | 21003 |
| Coatzingo | SAN JUAN COATZINGO | 21230 |
| Chila De La Sal | CHILA DE LA SAL | 21198 |
| Jolalpan | JOLALPAN | 21050 |
| Jolalpan | TEUTLA | 21217 |
| Molcaxac | MOLCAXAC | 21203 |
| Piactla | PIAXTLA | 21063 |
| San Jeronimo Xayacatlan | TONAHUIXTLA | 21176 |
| Santa Inés Ahuatempan | AHUATEMPAN | 21165 |
| Huehuetlan El Grande | HUEHUETLAN EL GRANDE | 21045 |
| Tehuizingo | SANTA CRUZ TEJALPA | 21205 |
| Teotlalco | TEOTLALCO | 21189 |
| Tepexi De Rodriguez | TEPEXI DE RODRIGUEZ | 21087 |
| Tulcingo | SAN CRISTOBAL TULCINGO | 21115 |
| Tzicatlacoyan | BALCON DIABLO | 21016 |
| Xochitlan Todos Santos | XOCHITLAN TODOS SANTOS | 21102 |

Fuente: CONAGUA, s.f.

De estos últimos municipios, se revisaron las bases de datos de la climatología diaria, dicha información se encuentra en las estaciones climatológicas. Estas bases proyectan el comportamiento de las variables de precipitación, evaporación, temperatura mínima y temperatura máxima día tras día durante todos los años que ha estado en funcionamiento la estación.

Para los municipios de ambas regiones, después de hacer esta revisión se encontró que en la mayoría de las estaciones había grandes lapsos de tiempo (5 años o más) en los cuáles no se reportaban datos para ninguna de las variables de interés (precipitación,

temperatura mínima y temperatura máxima), o bien empezaba la proyección de datos a partir de 1979 o incluso mucho después.

Se eliminaron entonces 13 municipios más de la región de la mixteca, debido a que sus estaciones tenían años sin proyección de datos o bien la información contenida no era suficiente para generar gráficas más representativas y completas que permitieran visualizar las variables desde antes de 1960 hasta lo más próximo al año corriente (2022). De igual manera para el Valle de Serdán se descartaron diez municipios y EMA's por falta de calidad de datos.

Se toma como referencia el año 1960, años anteriores a dicho año, el comportamiento de los índices climáticos 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. (Ramírez, 2020, p.20)

Finalmente, los municipios de la región de la Mixteca con las bases de datos más completas y con periodos de tiempo más amplios fueron Piaxtla, Xochitlan Todos Santos y Tzicatlacoyan y para la región Valle de Serdán; Acatzingo, Chalchicomula de Sesma y Tecamachalco.

2.1.3. Comparación de los fenómenos hidrometeorológicos por municipio

De acuerdo con el documento de riesgos y peligros regionales por fenómenos naturales y antrópicos, del estado de Puebla, se utilizaron cinco mapas que representan por regiones socioeconómicas fenómenos hidrometeorológicos y socio-organizativos (Ver Anexo 1). En estos mapas se ubican los últimos municipios seleccionados anteriormente para identificar cuáles se encuentran en mayores zonas de riesgo ante fenómenos hidrometeorológicos y los más vulnerables socioeconómicamente.

De acuerdo a los mapas del documento de riesgos del estado de Puebla, se identificó que los municipios de la mixteca más marginados y propensos a sufrir fenómenos hidrometeorológicos son los que están ubicados hacia el norte de esta región; Tzicatlacoyan y Xochitlan Todos Santos y para la región Valle de Serdán Acatzingo y Chalchicomula de Sesma, que a pesar de tener características similares Acatzingo tiene un mayor número de días con granizo y Chalchicomula de Sesma tiene presencia de tornados.

Tabla 4.

Comparación de los fenómenos hidrometeorológicos por municipio

| Fenómenos hidrometeorológicos de algunos municipios de la región Valle de Serdán | | | | | | | |
|--|--|--|----------------------------|------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | Índice de peligro por tormentas de granizo | Número de días con granizo | Índice de días con heladas | Grado de vulnerabilidad por sequía | Índice de marginación | Índice de resiliencia | Presencia de tornados |
| Acatzingo | Muy alto | >5 | Medio | Medio | Medio | Alto | Sin tornado |
| Chalchicomula de Sesma | Alto | 2-5 al oeste y 1-2 resto del municipio | Medio | Medio | Medio | Alto | Con tornado |
| Tecamachalco | Muy alto | 2-5 | Medio | Medio | Medio | Alto | Sin tornado |
| Fenómenos hidrometeorológicos de algunos municipios de la región Mixteca | | | | | | | |
| | Índice de peligro por tormentas de granizo | Número de días con granizo | Índice de días con heladas | Grado de vulnerabilidad por sequía | Índice de marginación | Índice de resiliencia | Presencia de tornados |
| Tzicatlacoyan | Alto | 2-5 | Medio | Alto | Alto | Bajo | Sin tornado |
| Xochitlan Todos Santos | Alto | 1-2 | Medio | Medio | Medio | Bajo | Sin tornado |
| Piaxtla | Bajo | 1-2 | Bajo | Medio | Medio | Bajo | Sin tornado |

Fuente: Instituto para la Gestión, Administración y Vinculación Municipal, (IGAVIM), 2020.

A continuación, se procedió a buscar entre estos municipios cuál era el más productivo para cada región y se determinó también cuáles son los cultivos que producen mayoritariamente.

2.1.4. Selección en base a su producción agrícola

Para esta parte de la investigación se hizo uso del SIACON-NG para obtener datos de producción agrícola de los municipios anteriormente seleccionados.

Esta herramienta proporciona a los usuarios información agrícola, pecuaria y pesquera de manera anual, ya sea estatal o municipal (SIAP, 2021).

La extracción de datos de esta herramienta se hizo por municipios, los ciclos seleccionados fueron el año agrícola (otoño a invierno y de primavera a verano) y perennes, la modalidad seleccionada fue la de temporal, las variables generadas fueron: superficie sembrada, superficie cosechada, superficie siniestrada, producción, rendimiento obtenido y valor de la producción, todas estas variables anteriormente mencionadas fueron generadas desde el año 2003 hasta el 2020 (información disponible por municipios).

De esta manera se generó la información de producción agrícola de los municipios de interés, las columnas que generó la aplicación SIACON-NG se copiaron a hojas de cálculo de Excel (Ver Anexo 2) para finalmente realizar gráficas y tener una mejor visualización de los resultados.

Para la región del Valle de Serdán se comparó Acatzingo y Chalchicomula de Sesma, se observó que de 2003 a 2008 su producción es similar y hay diferencias notables a partir de 2009 donde la producción en Acatzingo incrementa mientras que para Chalchicomula de Sesma disminuye notablemente, ver figura 2.

Al generar los datos de producción agrícola de los municipios de la mixteca; Tzicatlacoyan y Xochitlán Todos Santos, es evidente la diferencia de la producción agrícola entre estos municipios. Los valores de producción generados por año indican que la producción de Tzicatlacoyan está muy por encima de la producción de Xochitlan Todos Santos, tal como se ilustra en la figura 3.

Considerando los resultados obtenidos por los diferentes filtros, el municipio a estudiar para la región Valle de Serdán es Acatzingo ya que cuenta con suficientes datos en sus EMA's, es propenso a fenómenos hidrometeorológicos y es un municipio productivo.

Ante estos resultados, finalmente el municipio seleccionado para objeto de estudio de la región de la mixteca poblana es Tzicatlacoyan.

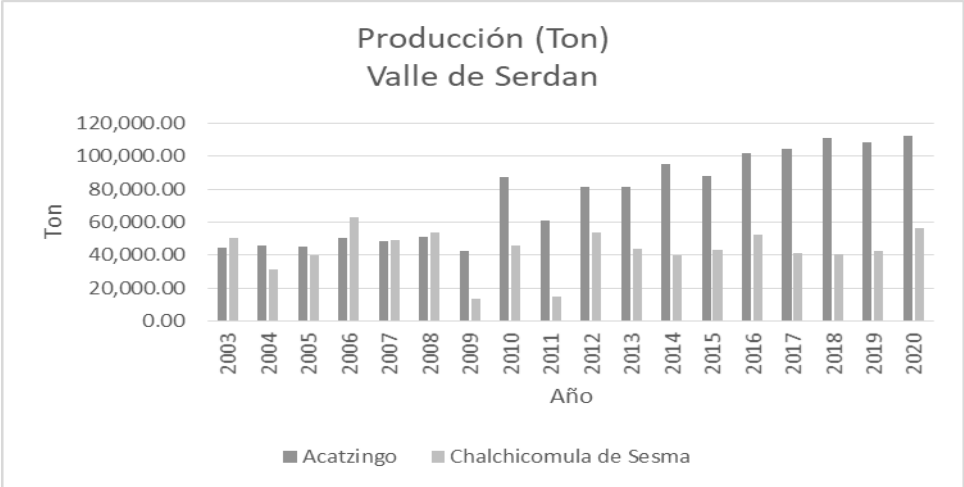


Figura 2. Producción en Acatzingo y Chalchicomula de Sesma.

Fuente: SIACÓN-NG, s.f.

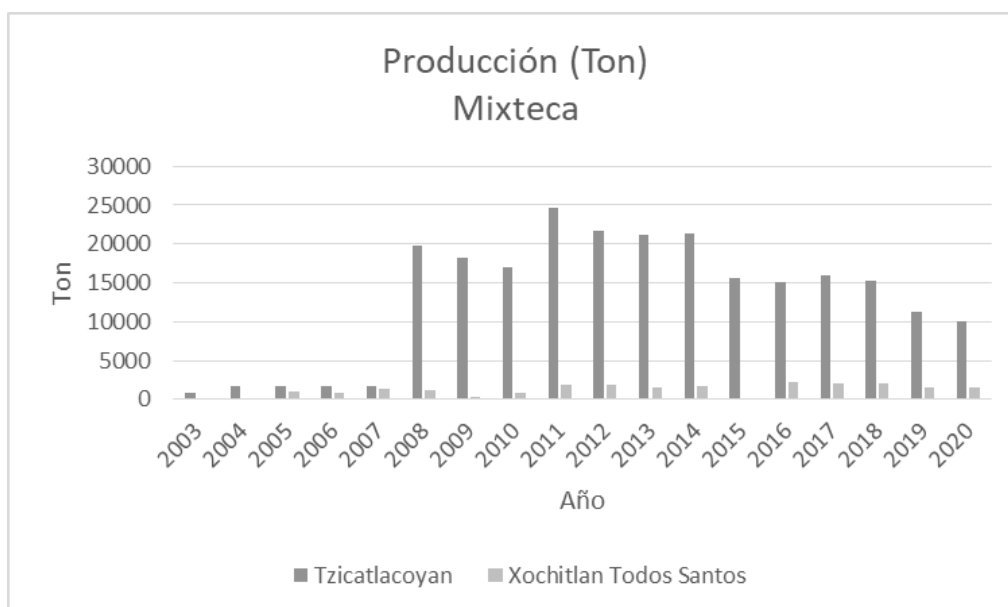


Figura 3. Producción en Tzicatlacoyan y Xochitlan Todos Santos

Fuente: SIACÓN-NG, s.f.

2.1.5. Información de los municipios

2.1.5.1. Municipio de Tzicatlacoyan

Tzicatlacoyan se encuentra ubicado en la parte central del estado de Puebla. Las coordenadas geográficas de este municipio son: los paralelos 18° 44' 30" y 18° 54' 12" de latitud norte, y los meridianos 97° 54' 54" y 97° 07' 54" de longitud occidental (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal [INAFED], sf). El municipio tiene colindancia al norte con los municipios de Cuautinchán y Tecali de Herrera; al sur con los municipios de Zacapala, Molcaxac, Huatlatlauca y Huehuetlán el Grande; al este con los municipios de Tecali de Herrera, Atoyatempan y Molcaxac; al oeste con los municipios de Huehuetlán el Grande y Puebla (Plan de desarrollo Municipal Tzicatlacoyan, 2019).

Clima

Tzicatlacoyan presenta una variedad de climas entre los que se incluyen un clima templado subhúmedo con lluvias en verano con porcentajes de humedad del 48 y 31 %, además de un clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano en un 21% (Plan de desarrollo Municipal Tzicatlacoyan, 2019).

Orografía

En el municipio se encuentra ubicada la mayor parte de la sierra de Tentzo, la cual se compone de una pequeña cordillera de cerros escabrosos, calizos y áridos que se levanta en la meseta Poblana con más de 800 metros de altura con respecto al Valle. Al norte de esta sierra se abre una depresión cuyo fondo sirve de cauce al río Atoyac, denominada depresión de Valsequillo. De esta manera el relieve del municipio queda de menor altura hacia el norte, presentando un constante y abrupto ascenso hacia el sur, donde se encuentran diferentes cerros como el Tecajete, el Jagüey, el Cerro Grande, etc., todos pertenecientes a la sierra del Tentzo (INAFED, s.f.).

Hidrografía

El municipio pertenece a la Región Hidrológica Balsas, a la zona denominada cuenca y subcuenca del río Miguel Ávila Camacho (Plan de desarrollo Municipal Tzicatlacoyan, 2019). Presenta también arroyos intermitentes que fluyen desde la sierra del Tentzo y recorren el municipio de sureste a noreste hacia la depresión de Valsequillo y se une al Atoyac (INAFED, s.f.).

Edafología

Se comprenden 6 diferentes tipos de suelo en la extensión del municipio; Leptosol, Calcisol, Vertisol, Durisol, Phaeozem y regosol. Leptosol (67%). Presenta roca continúa y dura durante los primeros 10 cm, es el tipo de suelo que predomina en el municipio, se encuentra principalmente en zonas altas o medias con una topografía escarpada y elevadas pendientes. Calcisol (18%). Significa calcáreo, que hace alusión a la sustancial acumulación de caliza secundaria. El relieve es llano a colinado. Vertisol (8%). Compuesto por sedimentos con una elevada proporción de arcillas esmectíticas, o productos de alteración de rocas que las generen. Este tipo de suelo se

encuentra en depresiones de áreas llanas o suavemente onduladas. Durisol (2.8%). Se conforma de depósitos aluviales o coluviales con cualquier textura. El relieve donde se presentan es llano o suavemente ondulado. Phaeozem (2%). Se caracteriza principalmente por el color oscuro que se observa en la superficie resultado del alto valor de materia orgánica. El relieve donde se presenta este suelo es llano o suavemente ondulado con una vegetación que puede ser de matorral tipo estepa o de bosque (Plan de desarrollo Municipal Tzicatlacoyan, 2019).

2.1.5.2. Municipio de Acatzingo

Acatzingo se encuentra ubicado en la parte central del estado de Puebla. Las coordenadas geográficas del municipio son: los paralelos 18°56'48" – 19°06'18" de latitud norte y los meridianos 97°49'54" – 92°34'18" de longitud occidental. Colinda al norte con el municipio de Nopalucan y Soltepec, al sur con el municipio Los Reyes de Juárez, San Salvador Huixcolotla y Quecholac, al este con Felipe Ángeles y al oeste con el municipio de Tepeaca (INAFED, s.f.).

Su superficie es de 140.522 kilómetros cuadrados y la mayor parte del territorio es destinado a la actividad agrícola. Del centro al norte del municipio se practica la agricultura de temporal mientras que al sur la agricultura es de riego (Plan de desarrollo Municipal de Acatzingo, 2018).

Clima

Acatzingo se encuentra en la zona de climas templados del Valle de Tepeaca, se tiene clima templado subhúmedo con lluvias en verano (INAFED, s.f.).

Orografía

El municipio se ubica dentro de la región morfológica del Valle de Tepeaca. Su característica principal es su suelo eminentemente calizo y los yacimientos de mármol. Su relieve muestra una topografía plana, con una ligera pendiente de norte a sur de 2500 metros sobre el nivel del mar a menos de 2100. Al norte se tiene un relieve escabroso que constituyen

estribaciones meridionales del conjunto montañoso de La Palizada y al noroeste se alza el cerro Las Escuelas, que tiene 120 metros de altura (INAFED, s.f.).

Hidrografía

Acatzingo pertenece a la cuenca del Rio Atoyac, cuenta con arroyos intermitentes que provienen del conjunto montañosos de la Palidaza que lo recorren de Norte Sur. Cuenta con acueductos, bordos y canales (INAFED, s.f.).

Edafología

El municipio presenta un solo tipo de suelo: Cambisol, que es conveniente para la agricultura, aunque por ser arcillosos y pesados presentan problemas para su manejo (INAFED, s.f.).

2.1.6. Estaciones meteorológicas seleccionadas

Tabla 5.

Estaciones Meteorológicas de estudio.

| Estación: | 21016 | 21005 |
|-----------------------|------------------------|--------------------------|
| Nombre: | Balcón diablo | Acatzingo de Hidalgo |
| Estado: | Puebla | Puebla |
| Municipio: | Tzicatlacoyan | Acatzingo |
| Latitud (°): | 18.8975 | 18.994 |
| Longitud (°): | -98.1322 | -97.806 |
| Altura (msnm): | 2,120 | 2,197 |
| Situación: | Operando | Operando |
| Datos desde: | 1 de diciembre de 1943 | 1 de agosto de 1947 |
| Hasta: | 12 de agosto de 2019 | 30 de septiembre de 2018 |

Fuente: CONAGUA, s.f.

Las estaciones meteorológicas seleccionadas fueron las siguientes:

Para el municipio de Tzicatlacoyan la estación correspondiente se llama “balcón diablo” y para Acatzingo corresponde la estación “Acatzingo de Hidalgo”, en la tabla 5 se muestra información de cada estación.

2.2. Aplicación del software Rclimdex

ClimDex es un software gratuito basado en Microsoft Excel que permite un uso fácil para el cálculo de Índices extremos climáticos que permiten monitorear y poder detectar el cambio climático. Byron Gleason fue quien desarrolló el programa y ha sido usado en talleres CCI (Comisión de Climatología)/CLIVAR (Variabilidad y Previsibilidad del Clima) sobre índices climáticos desde el año 2001. ClimDex usa R como plataforma, un software robusto para gráficos y análisis estadísticos. RClmDex (1.0) brinda una interfaz amigable para el cálculo de los 27 índices de extremos climáticos básicos (Ver tabla 6) recomendados por el Equipo de Expertos de CCL/CLIVAR para Climate Change Detection Monitoring and Índices (ETCCDMI) (Zhang, Yang y Santos, 2004).

Para usar el software se prepara una base de datos (Ver Anexo 3). Rclimdex incluye un procedimiento simple de control de calidad de datos como prerrequisito para el cálculo de los índices, donde

1. Reemplaza datos faltantes (codificados como -99.9) en un formato que reconoce R (NA, no disponible), y
2. Reemplaza los valores no razonables por NA, como son valores que incluyen cantidades de precipitación diaria menores a cero y temperaturas máximas diarias menores que la temperatura mínima diaria (Zhang, Yang y Santos, 2004).

Los resultados se visualizan en gráficas con formato.jpg

Los índices que se seleccionaron son los siguientes:

- FD0 Días de heladas
- SU25 Días de verano
- R10 Número de días con precipitación intensa
- CDD Días secos consecutivos
- CWD Días húmedos consecutivos
- PRCPTOT Precipitación total anual en los días húmedos

La preparación de datos y el uso de este software se muestran en el anexo 3.

Tabla 6.

Índices climáticos básicos de ETCCDMI

| Índices climáticos básicos de ETCCDMI | | |
|---------------------------------------|---|--------|
| ID | Nombre del indicador | Unidad |
| FD0 | Días de heladas | Días |
| SU25 | Días de verano | Días |
| ID0 | Días de hielo | Días |
| TR20 | Noches tropicales | Días |
| GSL | Duración de la estación de cultivo | Días |
| TXx | Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria | °C |
| TNx | Valor mensual máximo de temperatura mínima diaria | °C |
| TXn | Valor mensual mínimo de temperatura máxima diaria | °C |
| TNn | Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria | °C |
| TN10p | Noches frías | Días |
| TX10p | Días fríos | Días |
| TN90p | Noches calientes | Días |
| TX90p | Días calientes | Días |
| WSDI | Indicador de la duración de periodos calientes | Días |
| CSDI | Indicador de la duración de periodos fríos | Días |
| DTR | Rango diurno de temperatura | °C |
| RX1day | Cantidad Máxima de precipitación en un día | Mm |
| Rx5day | Cantidad máxima de precipitación en 5 días | Mm |
| SDII | Índice simple de intensidad diaria | Mm/día |
| R10 | Número de días con precipitación intensa | Días |
| R20 | Número de días con precipitación muy intensa | Días |
| Rnn | Número de días sobre nn mm | Días |
| CDD | Días secos consecutivos | Días |
| CWD | Días húmedos consecutivos | Días |
| R95p | Días muy húmedos | Mm |
| R99p | Días extremadamente secos | mm |
| PRCPTOT | Precipitación total anual en los días húmedos | mm |

Fuente: Zhang, Yang y Santos, 2004

2.3. Selección de los productos agrícolas

Al realizar el análisis de la producción de los municipios seleccionados a través del SIACON-NG, se obtuvo información también de cuáles son los cultivos que más producen estos municipios. La información generada en este sistema indica los cultivos que se producen con riego temporal, durante el año agrícola y ciclos perennes. A continuación, los datos generados se copiaron a hojas de cálculo de Excel para proyectarlos a través de gráficas (Ver Anexo 4).

Las gráficas de a continuación muestran la suma total por cada cultivo producido desde 2003 al 2020.

La figura 4 proyecta que los tres cultivos que más produce Tzicatlacoyan son: el agave con un 81.20%, como segundo lugar está el maíz de grano con 16.17 % y en tercer lugar está el trigo de grano con 1.96 % de producción.

En la figura 5 se observa que los tres cultivos con mayor producción en Acatzingo son: Tuna con un 84.74%, los nopalitos con un 9.01% y el maíz grano con un 5.1% del total de producción del municipio.

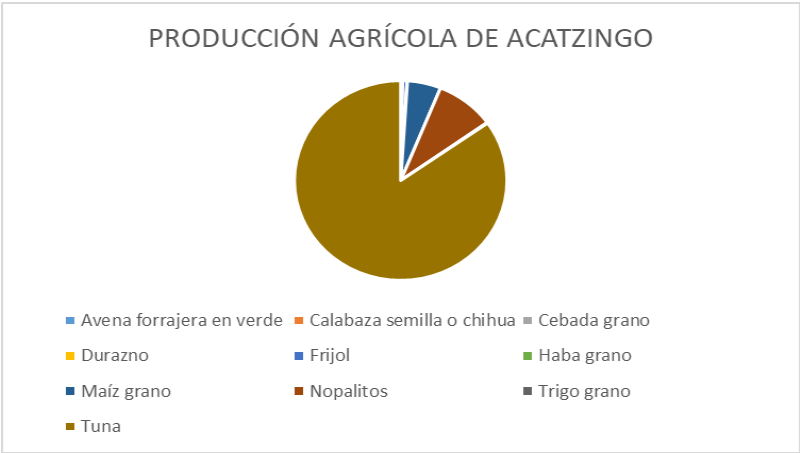


Figura 4. Cultivos producidos en Tzicatlacoyan

Fuente: SIACÓN-NG, s.f.

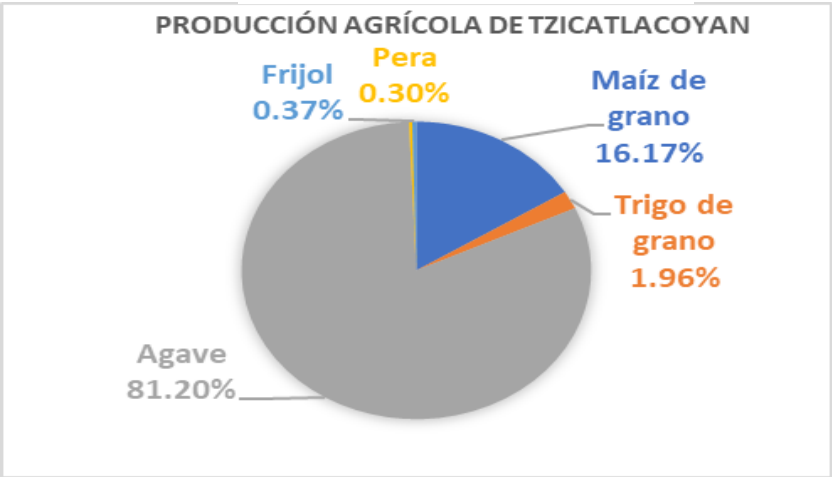


Figura 5. Cultivos producidos en Acatzingo

Fuente: SIACÓN-NG, s.f.

2.3.1. Fenología de los cultivos seleccionados

2.3.1.1. Nopal

De acuerdo a Ruiz (2012) las condiciones para la producción del cultivo del nopal son las siguientes:

El rango de temperatura óptimo para el cultivo del nopal es de 16-28 °C y llega a soportar un máximo de 35°C, fuera de este rango la brotación se ve afectada; también afectan al cultivo las bajas temperaturas, toleran un margen de 10-0 °C.

En cuanto a la precipitación, se adapta a un promedio anual de 150-800 mm. Un factor importante que afecta al nopal es la humedad relativa, si esta aumenta causa condiciones desfavorables para el desarrollo y fructificación del nopal y es más propensa a enfermedades y plagas, mientras que si la humedad relativa es muy baja también afecta desfavorablemente al deshidratar los tejidos del nopal.

El factor responsable directo en la emisión de nopalitos es la temperatura, hay una mayor producción con el aumento de temperatura y una disminución cuando la temperatura disminuye.

El nopal verdura se cultiva a 800-1800 msnm, sin embargo, puede cultivarse y prosperar fuera de este rango.

Se desarrollan en suelos volcánicos y prosperan bien en suelos calcáreos de textura franca, necesitan un pH de 6.5 – 8.5.

Se recomienda que la plantación sea en agosto, aunque es riesgoso por incidencias de heladas tempranas. No es recomendable plantar en época de lluvias porque aumenta la temperatura y humedad del suelo favoreciendo el desarrollo de bacterias y hongos. En zonas centro y norte del país se recomienda realizar la plantación en marzo-abril después de la última helada.

2.3.1.2. Nopal verdura (nopalitos)

En cuanto a su cosecha, la mayor producción se obtiene en el periodo de lluvias mayo a septiembre, en esta época hay una mayor temperatura y humedad, aunque en este periodo su precio es más bajo. La cosecha se realiza cuando los brotes llegan a un peso de 100-120 gramos aproximadamente o que midan de 10-15 cm de largo, es importante mencionar que estas características para su cosecha varían dependiendo del consumidor y del mercado. La producción del nopal verdura puede tenerse en casi todo el año viéndose limitada en invierno (Ruiz, 2012).

2.3.1.3. Nopal fruta (Tuna)

La tuna es el fruto que se obtiene del nopal tunera y gracias a la riqueza genética del nopal se tiene una diversidad de variedades como la alfajayucan, amarilla, blanca burrón, blanca cristalina, criolla, poco chulo, roja y xoconoxtle (SADER, 2021).

El ciclo de desarrollo de los frutos de tuna a partir del inicio de floración en la planta hasta la completa maduración del fruto y el punto máximo de desarrollo y la madurez fisiológica de los frutos se obtiene 80 días después de la antesis, ver figura 6. (Robles, 2009, p. 25).

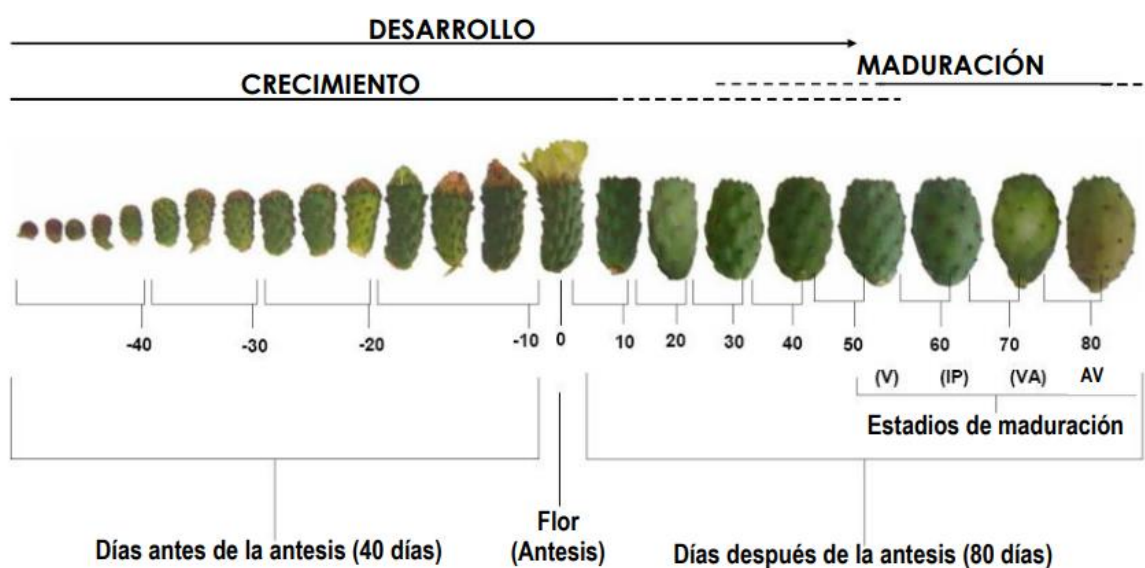


Figura 6. Desarrollo y crecimiento de los frutos de tuna

Fuente: Robles, 2009.

En la imagen se muestra el desarrollo y maduración de la tuna (Opuntia ficus-inca). (V) indica un fruto verde, (IP) es el inicio de la pigmentación, (VA) es el color verde amarillado y (AV) presenta un color amarillo verde.

De acuerdo a la SADER (2021), la temporada de cosecha de la tuna es de abril a noviembre teniendo una mayor producción en los meses julio-septiembre.

2.3.1.4. Frijol

Su nombre científico es Phaseolus vulgaris L. Es una planta herbácea y pertenece a la familia de las fabaceae, tiene tallos delgados y débiles, cuadrangulares, hojas trifoliada, laterales tubulosos, alcanza los 50-70 cm (SIAP, 2019).

El rango de temperatura óptimo para el cultivo del frijol oscila entre los 10-27 °C, es susceptible a condiciones extremas y se cultiva en suelos de textura ligera y con buen drenaje, el pH adecuado es de 6.5-7.5 aunque también tiene un buen desarrollo con un pH de 4.5-5.5. En la figura 7 se puede observar la agroclimatología del frijol (SIAP, 2019).

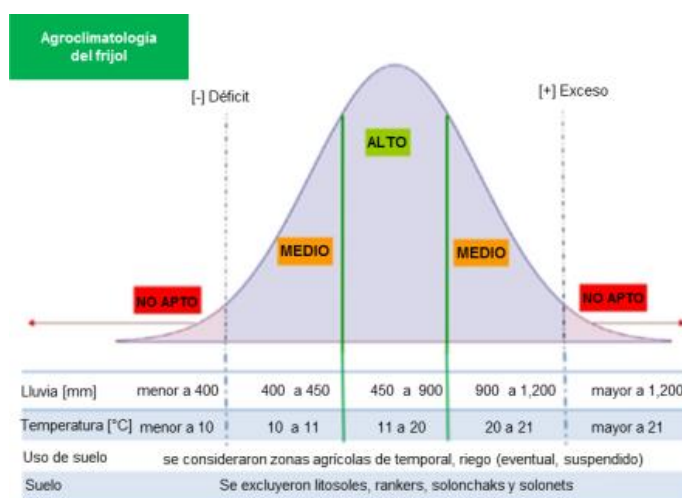


Figura 7. Agroclimatología del frijol

Fuente: SIAP, 2019.

Las etapas fenológicas del frijol son las siguientes (figura 8):

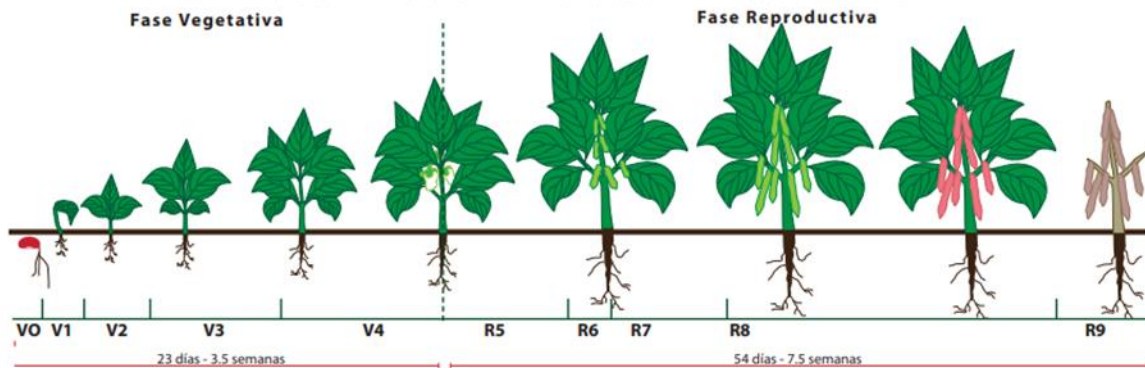


Figura 8. Etapas fenológicas del frijol

Fuente. IICA, p. 26, 2008.

VO GERMINACIÓN: Se toma como iniciación de esta etapa el día que la semilla tiene humedad suficiente para el comienzo de este proceso; es decir, el día del primer riego, o de la primera lluvia si se siembra en un suelo seco.

V1 EMERGENCIA: Se inicia cuando los cotiledones de la planta aparecen a nivel del suelo.

V2 HOJAS PRIMARIAS: Comienza cuando las hojas primarias (unifoliadas y compuestas) están desplegadas.

V3 PRIMERAS HOJAS TRIFOLIADAS: Se inicia cuando la planta presenta la primera hoja trifoliada completamente abierta y las láminas de los folíolos se ubican en un plano.

V4 TERCERA HOJA TRIFOLIADA: Cuando la tercera hoja trifoliada se encuentra desplegada.

R5 PREFLORACIÓN: Inicia cuando aparece el primer botón o racimo.

R6 FLORACIÓN: cuando la planta presenta la primera flor abierta.

R7 FORMACIÓN DE LAS VAINAS: Cuando la planta presenta la primera vaina con corola de la flor colgada o desprendida.

R8 LLENADO DE LA VAINA: Se inicia cuando la primera vaina empieza a llenar. Es el inicio del crecimiento activo de la semilla. Las vainas presentan abultados que corresponden a las semillas en crecimiento.

R9 MADURACIÓN: Se caracteriza por el inicio de coloración y secado en las primeras vainas, continúa el amarillamiento, la caída de hojas y todas las partes de la planta se secan; las vainas al secarse pierden su pigmentación. El contenido de agua en las semillas baja hasta alcanzar 15%, momento en el cual las semillas adquieren su color típico. Termina el ciclo biológico y el cultivo se encuentra listo para su cosecha. (SIAP, 2019, p.5)

2.3.1.5. Fenología del maíz

Para la producción del maíz los promedios de temperatura media son de (14 a 18 °C) con déficit y de (24 a 26 °C) con exceso para una aptitud agroclimática media y de (18 a 24 °C) para una aptitud agroclimática alta. En cuanto a la precipitación, para una producción de mediano rendimiento, los rangos de precipitación acumulada para una producción de mediano rendimiento son de 480 mm (lámina mínima acumulada para un cultivo con escasez de agua), de 1300 a 1500 mm (para una lámina de precipitación con exceso) y de 700 a 1300 mm para un rendimiento óptimo del cultivo (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias [INIFAP], 2012).

Los investigadores dividen las etapas de crecimiento en dos grandes categorías: vegetativa (V), reproductiva (R), además, las etapas de crecimiento se pueden agrupar en cuatro grandes períodos; los cuáles se describen a continuación:

1. Crecimiento de las plántulas (etapas VE y V1)

En VE el coleóptilo emerge de la superficie del suelo a los 5 días y en V1 es visible el cuello de la primera hoja a los 9 días después de la siembra.

2. Crecimiento vegetativo (etapas V2, V3... Vn)

V2 ocurre a los 12 días después de la siembra; en esta etapa es visible el cuello de la segunda hoja. En Vn es visible el cuello de la hoja número “n” (“n” es igual al número

definitivo de hojas que tiene la planta); esta etapa ocurre aproximadamente entre los 16 y 22 días después de la siembra.

3. Floración y la fecundación (etapas VT, R0, y R1)

En VT es completamente visible la última rama de la panícula, en R0 comienza la floración masculina; es decir, se comienza a arrojar el polen y en R1 son visibles los estigmas, las anteriores etapas ocurren a los 55, 57 y 59 días después de la siembra, respectivamente.

4. Llenado de grano y la madurez (etapas R2 a R6)

A los 71 días después de la siembra ocurre la etapa R2; dónde los granos se llenan con un líquido claro y se puede ver el embrión. En R3 (80 días después de la siembra), los granos se llenan con un líquido lechoso blanco, en R5 (102 días después de la siembra), la parte superior de los granos se llena con almidón sólido y cuando el genotipo es dentado, los granos adquieren la forma dentada. 112 días después de la siembra ocurre R6 donde aparece la madurez fisiológica (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [CONACYT], 2019).

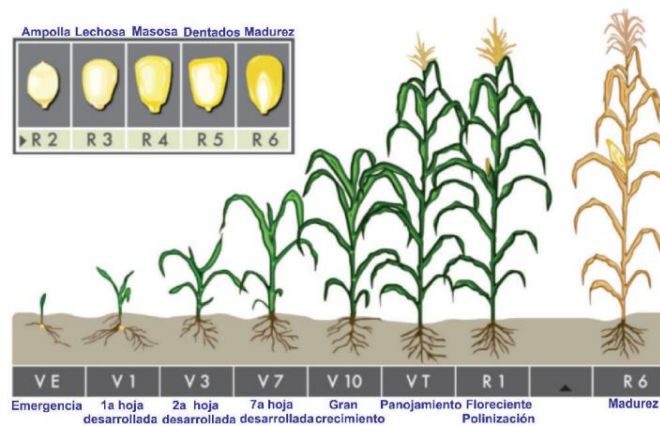


Figura 9. Fases vegetativas de la planta del maíz

Fuente: Asociación Andes, s.f., p.11.

2.3.1.6. Trigo de grano

El INIFAP, 2012, menciona que los requerimientos agroecológicos empleados para la delimitación del potencial cultivo de trigo en México, son: La altitud más apropiada para

producción del trigo es de 25 a 2800 metros, el rango de lluvia óptimo para el trigo es de 700 a 1000 mm, un rango de precipitación para un rendimiento medio se da de 500 a 700 mm y de 2800 a 3500 mm. El rango óptimo de crecimiento se da a una temperatura de entre 15 a 23 °C, un rango para un rendimiento medio ocurre de 5 a 15 °C y de 23 a 27 °C.

Durante el ciclo del cultivo ocurren dos procesos simultáneos: crecimiento y desarrollo. El crecimiento involucra aumento de la biomasa, mientras que el desarrollo hace referencia a la sucesión de estados morfológicos o fisiológicos que se presentan durante el ciclo de vida del cultivo. Ambos procesos están regulados genéticamente e influenciados por el ambiente. Por ello, el patrón de crecimiento y la sucesión de los estados de desarrollo (fenología) puede diferir entre variedades y, dentro de ellas, según las condiciones ambientales. (Abbate y Divito, 2017, p.22).

La escala más conocida para describir las etapas de crecimiento del trigo es la escala Zadoks, escala que divide el ciclo del cultivo en 10 estados principales:

1. Zadoks 0: Es la etapa de germinación, esta inicia cuando la semilla absorbe agua (imbibición) y finaliza cuando emerge la radícula. La etapa comprende 3 fases principales: absorción de agua, activación y germinación visible.
2. Zadoks 1: Es en dónde ocurre la aparición de la primera hoja por arriba de la superficie del suelo (emergencia), después de la primera hoja, las restantes van apareciendo de manera regular, cada hoja se desarrolla completamente a intervalos de 8-10 días, acortándose la duración en la medida que la temperatura ambiental aumenta.
3. Zadoks 2: Esta etapa se caracteriza por la producción de macollos. El primer macollo se manifiesta en la axila de la primera hoja y coincide, aproximadamente, con la aparición de la tercera o cuarta hoja de la planta. Una vez que aparecen los macollos primarios, estos pueden producir, luego de la expansión de su tercera o cuarta hoja, macollos secundarios, éstos terciarios y así sucesivamente.
4. Zadoks 3: Aparece el “tallo verdadero” debido a la elongación de los primeros cinco o seis entrenudos, lo que es característico en esta etapa. Cada tallo tiene en su base un nudo por cada hoja diferenciada separado por entrenudos de menos de 1 mm. La etapa generalmente finaliza antes de la floración, bajo algunas excepciones.
5. Zadoks 4: Aparece el estado de vaina engrosada, esta fase empieza cuando la espiga asciende y termina cuando las primeras aristas comienzan a emerger por arriba de

la lígula de la hoja bandera, de esta manera la espiga alcanza su mayor longitud. En esta etapa se produce también la formación de gametos masculinos y femeninos.

6. Zadoks 5: En esta etapa la espiga emerge totalmente, las anteras permanecen aún en el interior de los antecios, ocurre la dehiscencia de estas, la liberación del polen y la fecundación de los estigmas, de tal manera que en esta etapa se lleva a cabo la autopolinización en 95-99% en las flores del trigo.

7. Zadoks 6: Consiste en la aparición de las anteras por fuera del antecio, esta etapa es también conocida como “antesis o floración”, es decir es la etapa donde se libera el polen. La floración comienza en la parte central de la espiga y se extiende hacia arriba y abajo. Cabe destacar que no se producirán flores fértiles si el crecimiento del cultivo está restringido por algún factor.

8. Zadoks 7: Esta etapa se identifica por el estado lechoso del grano, después de los primeros 2-4 días de la floración, los granos comienzan a crecer aumentando marcadamente su tamaño, aunque debido a la acumulación de agua hay poco incremento en el peso seco de los mismos. Entre los días 25 a 35 luego de floración se produce el llenado efectivo del grano y el tamaño potencial del mismo queda definido en esta etapa. La temperatura y otras condiciones ambientales afectan la duración del período de llenado de granos.

9. Zadoks 8: Es donde el interior del grano se “vuelve pastoso”, su color cambia progresivamente de verde a amarillo y es en esta etapa donde adquiere su color definitivo. Durante el estado de grano pastoso, el grano alcanza su peso seco máximo y la madurez fisiológica.

10. Zadoks 9: El grano deja de crecer, pierde humedad y se torna de un color marrón-morado. Es aquí donde finalmente el grano alcanza su madurez comercial, una vez que alcanza el porcentaje de humedad óptima (14% en base húmeda o 16% en base seca) para la cosecha, acondicionamiento y almacenaje (Abbate y Divito, 2017).

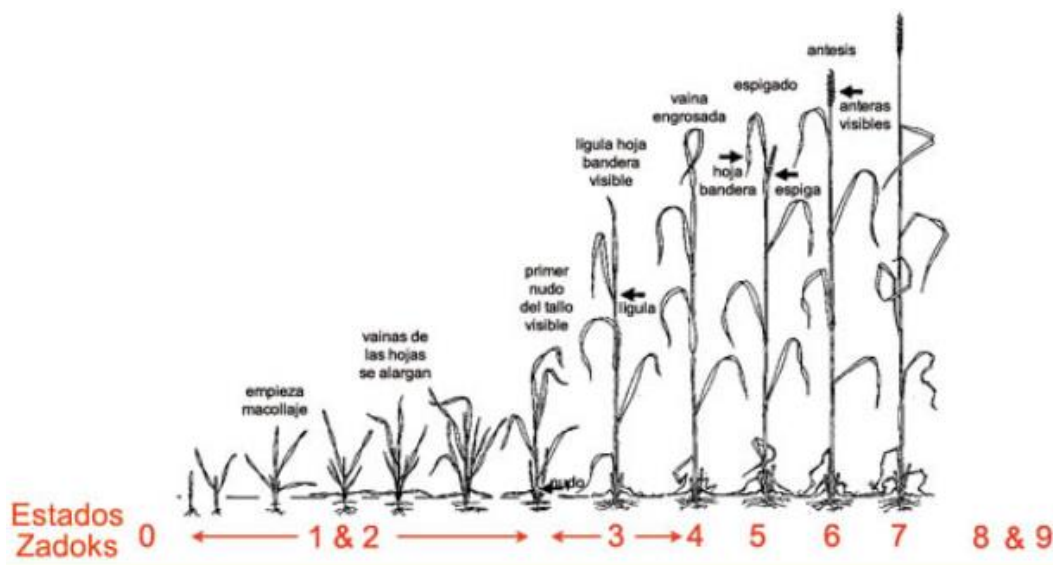


Figura 10. Fases de desarrollo del trigo, escala Zdoks.

Fuente: Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, (CIMMYT), s.f.

2.3.1.7. *Agave mezcadero*

Mula (s.f.) explica que el agave está adaptado a entornos hostiles y difíciles, sin embargo, su mayor expresión de crecimiento lo hace cuando las temperaturas no descienden de los 20°C y con una adecuada altitud a partir de los 1200 metros.

León y Torres-García (2013), adaptaron para *A. inaequidens*, las siguientes 11 etapas florales:

Etapa 1: El botón floral se encuentra totalmente desarrollado.

Etapa 2.1: Se rompen las suturas del botón floral revelando los tépalos e inicia la elongación de los estambres.

Etapa 2.2: Las anteras ya se encuentran por encima de los tépalos.

Etapa 2.3: Los estambres se encuentran a la mitad de su desarrollo y se notan flácidos.

Etapa 2.4: Los estambres se encuentran totalmente desarrollados y turgentes.

Etapa 2.5: Las anteras comienzan la liberación del polen.

Etapa 2.6: Las anteras han liberado el polen y los estambres empiezan a perder turgencia y comienza la elongación del estigma.

Etapa 3.1: El estigma se encuentra totalmente elongado y a punto de abrir las suturas.

Etapa 3.2: El estigma está totalmente desarrollado y en la superficie de las suturas es evidente un exudado viscoso.

Etapa 3.3: El estigma comienza a perder turgencia y a marchitarse.

Etapa 4: Comienza la formación del fruto. (p.35)

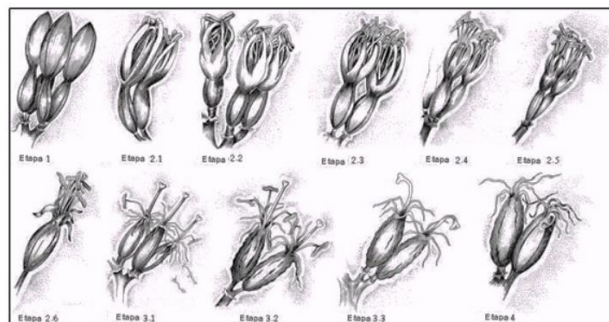


Figura 11. Etapas florales de agave inaequidens

Fuente: León y Torres-García, 2013, p.35.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Índices climáticos del municipio Acatzingo

3.1.1. Días secos consecutivos

En la figura 12 se muestra los años con número de días secos consecutivos en el municipio de Acatzingo en el periodo de 1946 a 2017. La tendencia lineal indica que hay una disminución no tan pronunciada en el número de días secos consecutivos, la tendencia no lineal (línea punteada) muestra una disminución de CDD en el periodo de 1946 a 1987 mientras que para años posteriores hay un ligero aumento. Esta serie de tiempo no es estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) ya que $p=0.162$.

Se pueden diferenciar tres periodos, el primero va de 1946 a 1962 y los días secos consecutivos varían de 48 a 140. El periodo de 1964 a 1985 tiene un amplio rango y varía de los 25 a 142 CDD, siendo 1971 el año con más CDD y corresponde a un año de LA NIÑA lo que explicaría más días secos y seguramente sequias, los días secos consecutivos disminuyen y en 1978 tiene alrededor de 25 CDD y por tanto los menores registrados, posteriormente estos aumentan, pero aún están por debajo de los 80 CDD hasta que en 1985 se tiene otro punto alto, alcanzando los 140 DCC. En los años mencionados son 1951, 1960, 1971 y 1985 los años con más CDD estando alrededor de 140 donde: 1951 es un año con el fenómeno de EL NIÑO, 1960 es un año neutro, 1971 y 1985 son años con el fenómeno de LA NIÑA. No se tiene datos de 1986 a 1989. El periodo de 1990 a 2017 muestra que los CDD varían en un rango de 30 a 115, el punto máximo es en 1998 con 115 CDD Y el menor en 1990.

3.1.2. Precipitación

En la figura 13 se muestra los años con número de días con precipitación intensa en el municipio de Acatzingo en el periodo de 1946 a 2017. La tendencia lineal indica que hay una disminución no tan pronunciada en el número de días con precipitación intensa, la tendencia no lineal (línea punteada) no muestra cambios muy notorios, se podría decir que presenta regularidad. Esta serie de tiempo no es estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) ya que $p=0.129$.

A lo largo de la serie de tiempo se puede observar que R10mm en su mayoría va de los 16 a 32. El mayor número de días con precipitación intensa es en 1952 donde se tiene 63 R10mm, en este año tiene el fenómeno LA NIÑA en el mes de enero y el resto del año es neutro. El menor número de días con precipitación intensa es en 1990 y 2015 con 12 R10mm, el año 1990 es un año neutro, mientras que 2015 es un año considerado como EL NIÑO lo cual explica la poca precipitación.

3.1.3. Días de verano

En la figura 14 se muestra los años con días de verano en el municipio de Acatzingo en el periodo de 1946 a 2017. La tendencia lineal indica que hay una disminución de días de verano, la tendencia no lineal (línea punteada) también muestra una disminución de este índice en especial en el periodo de 1946 a 1994. Esta serie de tiempo $p=0$.

Se observa que en el periodo de 1946 a 1968 varían los días de verano en un rango que va de 260 a 350, en 1953 de tienen un mayor número de días de verano y es que este año corresponde al fenómeno de EL NIÑO así que es un periodo cálido. Considerando otro periodo de 1969 a 1990 se tiene un rango que va de los 160 a 260 días de verano. De 1991 a 2011 no se tienen datos completos, pero si se observa que en este periodo los días de verano disminuyen aún más pues su rango va de los 100 a 220, donde 1991 es el punto mínimo en esta serie de tiempo con 100 días de verano a pesar de que corresponde a un periodo cálido con el fenómeno de EL NIÑO, 2010 también es un año con menor días de verano debido a que se presentó el fenómeno de LA NIÑA, es decir fue un periodo frío.

En estos tres periodos mencionados se evidencia la disminución de este índice, sin embargo, de 2014 a 2017 incrementan los días de verano variando en un rango de 225 a 275.

3.1.4. Días húmedos consecutivos

En la figura 15 se muestra los años con días húmedos consecutivos en el municipio de Acatzingo en el periodo de 1946 a 2017. Se observa que hay una tendencia lineal que indica una disminución de CWD, para la tendencia no lineal (línea punteada) se observa una ligera disminución, sin embargo, no muestra grandes cambios a lo largo de la serie de tiempo. Esta serie de tiempo no es estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) ya que $p=0.154$.

En la gráfica se puede observar que los días húmedos consecutivos varían en un rango que va de los 2 a 13 a excepción de 1952, en este año se tienen 33 CWD y es un año neutro. Antes de 1990 el punto más alto se da en 1973 con 13 CWD y el menor en 1983 con 3 CWD. Después de 1990 el punto más alto se da en 1993, este es un año neutro, seguido de 2017 (CWD=11) en el que tiene un periodo neutro de enero a septiembre y un periodo frío de octubre a diciembre, el punto más bajo se da en 1990 con 4 CWD.

3.1.5 Precipitación total anual en los días húmedos

En la figura 16 se observa la precipitación total anual en los días húmedos. Se observa una tendencia lineal que indica una disminución en la PRCPTOT, la tendencia no lineal (línea punteada) no muestra grandes cambios a lo largo de la serie de tiempo. Esta serie de tiempo no es estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) ya que $p = 0.249$.

En la gráfica se muestra que PRCPTOT varía en un rango de 400 a 900 mm a excepción de 1952 en el que la precipitación fue demasiado alta, alcanzando los 1790 mm. Después de 1990 el punto más alto es en 1992 con 900 mm seguido de 2017 con 890 mm, mientras que el año con menor PRCPTOT fue 1993 con 400 mm, este año es neutro.

3.1.6. Días con heladas meteorológicas

En la figura 17 se muestra los años con días de heladas en municipio de Acatzingo en el periodo de 1946 a 2017. Se observa una tendencia lineal que indica un aumento en cuanto a los días con heladas, mientras que, la tendencia no lineal (línea punteada) muestra que de 1946 a 1975 los días con heladas incrementan, pero en los años posteriores se tiene una ligera disminución. Esta serie de tiempo no es estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$) ya que $p = 0.185$

En el periodo de 1946 a 1959 no se presentan heladas, sin embargo, en el año 1960 si se presentan 5 días de heladas y en 1961 3 días de heladas, los siguientes dos años, 1962 y 1963 no tienen heladas.

El periodo de 1968 a 1984 tiene un rango de 1 a 13 días de heladas siendo 1976 el máximo de días con heladas, este año presentó el fenómeno de LA NIÑA de enero- abril así que fue un periodo frío. El año 1984 también tiene mayores días de heladas, 7 días de heladas, se presentó el fenómeno de LA NIÑA en enero y de octubre a diciembre, estos periodos

fríos llegaron a $-1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el mes de diciembre. En cambio, en 1983 no se presentan días con heladas de hecho este es un año NIÑO así que fue un periodo cálido.

No se tienen datos de 1984 a 1989. El año 1990 fue un año neutro, sin embargo, se presentaron 8 días de heladas.

En 1992, 1994, 1998, así como 2010 a 2014 no se presentan días de heladas

De 2007 a 2009 tiene un rango de 4 a 8 días de heladas, presentándose en 2007, 2008 y el primer trimestre de 2009 el fenómeno de LA NIÑA, así que esto explica los periodos fríos.

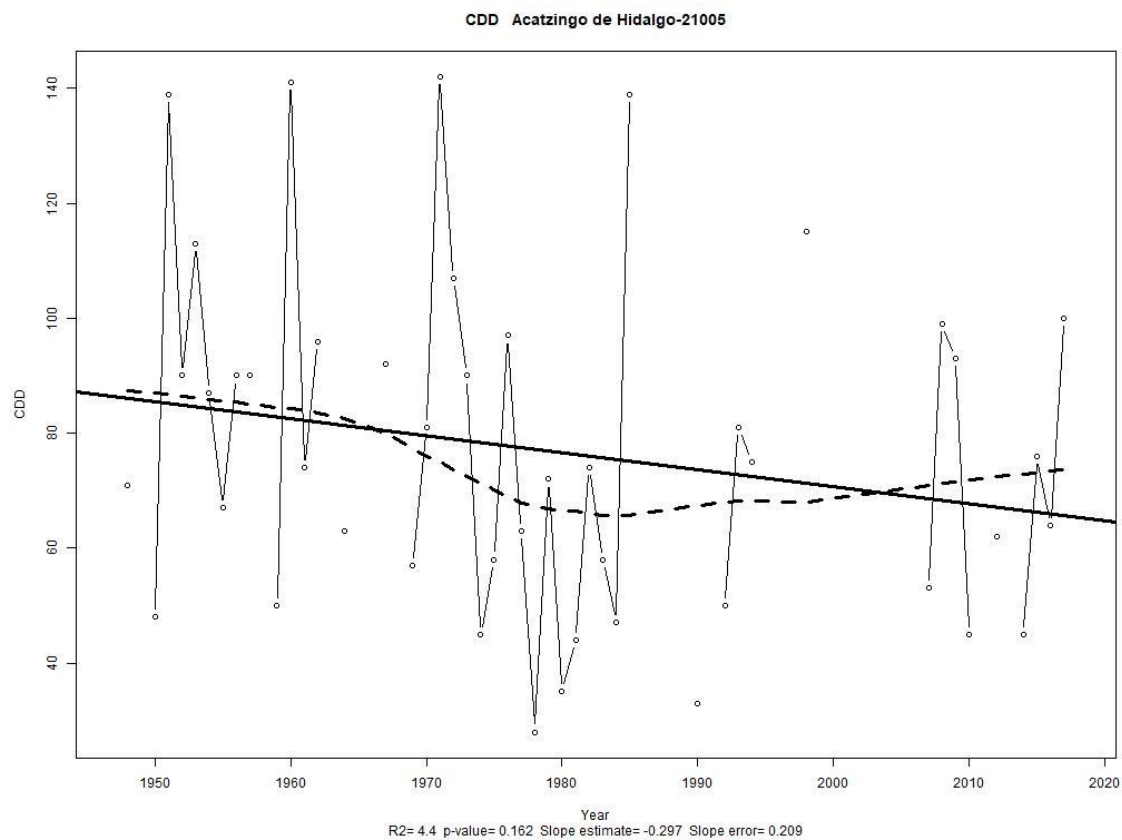


Figura 12. Días secos consecutivos para el municipio de Acatzingo

Figura generada en RClindex con datos de la estación 21005

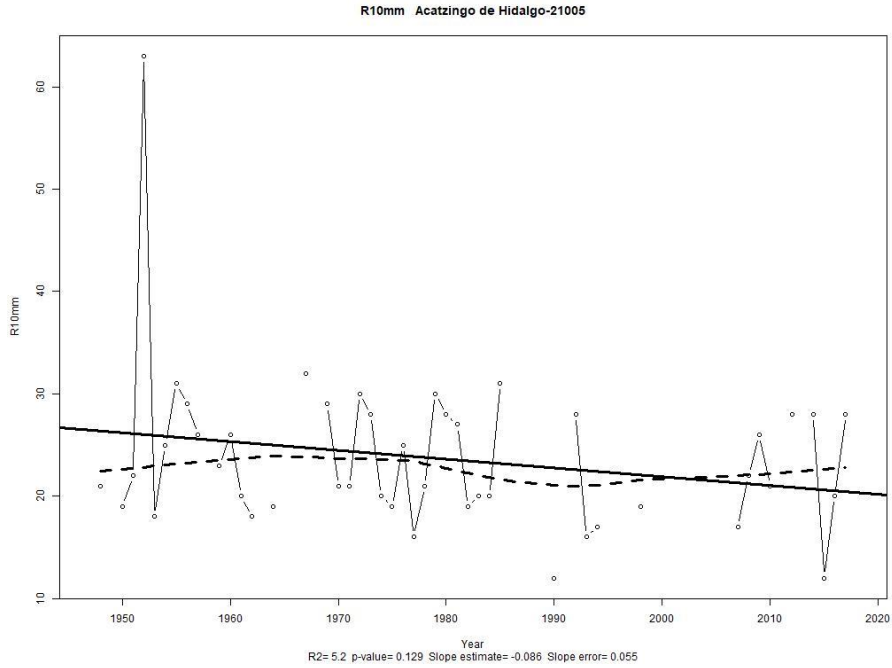


Figura 13. Precipitación en el municipio de Acatzingo

Figura generada en RClimdex con datos de la estación 21005

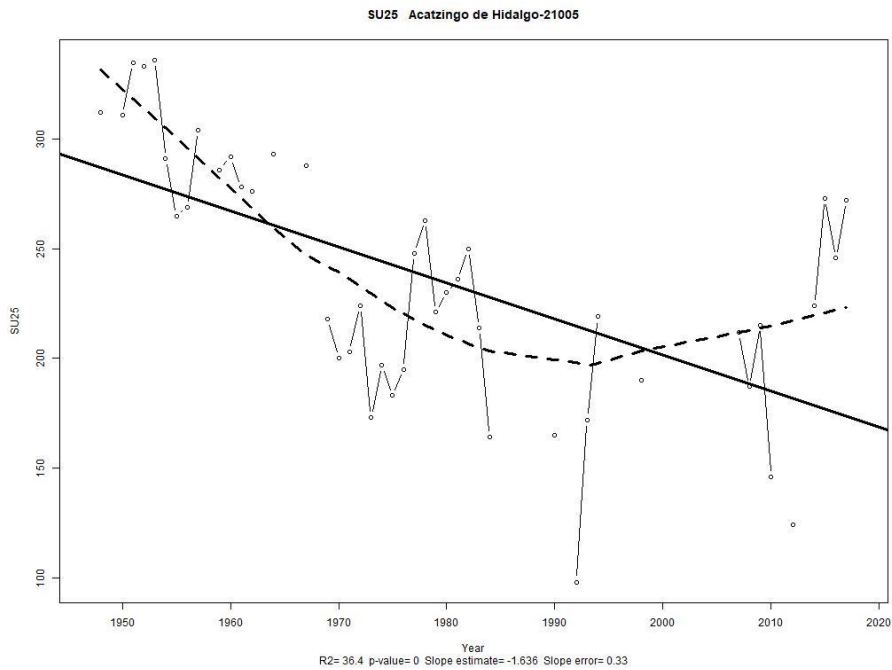


Figura 14. Días de verano en el municipio de Acatzingo

Figura generada en RClimdex con datos de la estación 21005

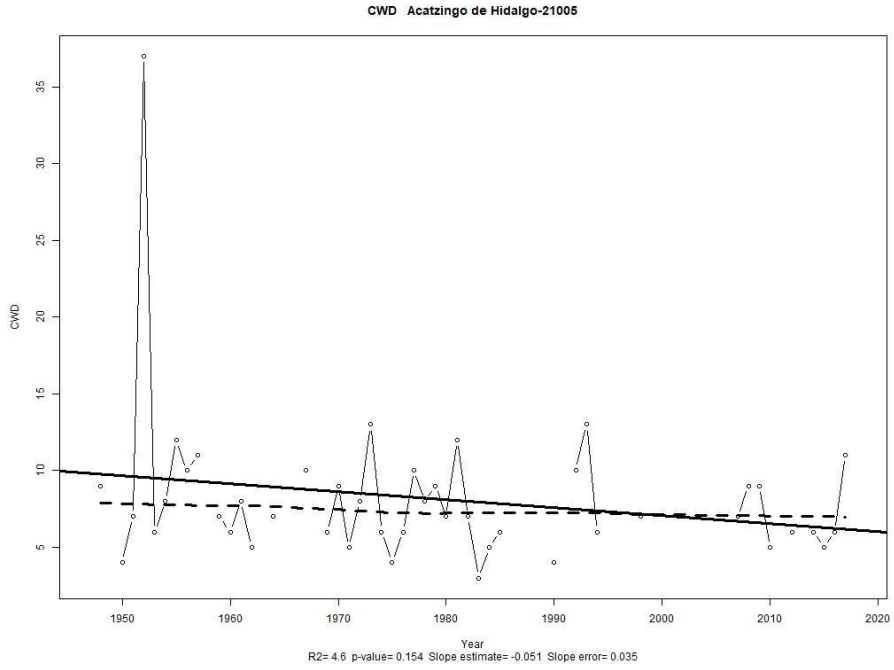


Figura 15. Días húmedos consecutivos en el municipio de Acatzingo

Figura generada en RClindex con datos de la estación 21005

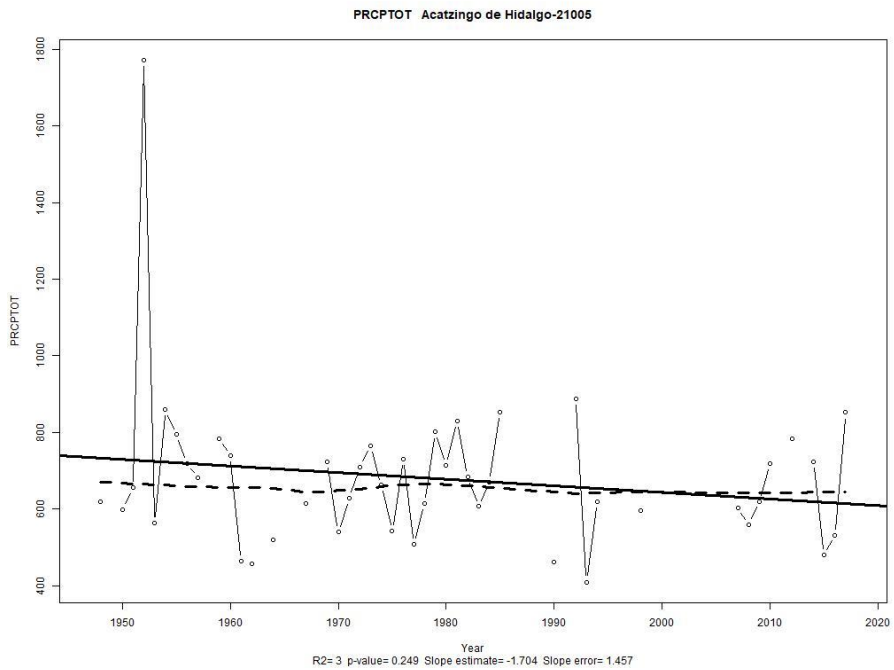


Figura 16. Precipitación total anual en el municipio de Acatzingo

Figura generada en RClindex con datos de la estación 21005

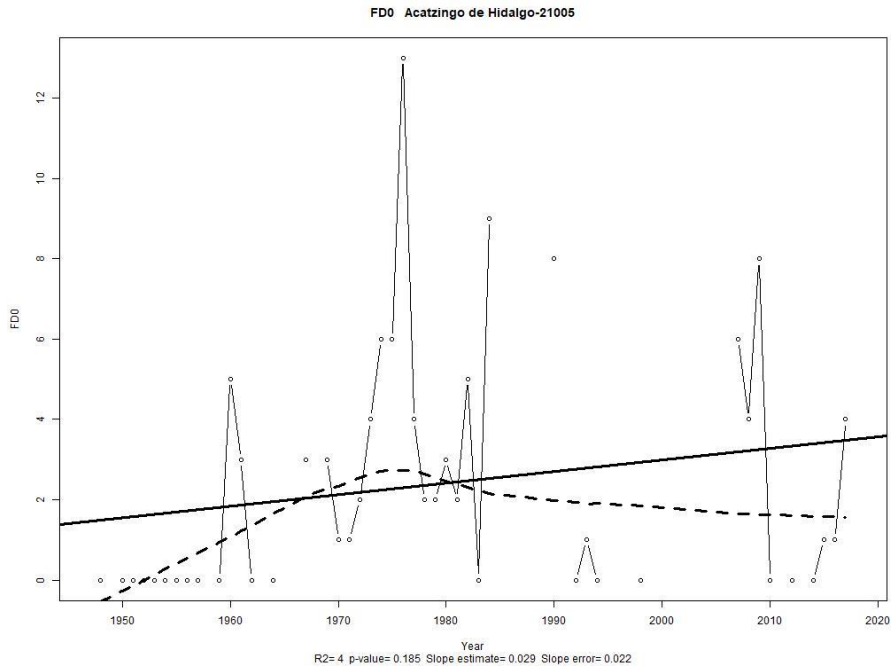


Figura 17. Días con heladas meteorológicas en el municipio de Acatzingo

Figura generada en RCLimindex con datos de la estación 21005

3.2. Índices climáticos del municipio Tzicatlacoyan

3.2.1. Días secos consecutivos

En la figura 18 se muestra el comportamiento de los días secos consecutivos (CDD) en el municipio de Tzicatlacoyan para el periodo de 1944 a 2018. La gráfica muestra dispersión en los datos, por lo que se obtuvo un p valor que no es significativo ($p=0.493$) sin embargo, las líneas de tendencia aparentemente indican un comportamiento ascendente de esta variable (CDD) para el periodo de tiempo de estudio.

La tendencia lineal indica que CDD ha ido aumentando respecto al tiempo, mientras la línea de tendencia no lineal muestra un decremento de 1943 a 1973 aproximadamente y a partir de 1974 empieza a incrementar también. Los rangos de los días secos consecutivos van desde aproximadamente 30 hasta 170.

Para el periodo de tiempo de estudio se observa en la gráfica años que muestran valores más altos o más bajos que el resto de los puntos. Los puntos más altos se presentaron después de 1990 en 2006 y 2008, siendo este último año en el que se presentó el valor más alto que todos los años. En dichos años se presentó el fenómeno meteorológico “LA NIÑA” en meses de invierno propiciando así mayores sequías. De igual forma después de 1990 se presentó el valor más bajo para CDD, esto fue en 2010 dicho valor pudo ser resultado de la presencia del “EL NIÑO” en meses de invierno debido a las precipitaciones que conlleva en esos meses.

3.2.2. Precipitación

En la figura 19 se muestran los años con número de días de precipitación intensa en el municipio de Tzicatlacoyan en el periodo de 1943 a 2018. Esta gráfica no muestra valores tan dispersos como gráficas anteriores, sin embargo, el valor $p=0.174$ no muestra grado de significancia entre las variables.

La tendencia lineal se proyecta de manera ascendente, al igual que la línea de tendencia punteada, sin embargo, esta última refleja un periodo de descenso en los años de 1943 a 1990 y posteriormente comienza un ascenso después de 1990. El rango de precipitación para este periodo de tiempo fue de entre 10 y 50 mm.

La mayoría de los datos de precipitación se mantienen de entre 15 a 35 mm, salvo algunos años que se salen de este rango de precipitación. Uno de los puntos más altos de R10mm fue en 1955, que como anteriormente se mencionó fue un año donde el fenómeno meteorológico de “LA NIÑA” se manifestó pudiendo explicar los altos valores de precipitación, en 2009 se presenta el año con la menor precipitación desde 1943, año en el cual se presentó el fenómeno meteorológico “EL NIÑO” de tal manera que hubo muy poca precipitación. Otro de los puntos más altos ocurrió en el año 2014, año en el cual también se presentó el fenómeno meteorológico EL NIÑO en invierno.

3.2.3. Días de verano

En la figura 20 se muestra el número de días con temperatura superior a 25°C (SU25) en el municipio de Tzicatlacoyan para el periodo de 1943 a 2018. El p valor para esta gráfica ($p=0$) indica que existe una buena relación entre las variables SU25 vs tiempo.

Se puede observar que ambas líneas de tendencia se muestran de manera descendiente y a diferencia de gráficas anteriores, la línea de tendencia punteada siempre marcó una trayectoria descendiente en todo este periodo de tiempo. El rango de días con SU25, se encuentra desde los 50 hasta casi los 300 días con temperatura superior a 25°C para este periodo de tiempo.

Es evidente que los días con temperatura superior a 25°C han ido disminuyendo desde 1946, en dicho año se presentó el valor más alto para SU25, después de este año esta variable fue disminuyendo, aunque en algunos años se distinguen puntos más altos “no tan acordes” al comportamiento descendiente de las líneas de tendencia, tal como en el año de 1977 dónde el valor para SU25 se encuentra más alto de lo usual debido a que en dicho año se presentó el fenómeno EL NIÑO en 6 meses del año, en 1992 se registró el año con el menor número de días de SU25 esto por la presencia de fenómeno meteorológico “EL NIÑO” que al presentarse pudo haber bajado la temperatura.

3.2.4. Días húmedos consecutivos

La figura 21 muestra el comportamiento de los días húmedos consecutivos (CWD) del municipio de Tzicatlacoyan para los años de 1944 a 2018. Se observa un p valor de 0.022 que se encuentra dentro del rango de significancia ($p \leq 0.05$). Este valor refleja un grado de relación existente entre el comportamiento de los días húmedos consecutivos respecto al tiempo, dicho comportamiento indica que CWD han ido aumentando a través del tiempo, según se observa en su tendencia lineal y no lineal.

Ambas tendencias de la gráfica (lineal y no lineal) muestran una tendencia ascendente, salvo que la tendencia no lineal muestra algunos decrementos principalmente en periodos de tiempo donde no hay datos de las variables. En este periodo de tiempo los valores de CWD han ido aumentando y bajando, sin embargo, predomina la tendencia hacia un aumento.

Antes de 1990, en 1960, 1962 y 1965 (EL NIÑO en verano) se presentaron los valores más bajos para CWD observado en todo este periodo de tiempo, *esto como resultado de que estos años fueron neutros* Después de 1990 se registró el valor más alto de días húmedos consecutivos en el año 2014, a consecuencia de la presencia del fenómeno meteorológico “EL NIÑO” que se presentó en octubre, noviembre y diciembre generando mayores precipitaciones en esa temporada.

3.2.5 Precipitación total anual en los días húmedos

En la figura 22 se muestran los años con número de días de precipitación total en el municipio de Tzicatlacoyan en el periodo de 1943 a 2018. El valor de $p=0.316$ indica que no existe significancia entre las variables, aunque la dispersión de datos no es muy pronunciada como en gráficas anteriores.

La línea de tendencia recta de la gráfica indica que la precipitación ha ido aumentando para el periodo de tiempo en estudio (1943 a 2018). Mientras la línea de tendencia punteada indica el crecimiento a partir de 1993 aproximadamente, ya que de 1943 a antes de 1993 esta línea se muestra de manera descendente.

Para este periodo de tiempo de estudio, el rango de precipitación total (PRCPTOT) para la mayoría de los años estuvo entre 500 y 1000 mm, con excepción de algunos años que sobresalen de este rango. Uno de los puntos más altos de PRCPTOT antes de 1990 fue en el año 1955 donde se manifestó el fenómeno meteorológico de “LA NIÑA”, en 2009 se presentó el año con menor PRCPTOT en todo este periodo de tiempo llegando a 340 mm de precipitación total. Posteriormente en 2014 se registra el punto más alto, alcanzando casi los 1300 mm de precipitación, esto como resultado de la presencia del fenómeno meteorológico del “EL NIÑO”.

3.2.6. Días con heladas meteorológicas

En la figura 23 se muestran los días con heladas (FD0) en el municipio de Tzicatlacoyan para el periodo de 1943 a 2018. El p valor para esta gráfica no es significativo ($p=0.222$), por esta razón los valores graficados se encuentran dispersos para este periodo de tiempo. Sin embargo, se observa la predominancia de una tendencia descendente.

La tendencia lineal se muestra a la baja, mientras que la tendencia no lineal muestra una tendencia a la baja a partir de 1955 hasta 1985, se mantiene y hasta 1997 se observa cierto crecimiento. A pesar de que algunos puntos se encuentran más altos que el del año anterior, estos se mantienen por debajo del punto máximo de 1955, hasta 2010.

Antes de 1990 el valor más alto para FD0 fue de 14 en 1955, dicho año fue un “año NIÑA” razón por la que fue un año de los más fríos. A lo largo del periodo de estudio se identifican años con puntos un poco más altos que la mayoría de los valores, años como: 1970 donde se presentó LA NIÑA en meses de verano, 1980 con presencia de EL NIÑO en el primer

bimestre del año y en el año 2010 se alcanza otra vez el valor más alto de FD0 después de 55 años, en dicho año también hubo presencia de LA NIÑA en el verano.

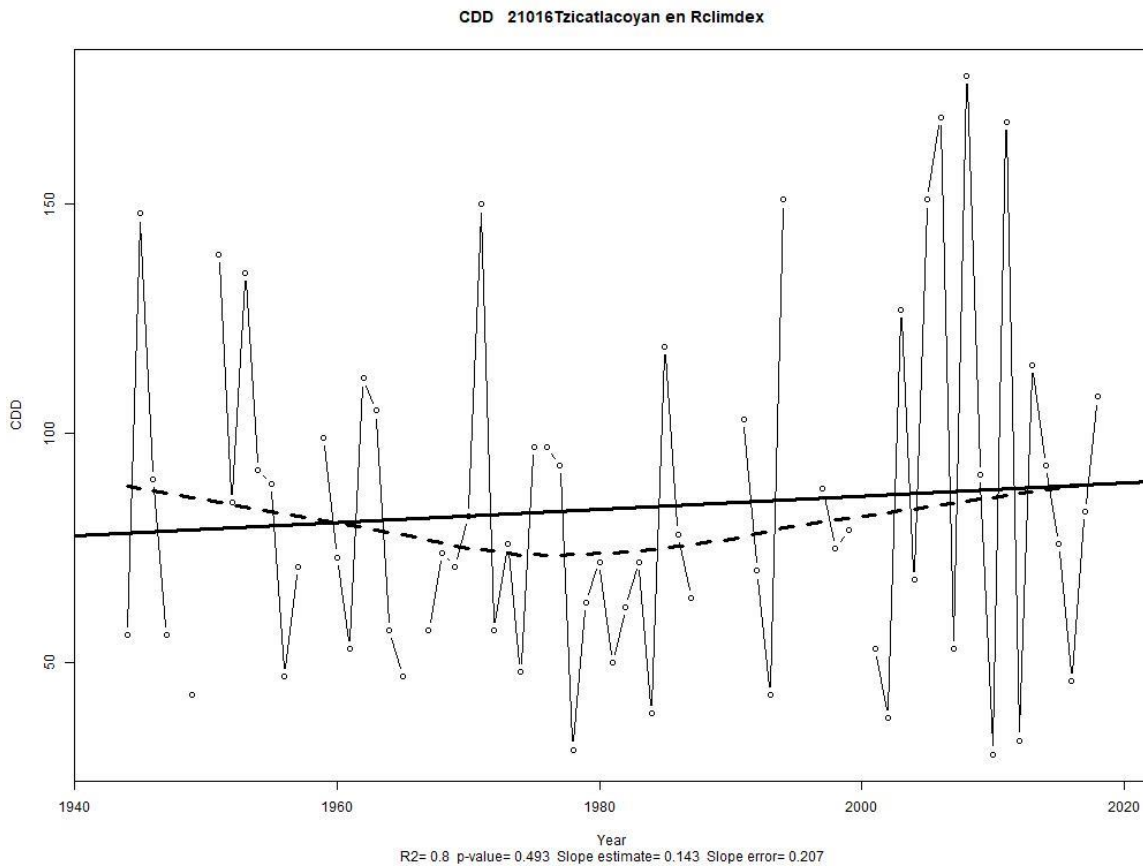


Figura 18. Días secos consecutivos en el municipio de Tzicatlacoyan

Figura generada en RClindex con datos de la estación 21016

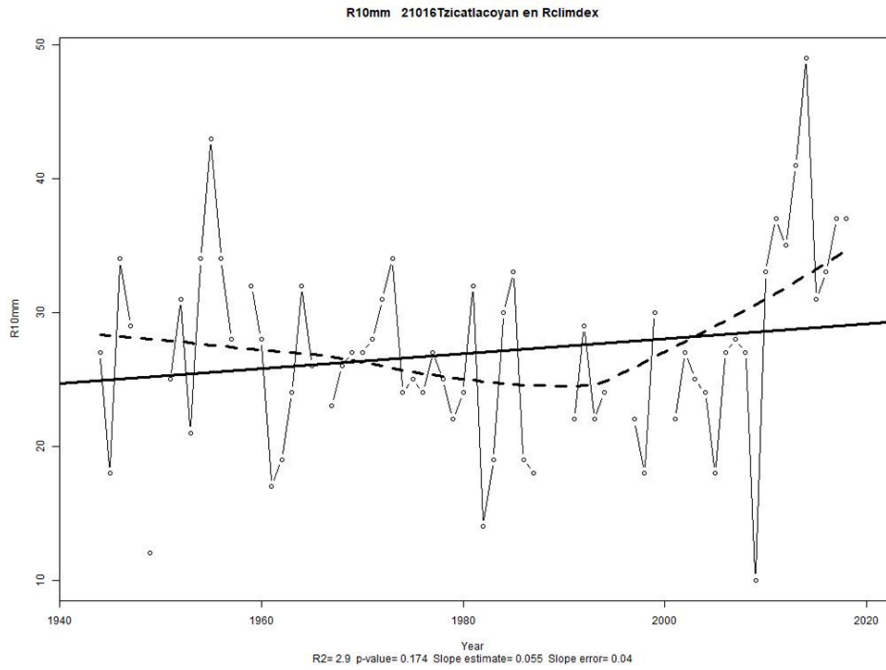


Figura 19. Precipitación en el municipio de Tzicatlacoyan

Figura generada en Rclimdex con datos de la estación 21016

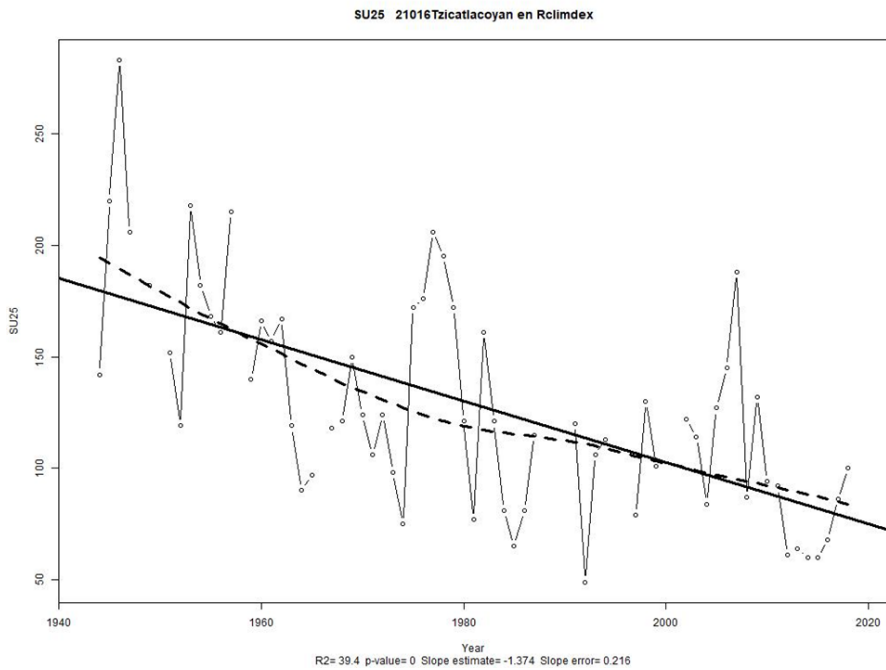


Figura 20. Días de verano en el municipio de Tzicatlacoyan

Figura generada en Rclimdex con datos de la estación 21016

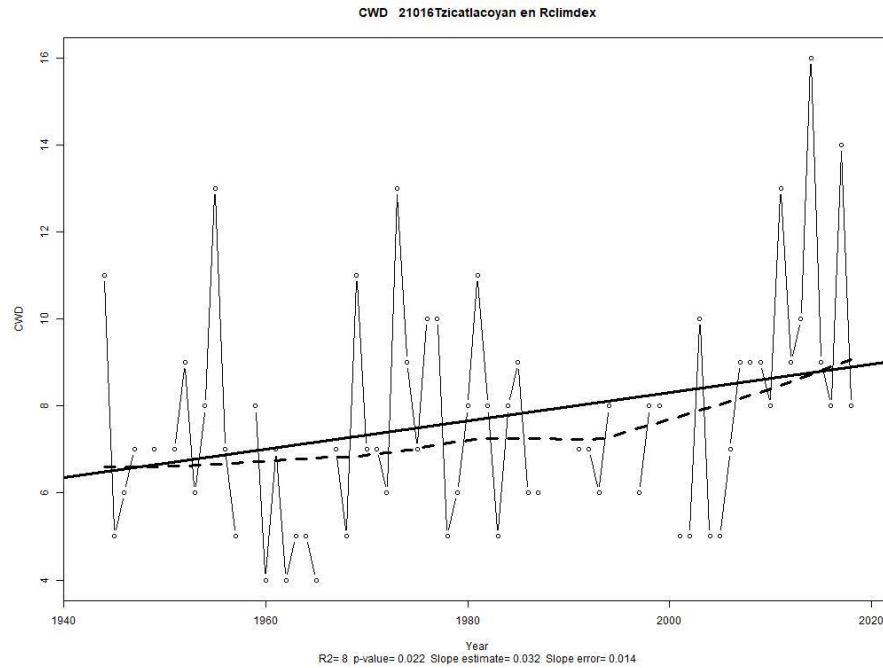


Figura 21. Días húmedos consecutivos en el municipio de Tzicatlacoyan

Figura generada en Rclimdex con datos de la estación 21016

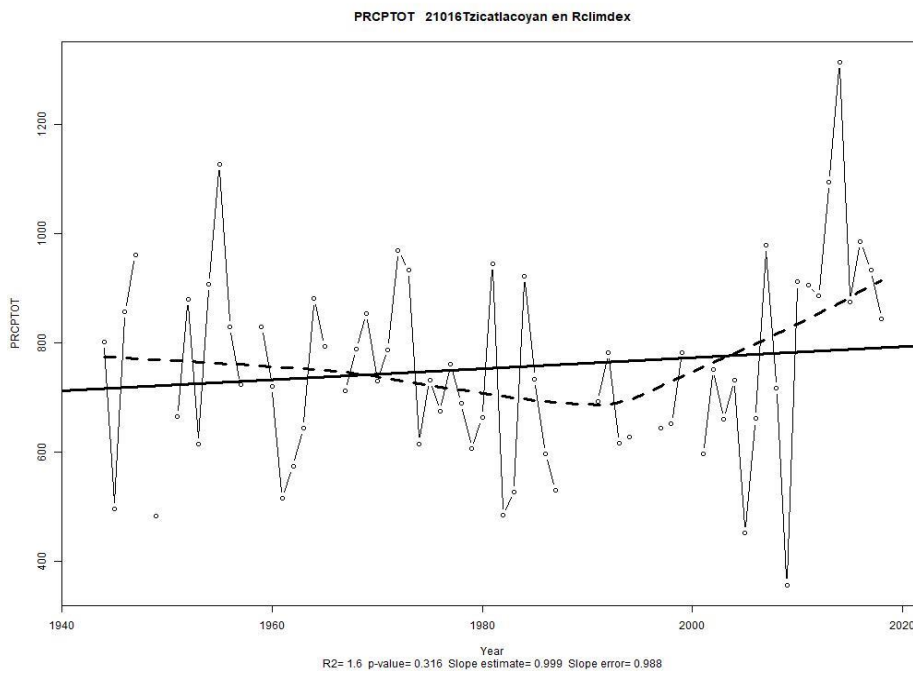


Figura 22. Precipitación total anual en el municipio de Tzicatlacoyan

Figura generada en Rclimdex con datos de la estación 21016

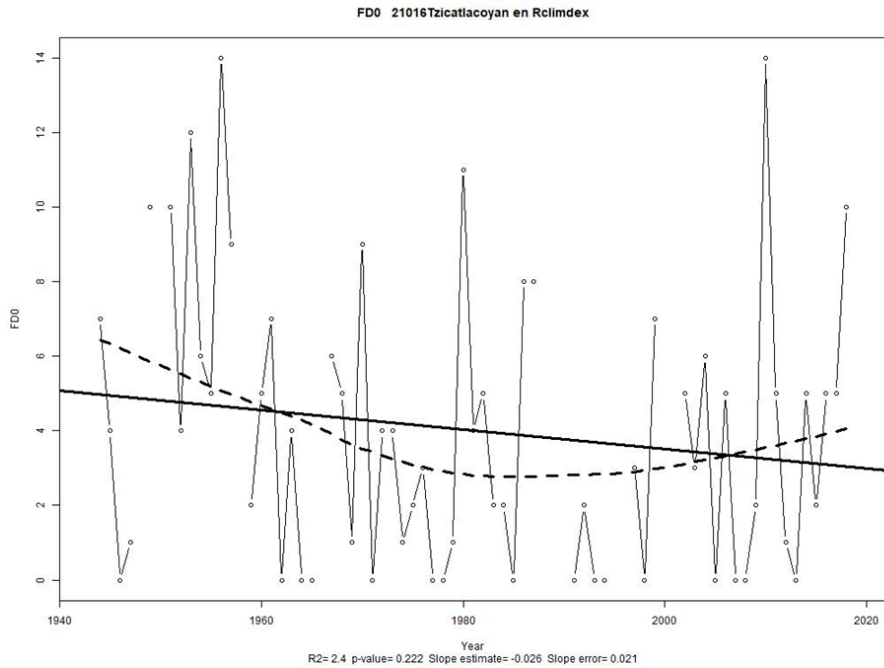


Figura 23. Días con heladas meteorológicas en el municipio de Tzicatlacoyan

Figura generada en Rclimdex con datos de la estación 21016

Tabla 7. Resumen de las figuras de índices climáticos en los municipios de Acatzingo y Tzicatlacoyan.

| Municipio/Índice | Acatzingo | | | Tzicatlacoyan | | |
|---|------------------|-------|---------------|------------------|-------|---------------|
| | Tendencia lineal | p | Significativa | Tendencia lineal | p | Significativa |
| Días de heladas | + | 0.185 | No | - | 0.22 | No |
| Días de verano | - | 0 | | - | 0 | |
| Número de días con precipitación intensa | - | 0.129 | No | + | 0.174 | No |
| Días secos consecutivos | - | 0.162 | No | + | 0.493 | No |
| Días húmedos consecutivos | - | 0.154 | No | + | 0.022 | Si |
| Precipitación total anual en los días húmedos | - | 0.249 | No | + | 0.316 | No |

Se muestran las tendencias y significancia de las figuras de índices climáticos generadas en Rclimdex para ambos municipios.

3.3. Relación de los índices climáticos y la fenología

3.3.1. Municipio Acatzingo

3.3.1.1. Tuna (Nopal fruta)

De 2003 a 2006 no se tienen datos, sin embargo, de 2003 a 2008 el rendimiento obtenido se mantuvo constante con 18 t/ha. En los dos años que si se tiene información se puede observar que en las gráficas de índices que 2007 y 2008 son los años con mayores FD0 con respecto a otros años registrados desde 1990.

Los menores rendimientos registrados y donde mayor variabilidad de estos se tiene, corresponde al periodo de 2009 a 2015. En este periodo se tienen rendimientos alrededor de las 17 t/ha con un mínimo de 12.47 t /ha en el año 2011 y un máximo de 19 t/ha en el año 2014. En este periodo se puede notar que 2009 es el año con mayor FD0 y a partir de este año el rendimiento de este cultivo comenzó a disminuir, no obstante, no es el año con menor rendimiento registrado y es que la tuna tolera bajas temperaturas, pero de 2010 a 2014 no se registran FD0 por lo que el bajo rendimiento no se le atribuye a las FD0. Este periodo tiene los menores SU25 registrados (a excepción de 2015) y los menores CDD (a excepción de 2009).

A partir del año 2016 el rendimiento obtenido es mayor que años anteriores, de 2016 a 2017 es de 21 t/ha, En este periodo se tienen los mayores SU25 registrados a partir de 1990.

En general la tuna tiene uno de los mejores rendimientos y es que es un cultivo resistente a climas extremos. En el periodo de 2003 a 2008 donde el rendimiento permanece constante se tienen mayores FD0 que en otros periodos, pero menor R10mm y tiene mayores CDD en comparación a otros periodos.

El periodo de 2009 a 2015 tiene menores FD0 registrados y mayor R10mm, sin embargo, se tiene variaciones notorias en los demás índices y por lo tanto, también tiene mayores variaciones en cuanto a los rendimientos obtenidos.

El periodo de 2016 a 2017 tiene mayores rendimientos, en este periodo se tienen los mayores SU25 y CWD.

Se observa que de 2003 a 2009 se sembró una superficie de alrededor de 2000 ha y de 2010 a 2017 una superficie de alrededor de 4000 ha, esta superficie se duplicó y no se tiene superficie siniestrada.

3.3.1.2. Nopalitos (Nopal Verdura)

El rendimiento de los nopalitos permaneció constante en el periodo de 2003 a 2006, con 80 t/ha y posteriormente, el rendimiento de este cultivo disminuyó. En el periodo de 2007 a 2009 se tuvieron los menores rendimientos registrados, en especial en el año 2008, donde se alcanzó las 40 t/ha, en este periodo se tienen los mayores FD0 registrados y en 2008 se tienen los mayores CDD. De 2010 a 2017 ha variado de 77 a 85 t/ha. Y es en 2015 cuando se tuvo el mejor rendimiento, en este año se registraron los mayores SU25, menores R100 y menores PRCPTOT.

El periodo de 2007 a 2009 presentó más FD0 y es el periodo que menor rendimiento tienen en comparación que el periodo de 2010 a 2017 y es que de 2010 a 2014 no se tienen FD0, de 2015 a 2017 si se tienen, pero son pocos los FD0 presentes (de 1 a 4 FD0).

En cuanto a los SU25 en el periodo con menor rendimiento también se tienen menores SU25 en comparación con el periodo de, mayor rendimiento.

Los CWD varían con los años, el periodo de 2007 a 2009 tiene mayores CWD que el periodo de 2010 a 2017.

El periodo de 2007 a 2009 tiene menor PRCPTOT en comparación con el periodo de 2010 a 2017, a excepción de 2015 y 2016-

La superficie sembrada es la misma que se cosecha, no se tienen superficies siniestradas y la superficie que se siembra ha ido incrementando al pasar los años.

3.3.1.3. Maíz grano

El rendimiento del maíz grano ha variado a través de los años, pero se puede identificar periodos en los que el rendimiento ha mejorado o disminuido. En el periodo de 2003 a 2005 el rendimiento no superaba los 0.9 t/ha, de 2006 a 2011 el rendimiento aumentó y se reportan de 1.29 a 2.14 t/ha, a excepción del año 2009 donde se reportó un rendimiento de 0 t/ha.

Para el periodo de 2012 a 2017 el rendimiento disminuyo y también es variado, se reportan entre las 0.8 y 1.7 t/ha, en este periodo se presentan menos FD0 que en los periodos anteriores e incluso hay años donde no se presentan FD0, tiene más SU25 que los periodos anteriores y también más R10 mm (a excepción de 2015).

Al comparar el periodo de mayor y menor rendimiento:

El periodo de 2006 a 2011 tiene más FD0 que el periodo de 2012 a 2017.

El periodo de 2006 a 2011 presento menos SU25 que de 2012 a 2017.

De 2006 a 2010 se tienen menores R10mm que en los años posteriores.

Se tienen más CWD en el periodo de 2006 a 2010 que en el de 2012 a 2017.

De 2006 a 2011 se tiene una PRCPTOT menor y se encuentra en un rango donde se espera un mediano rendimiento, mientras que de 2012 a 2017 tiene años en los que la PRCPTOT es para un rendimiento óptimo del cultivo y unos otros donde el rendimiento es mediano.

En 2009 las 4348 ha sembradas se siniestraron a causa de una sequía, en este año se reportaron más FD0 desde 1990 y cerca de 100 CDD, fue un año donde se presentó el fenómeno EL NIÑO y no se presentaron eventos meteorológicos como huracanes.

3.3.1.4. Frijol

Se puede observar que el rendimiento obtenido del frijol varia a través de los años, sin embargo, podemos distinguir que el periodo de 2003 a 2010 tiene variaciones más pronunciadas y un menor rendimiento en su mayoría, este va de 0.34 a 1.39 t/ha, mientras que de 2011 a 2017 se tienen mayores rendimientos, estos van de 0.4 a 0.98 t/ha.

En 2006 es donde se tiene un mayor rendimiento registrado, con 1.39 t/ha. Este cultivo se vio afectado en 2009 causa de una sequía además de heladas y días secos y obtuvo un rendimiento de 0.4 t/ha. En 2010 también se obtuvo un rendimiento de 0.4 t/ha, sin embargo, este año no presento FD0, es de los años con menores CDD y menores CWD.

En general la PRCPTOT se encuentra en un rango alto (450 a 900 mm) para este cultivo.

En 2014se obtuvo un buen rendimiento, 0.98 t/ha. En este año no se presentaron FD0, es de los años con mayores SU25, R10mm, menores CDD y con una óptima PRCPTOT.

De 2003 a 2007 se tenía una mayor superficie sembrada, va de las 1151 a 1205 ha, y a disminuido en los últimos años hasta llegar a las 380 ha sembradas en el año 2017.

De la superficie sembrada, desafortunadamente, no toda la superficie se cosecha, tal como se ve en 2009. En 2009 se registró una superficie siniestrada de 540 ha y solo se cosecharon 362 ha. En 2011 se siniestraron 115 ha de las 801 que se sembraron. En 2015 se sembraron 405 ha y se siniestraron 10 ha. En el año 2014 se sembraron 1848 ha y se cosecharon las mismas.

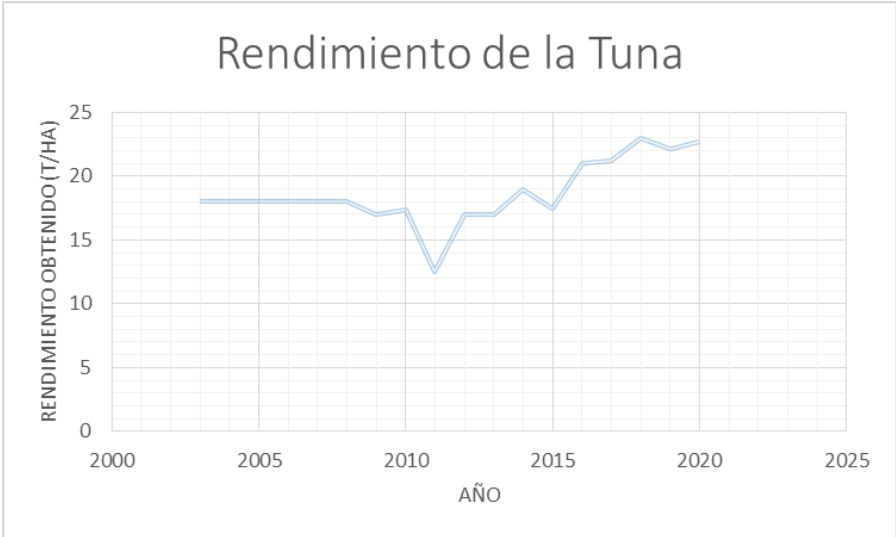


Figura 24. Rendimiento obtenido de la tuna en el municipio de Acatzingo

Rendimiento de la tuna en toneladas/hectárea del periodo de 2003 a 2020.

Figura generada a partir de datos de SIACON.

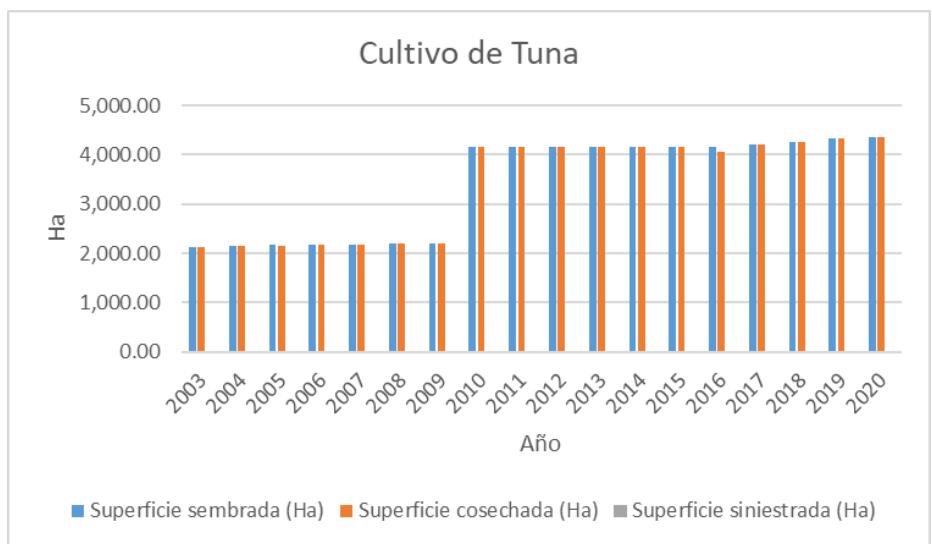


Figura 25. Características del cultivo de tuna en el municipio de Acatzingo. Características del cultivo de tuna en hectáreas del periodo de 2003 a 2020.

Figura generada a partir de datos de SIACON.

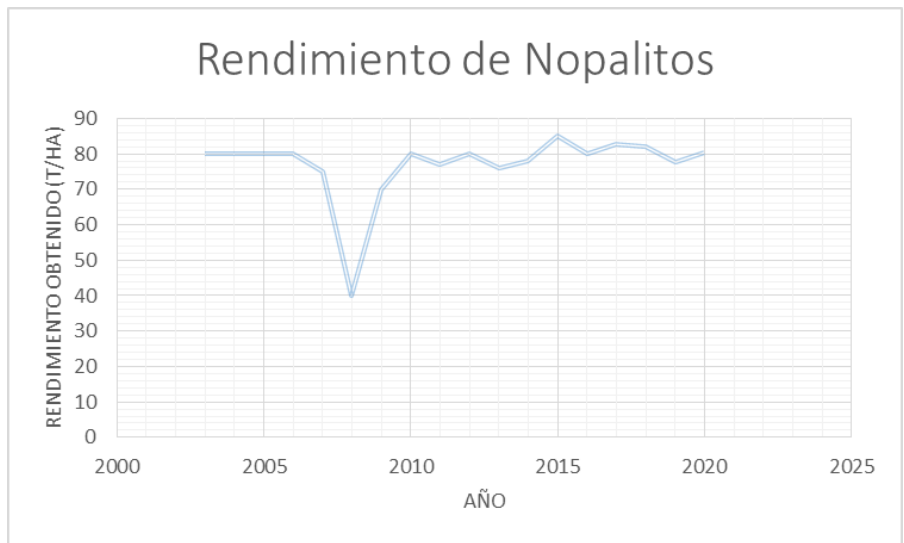


Figura 26. Rendimiento de nopalitos en el municipio de Acatzingo. Rendimiento de nopalitos en tonelada/hectárea del periodo de 2003 a 2020.

Figura generada a partir de datos de SIACON.

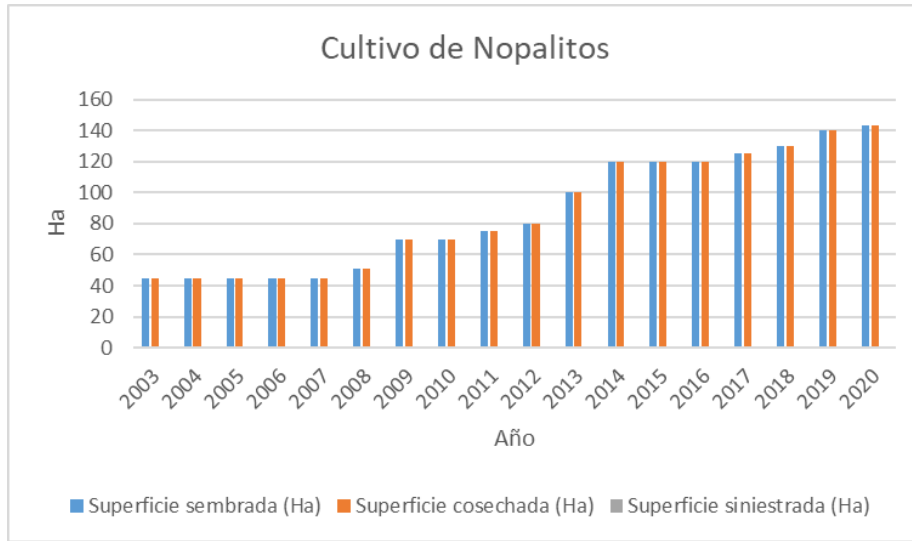


Figura 27. Características del cultivo de nopalitos en el municipio de Acatzingo. Características del cultivo de nopalitos en hectáreas del periodo de 2003 a 2020.

Figura generada a partir de datos de SIACON.

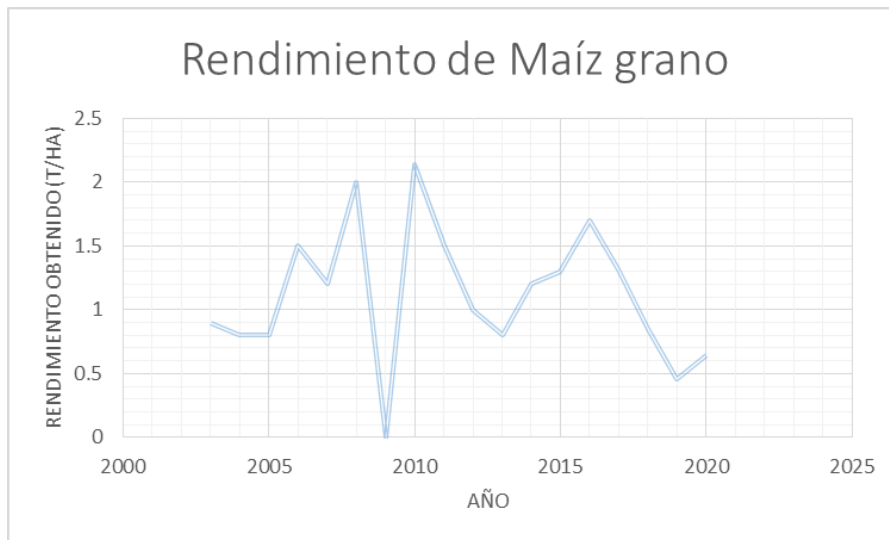


Figura 28. Características del cultivo de maíz del municipio de Acatzingo. Rendimiento de maíz grano en toneladas/hectárea del periodo de 2003 a 2020.

Figura generada a partir de datos de SIACON.

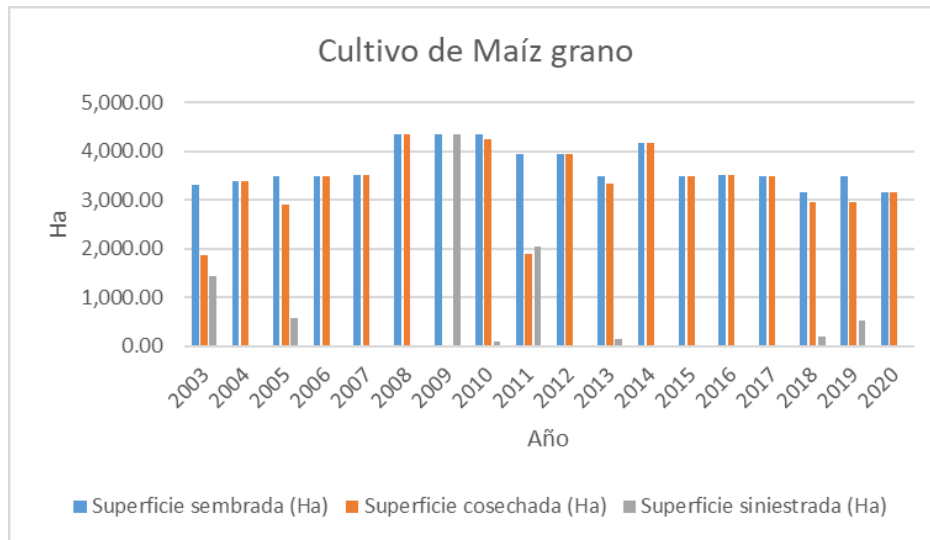


Figura 29. Características del cultivo de maíz grano en el municipio de Acatzingo. Características del cultivo de maíz grano en hectáreas del periodo de 2003 a 2020.

Figura generada a partir de datos de SIACON.

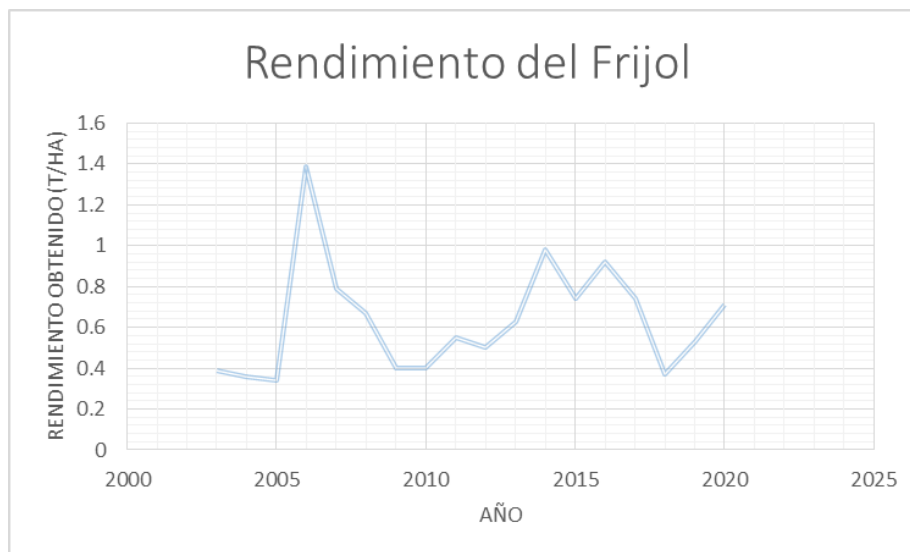


Figura 30. Rendimiento del frijol en el municipio de Acatzingo.

Rendimiento de frijol en toneladas/hectárea del periodo de 2003 a 2020.

Figura generada a partir de datos de SIACON.

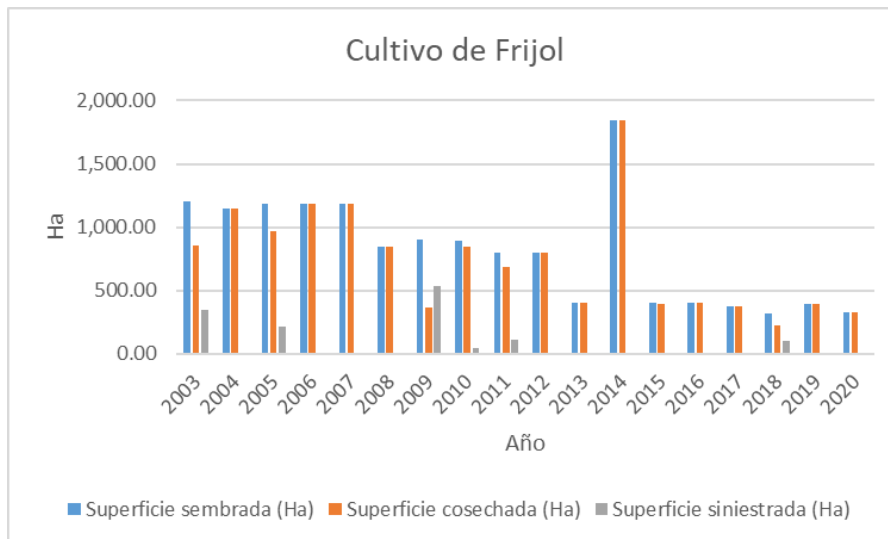


Figura 31. Características del cultivo de frijol en el municipio de Acatzingo

Características del cultivo de frijol en hectáreas del periodo de 2003 a 2020.

Figura generada a partir de datos de SIACON.

3.3.2. Municipio Tzicatlacoyan

3.3.2.1. Maíz

Del año 2003 a 2010 se reportaron los menores rendimientos para el cultivo del maíz, para estos años el rendimiento fue de 0.5 t/ha, destacando el año 2009, dónde el rendimiento fue de 0 t/ha. Para este mismo periodo de tiempo, se registraron a la vez los años con los mayores números de CDD y también los menores CWD. De 2014 a 2017 se registraron los rendimientos más altos de 2.1 a 2.3 t/ha, dónde se puede identificar que los rangos de CDD para estos años son mucho menores en comparación que los del periodo 2003 a 2010 y a la vez los rangos de CWD son también mayores que los que se presentaron de 2003 a 2010.

Tanto PRCPTOT como R10 mm para el periodo de 2003 a 2010 fue menor que las precipitaciones que hubo en los años de 2014 a 2017. Este último periodo se encuentra más apegado al rango de precipitación total que requiere el maíz para un mejor desarrollo (700 a 1300 mm).

La variable SU25 se presentó con mayor frecuencia en el periodo de 2003 a 2009 que de 2014 a 2017 y se observa que los mayores rendimientos de maíz se presentaron en este último periodo.

En cuanto al número de heladas, para el periodo 2003 a 2010 se presentaron menores heladas que de 2014 a 2017 (más heladas en este último periodo).

En 2003 se sembraron 3200 ha de maíz para riego temporal y este número ha ido disminuyendo a través de los años, en el último año de registro (2020) se reportaron únicamente 899 ha sembradas de maíz.

El cultivo de maíz mostró un mejor rendimiento en los periodos con menor registro de: SU25, CDD y con mayor cantidad de precipitaciones tanto PRCPTOT y R10mm, al igual que dónde hubo más CWD. Es evidente que la falta de precipitaciones es lo que muestra mayor afectación en el rendimiento de este cultivo, tal como lo fue en el 2009 que fue el año dónde se presentó la menor cantidad de precipitaciones registradas desde 1943 a 2018. En 2009 las 3050 ha sembradas fueron todas siniestradas a causa de la sequía presentada ese mismo año.

3.3.2.2. Trigo

Del año 2003 al 2010 la mayoría de los rendimientos del trigo para este periodo se encuentran entre 0.5 a 0.61 t/ha, destacando que en el año 2009 el rendimiento fue de 0.7 pero donde 300 ha de 330 fueron siniestradas debido a la sequía de este mismo año. Posteriormente del 2011 al 2014 fueron estos años dónde se presentó el mayor rendimiento del trigo (entre 0.86 a 1.5 t/ha) y del 2015 al 2017 se presentaron valores más bajos de rendimiento (0.31, 0.54 y 0.52). A partir del 2015 el rendimiento del trigo comenzó a disminuir siendo en este mismo año dónde hubo el menor rendimiento registrado desde 2003 y hasta 2018 comenzó a aumentar el rendimiento otra vez, manteniéndose de forma ascendente hasta 2020.

Para el periodo de mayor rendimiento del trigo (2011 a 2014), el número más alto de CDD fue de aproximadamente 120, para el resto de los años se mantuvo por debajo de 125 CDD, en cuanto a CWD presentados, el mayor número para este mismo periodo fue de casi 16 y el menor fue de aproximadamente 90. Los FD0 a lo máximo llegaron a 4.5, la mayor cantidad de PRCPTOT y R10mm ocurrió también en este periodo y los SU25 en estos años van desde 65 hasta 95 como máximo.

3.3.2.3. Agave

Desde 2008 se reportaron en la página de SIACON los datos relacionados con la producción del agave. Desde 2008 a 2013 se tienen los mejores rendimientos para este cultivo, rendimientos que van desde las 100 hasta las 122 t/ha y para el 2014 el rendimiento fue de 96 t/ha, a partir de aquí empezó a disminuir el rendimiento para los próximos años.

Para el periodo donde hubo mejores rendimientos del agave, las condiciones climatológicas fueron las siguientes: en este periodo se presentaron los mayores rangos para los CDD, donde el valor más alto llegó casi a los 180 CDD, mientras para el periodo de menor rendimiento (2014-2018), se observaron menores rangos para esta variable donde el máximo valor fue de aproximadamente 110 CDD. Para la variable de CWD, los rangos para ambos periodos de estudio no variaban mucho, sin embargo, si se nota un poco más un mayor número de CWD para el primer periodo de estudio, en este tiempo el rango para CWD se encuentra entre 8 a 13 aproximadamente y para 2014 - 2018 el rango fue de 8 a 16 aproximadamente.

FD0 se presentaron un poco más en el primer periodo de estudio, para este periodo las heladas fueron de 0 a casi 14 y para el segundo periodo fueron de 0 a 10.

Se manifestó una mayor cantidad de PRCPTOT y R10mm para el segundo periodo de estudio, alcanzando casi los 1300 mm de PRCPTOT y casi los 50 días con R10mm, mientras que para el primer periodo fue de 150 de PRCPTOT y 40 de R10mm los valores máximos aproximadamente.

En cuanto a SU25, la presencia de esta variable se manifestó de manera más acentuada en el primer periodo, el rango para los días SU25 van de 90 a casi 200, mientras para el segundo periodo van de 60 a 100 aproximadamente.

Desde el año 2008 se tiene información sobre la producción agrícola temporal del agave, en este año se empezaron sembrando 150 ha y para 2018 se sigue teniendo esa misma cantidad de ha sembradas, sin embargo, en 2019 y 2020 las hectáreas sembradas fueron 102 y 101 respectivamente.

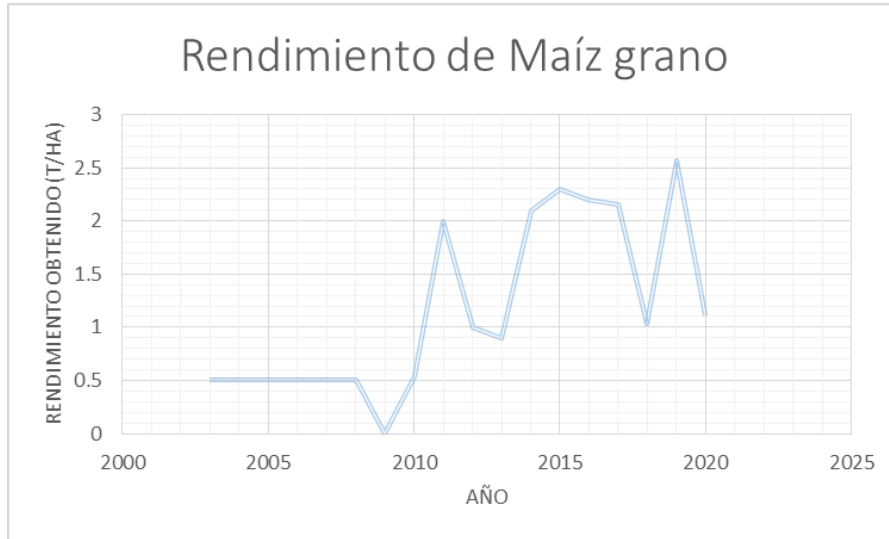


Figura 32. Rendimiento de maíz grano en el municipio de Tzicatlacoyan.

Rendimiento de maíz grano en toneladas/hectárea del periodo de 2003 a 2020.

Figura generada a partir de datos de SIACON.

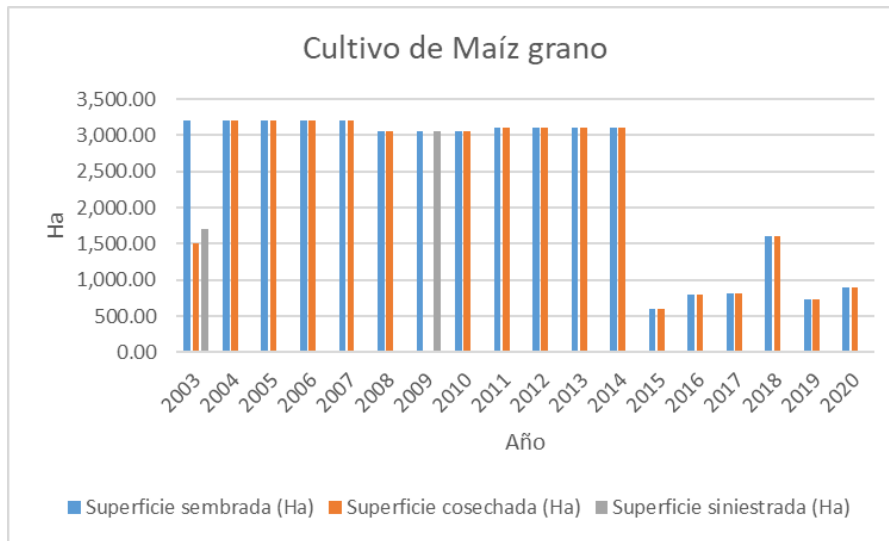


Figura 33. Características del cultivo de maíz grano en el municipio de Tzicatlacoyan.

Características del cultivo de maíz grano en hectáreas del periodo de 2003 a 2020

Figura generada a partir de datos de SIACON.

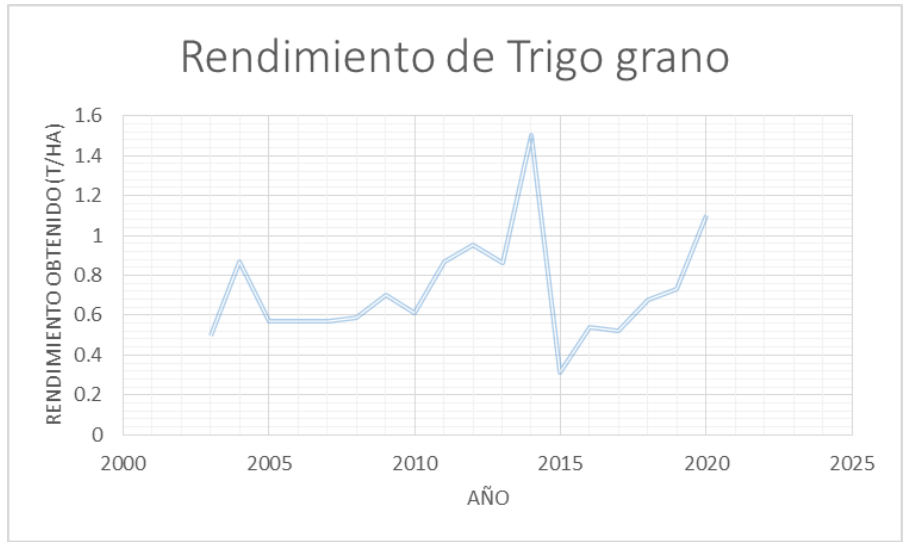


Figura 34. Rendimiento de trigo grano en el municipio de Tzicatlacoyan.

Rendimiento de trigo grano en toneladas/hectárea del periodo de 2003 a 2020.

Figura generada a partir de datos de SIACON.

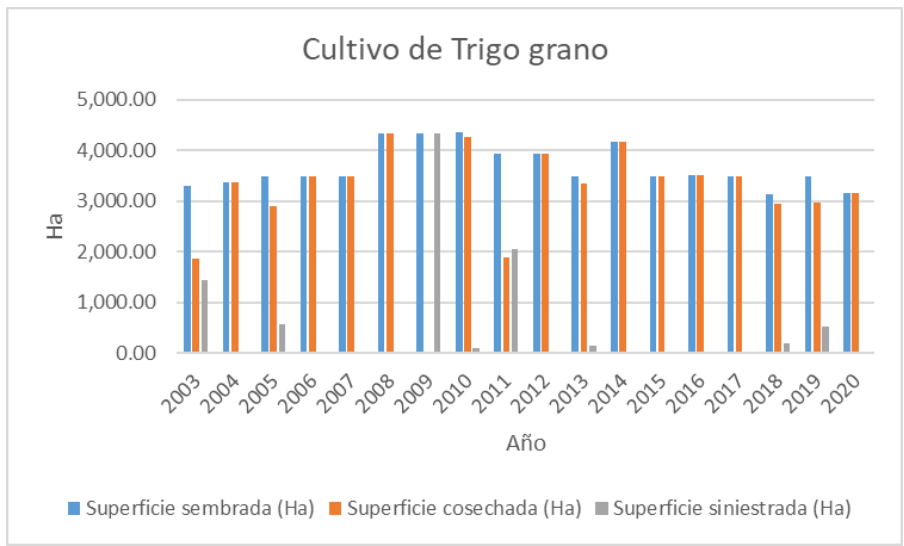


Figura 35. Características del cultivo de trigo grano en el municipio de Tzicatlacoyan.

Características del cultivo de trigo grano en hectáreas del periodo de 2003 a 2020

Figura generada a partir de datos de SIACON.

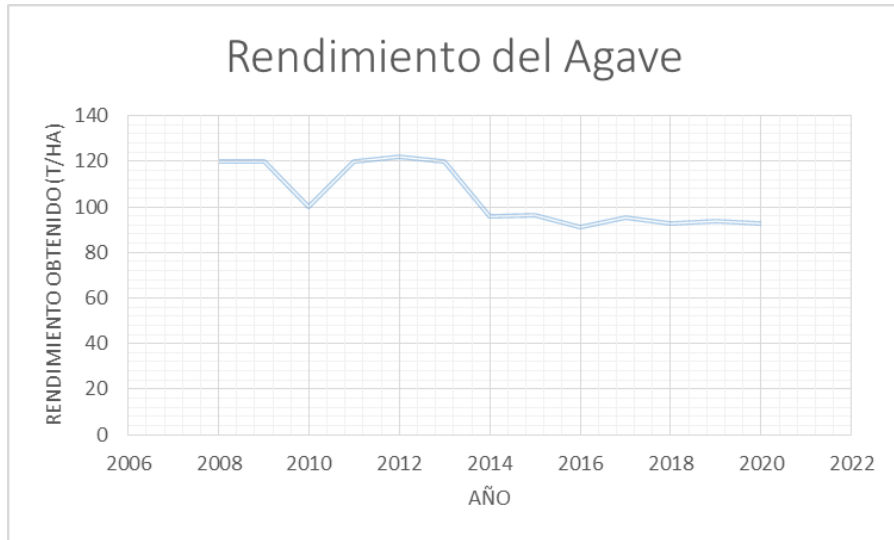


Figura 36. Rendimiento de agave en el municipio de Tzicatlacoyan.

Rendimiento del agave en toneladas/hectárea del periodo de 2008 a 2020.

Figura generada a partir de datos de SIACON.

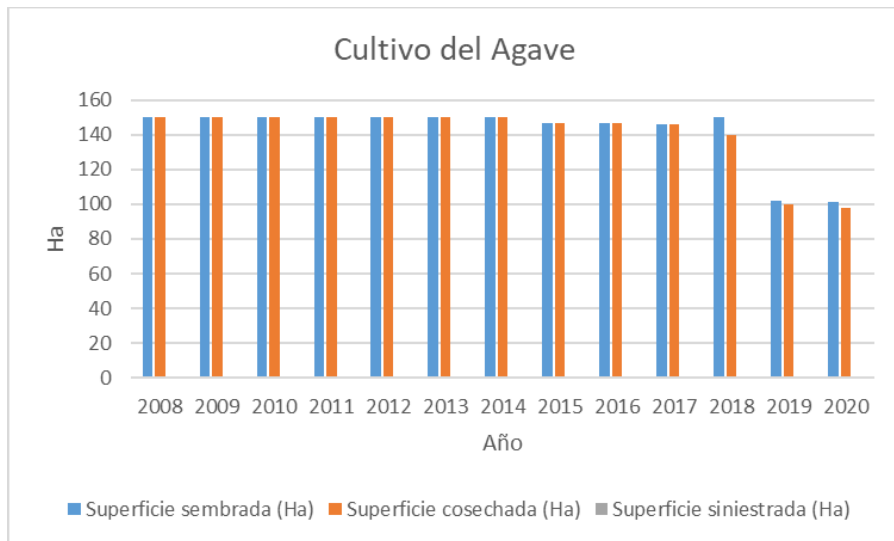


Figura 37. Características del cultivo de agave en el municipio de Tzicatlacoyan.

Características del cultivo de agave en hectáreas del periodo de 2008 a 2020.

Figura generada a partir de datos de SIACON.

CONCLUSIONES

En relación con el municipio de Acatzingo, muestra una tendencia ascendente en los días de heladas, contrario al resto de los índices como días de verano, número de días con precipitación intensa, días secos consecutivos, días húmedos consecutivos y precipitación total anual en los días húmedos, que tiene una tendencia a disminuir. Aunque la mayoría de las gráficas no tienen un p valor estadísticamente significativo es importante conocer cómo se comportan los diferentes índices climáticos y las tendencias que tienen ya que permiten visualizar la variabilidad climática que se presenta en el municipio y con respecto al impacto en la agricultura se presentan las siguientes consideraciones:

- Resulta de gran importancia conocer la fenología de los cultivos, así como otras características del lugar, como el tipo de suelo, clima e hidrología, para lograr una buena producción y mejores rendimientos.
- Los índices climáticos con menor variabilidad son; días con precipitación intensa, días húmedos consecutivos y precipitación total anual en los días húmedos, mientras que, los índices con mayor variabilidad para este municipio son: días de heladas, días de verano y días secos consecutivos.
- La sequía que se presentó en 2009 resultó en la pérdida total del cultivo del maíz, más de la mitad de la superficie sembrada del frijol fue siniestrada y el rendimiento de la tuna presentó una ligera disminución, además de que en este año se presentaron más días de heladas del periodo de estudio.
- Con respecto a los cultivos de nopal, tanto fruta y verdura, se logra observar que las condiciones climáticas son favorecedoras para su producción y rendimiento, la superficie que se les destina ha incrementado y en el periodo de estudio no se han registrado superficies siniestradas.
- A pesar de que este municipio se encuentra en la franja maicera, este no es el cultivo de mayor producción y es más susceptible a eventos meteorológicos y junto con el frijol, sus rendimientos tienen una mayor variabilidad en comparación al rendimiento del nopal provocando que disminuyan las hectáreas sembradas de maíz e incrementen las del nopal.
- El nopal, fruta y verdura, tienen muy buenos rendimientos, en especial en la localidad de San Sebastián Villa Nueva donde el 95% de sus habitantes se dedica a la producción de la tuna posicionándose como el tercer productor nacional, solo

después del estado de Zacatecas y el estado de México (Olano M., 2022), con el tiempo esta localidad ha creado monocultivos de nopal y tuna, que si bien resultan favorecedores económicamente también trae consigo consecuencias: este monocultivo se ve afectado por plagas que son atacadas con plaguicidas, en consecuencia se pone en riesgo la salud y el ambiente (Elba M. L., María E. S. y Daniel J., 2011), incluso de acuerdo con Valdivia C. C. y Rodríguez C. M. (2015) el suelo de Acatzingo presentó una fertilidad baja debido a la intensa producción agrícola de algunas hortalizas y de nopal. La importancia de la producción agrícola de manera sustentable es importante para poder evitar afectaciones futuras para tomar decisiones a corto y largo plazo.

Con respecto al municipio de Tzicatlacoyan, las tendencias obtenidas indican que los días de heladas y los días de verano tienen una tendencia a disminuir, a diferencia de los otros índices como días de precipitación intensa, días secos consecutivos, días húmedos consecutivos y precipitación total anual, los cuáles mostraron una tendencia positiva. La mayoría de las gráficas obtenidas muestran un p valor poco significativo debido a la gran dispersión de los datos obtenidos, sin embargo, la pendiente de las gráficas permite tener una noción de la tendencia que pueden tener los índices generados.

- El comportamiento de los índices climáticos indica que aparentemente la temperatura en el municipio de Tzicatlacoyan tiene una tendencia a disminuir.
- Los índices climáticos con menor variabilidad son: días de verano y días de precipitación intensa. Los índices que mostraron una mayor variabilidad fueron: días de heladas, días secos consecutivos, días húmedos consecutivos y precipitación total.
- La sequía que se presentó en 2009 afectó de diferente manera a los cultivos de este municipio; para el maíz provocó la destrucción total de las hectáreas sembradas para ese año, para el trigo de grano afectó el 90% del total de las hectáreas, mientras para el agave no presentó algún problema en las hectáreas sembradas.
- El rendimiento del maíz aumentó en los últimos años de estudio para el periodo de 2014 a 2017, aparentemente por las condiciones más húmedas que se manifestaron en este periodo de tiempo, sin embargo, el número de hectáreas sembradas de maíz para riego temporal ha ido disminuyendo drásticamente a través de los años, en 2003 se sembraron 3200 ha para 2017 se sembraron únicamente 810 ha.

- Para el cultivo del trigo de grano las condiciones en las que se mostró un mejor rendimiento son similares en las que se presentó también el rendimiento más bajo, y al comparar las 300 ha sembradas desde 2003 se observa que estas han disminuido considerablemente para 2015, 2016 y 2017 teniendo para estos años 37, 37.5 y 38 ha sembradas respectivamente. Por lo anterior se puede inferir que para este cultivo impactaron más agentes externos al cambio climático/comportamiento de las variables, cambio de uso de suelo, abandono de tierras, falta de programas que apoyen al campo.
- El cultivo del agave en general mostró mejores rendimientos en el periodo más seco, es decir, en donde hubo menos precipitaciones, más días secos y mayor cantidad de días de verano. De acuerdo con su fenología el agave se adapta muy bien a este tipo de condiciones y claramente se ve afectado cuando su medio se vuelve más húmedo, motivo por el cual ha bajado el rendimiento en los últimos años. Para el caso de este cultivo, específicamente para el municipio de Tzicatlacoyan, sus rendimientos se ven amenazados a causa del cambio climático que ha venido modificando las condiciones del clima en los últimos años, haciendo que las condiciones para este municipio se vuelvan más húmedas, lo cual no favorece a todos los cultivos, como el agave.

Los dos municipios estudiados presentan características diferentes y a pesar de pertenecer al mismo estado las tendencias para los índices climáticos son contrarias, a excepción de días de verano donde parece que en ambos tienden a disminuir, por lo que las decisiones tomadas para las condiciones de cada municipio serían diferentes. Los cultivos de mayor rendimiento y producción son diferentes para cada municipio, pero coinciden en la importancia del cultivo de maíz donde, para el rendimiento de Acatzingo se observa una disminución, caso contrario a Tzicatlacoyan donde se tiene un aumento.

Otro punto es que, independientemente de que los rendimientos aumenten o disminuyan, las hectáreas sembradas para la mayoría de los cultivos han disminuido drásticamente, lo cual es preocupante porque cada vez es menos el uso de la agricultura temporal desde los primeros años abarcados para esta investigación hasta 2018.

El estudio de las afectaciones en la agricultura a nivel local muestra las diferencias que los sitios tienen entre sí, permitiendo aprovechar sus recursos y condiciones de manera sustentable.

REFERENCIAS

- Abbate, P.E., y Divito, G.A. (2017). Manual del cultivo del trigo. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/320465249_Como_crece_y_se_desarrolla_el_cultivo_de_trigo
- Acuña, D. y Robles, D. (2015). Manual de meteorología y de gestión de la información climática. Recuperado de https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00N1N1.pdf
- Agencia de Protección Ambiental (EPA). (2021). Climate Change Indicators: Heavy Precipitation. Recuperado de: <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-heavy-precipitation#ref6>
- Andrades, M., y Muñoz, C. (2012). Fundamentos de climatología: España: Universidad de La Rioja. Servicio de Publicaciones.
- Asociación ANDES. (s.f.). Manual desarrollo vegetativo del maíz. Recuperado de <http://andes.center/wp-content/uploads/2019/10/Manual-Ciclo-del-Maiz.pdf>
- Ávila Flores, B. y González Gaudiano, E., J. (2014). Percepción social de los eventos climáticos extremos: una revisión teórica enfocada en la reducción del riesgo. *Trayectorias*, 16(39),36-58. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60731551003>
- Barcía, S., Guevara, A.V., Estrada, L., y Otero, M. (2021). Los extremos climáticos por calor. *Revista Cubana de Meteorología*, 27(1), 1-16. Recuperado de: https://www.researchgate.net/profile/Sinai-BarciaSardinas/publication/354776114_Los_extremos_climaticos_por_calor/links/614bf6e5519a1a381f795cf7/Los-extremos-climaticos-por-calor.pdf
- Cabrera, J.D. (2020). *Interpolación espacio-temporal de pronósticos meteorológicos. (tesis de pregrado)*.Universidad de Sevilla, Sevilla, España.
- Camino, E. R., Ruggeroni, J. R. P., & Hernández, F. H. (2014). Quinto informe de evaluación del IPCC: Bases físicas. *Revista Tiempo y Clima*, 5(43).
- Casanova-Pérez, L., Martínez-Dávila, J. P., López-Ortiz, S., y Rosales-Martínez, V. (2019). Mercantilización del maíz en un contexto político y de cambio climático en el trópico subhúmedo mexicano. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 16(83). <https://doi.org/10.11144/Javeriana.cdr16-83.mmcp>

- Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, (CIMMYT). (s.f.). Etapas de crecimiento del trigo y la escala Zadok. Recuperado de <http://wheatdoctor.org/es/etapas-de-crecimiento-del-trigo-y-la-escala-zadok>
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). (2019). ¿Qué pasa con el granizo?. Recuperado de: <https://www.gob.mx/cenapred/es/articulos/que-pasa-con-el-granizo?idiom=es>
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP). (2019). Plataforma de Información Climática. Recuperado de <https://www.gob.mx/conanp/acciones-y-programas/plataforma-de-informacion-climatica>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (sf). Glosario Técnico. Recuperado de <https://smn.conagua.gob.mx/es/smn/glosario>
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (s.f.). Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMAS). Descripción. Recuperado de <https://smn.conagua.gob.mx/es/observando-el-tiempo/estaciones-meteorologicas-automaticas-ema-s>
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). (2019). Maíz. Recuperado de <https://conacyt.mx/cibiogem/index.php/maiz>
- Conde, C. (2011). México y el cambio climático global. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), 1-26. Recuperado de: <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Cecadesu/Libros/Mexico%20y%20el%20cambio%20climatico.pdf>
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). (2019). Trigo. Recuperado de <https://conacyt.mx/cibiogem/trigo>
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). (2019). Maíz. Recuperado de <https://conacyt.mx/cibiogem/index.php/maiz>
- Cotler, H., Corona, J. A., y Galeana-Pizaña, J. M. (2020). Erosión de suelos y carencia alimentaria en México: una primera aproximación. Investigaciones geográficas, (101).
- Diario Oficial de la Federación. (2012). Ley general de cambio climático. Recuperado de

https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/6583/1/ley_general_de_cambio_climatico.pdf

Diario Oficial de la Federación. (2014). Reglamento de la ley general de cambio climático en materia del registro nacional de emisiones. Recuperado de http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGCC_MRNE_281014.pdf

Díaz, G. (2012). El cambio climático. *Ciencia y sociedad*, 37(2), 227-240.

Elba M. L., María E. S. y Daniel J. (2011). INVESTIGACIÓN INTERDISCIPLINARIA PARA EL DESARROLLO RURAL EN PUEBLA Y TLAXCALA (pp.142-165) Chapter: Impacto de los plaguicidas en San Sebastián Villanueva, Acatzingo, y diagnóstico de la plaga del nopal *Metamasius spinolae* (Gyllenhal) Editorial: COLEGIO DE POSTGRADUADOS, CAMPUS PUEBLA, ALTRES COSTA-AMIC EDITORES

Gobierno del Estado de Puebla. (2013). Ley de cambio climático del estado de puebla. Recuperado de <https://cambioclimatico.gob.mx/wp-content/uploads/2018/11/Documento-1-Ley-de-Cambio-Clim%C3%A1tico-Puebla2013.pdf>

Gobierno del Estado de Puebla. (2020). Actualización del Programa Regional Valle de Serdán. Recuperado de http://www.transparenciafiscal.puebla.gob.mx/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=581&limit=5&order=date&dir=ASC&Itemid=63

González, E. y Meira C. (2020). Educación para el cambio climático: ¿Educar sobre el clima o para el cambio? *Perfiles Educativos*, 42(168), 157-174

Greenpeace. (2018). Imágenes y datos: así nos afecta el cambio climático. Recuperado de: <https://es.greenpeace.org/es/wp-content/uploads/sites/3/2018/11/GP-cambio-climatico-LR.pdf>

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). (2002). Cambio climático y biodiversidad. Recuperado de: <https://archive.ipcc.ch/pdf/technical-papers/climate-changes-biodiversity-sp.pdf>

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). 2018: Anexo I: Glosario [Matthews J.B.R. (ed.)]. En: Calentamiento global de 1,5 °C, Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5 °C con

respecto a los niveles preindustriales y las trayectorias correspondientes que deberían seguir las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, en el contexto del reforzamiento de la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, el desarrollo sostenible y los esfuerzos por erradicar la pobreza [MassonDelmotte V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor y T. Waterfield (eds.)].

Gutiérrez-Rangel, N., Medina-Galicia, A., Ocampo-Fletes, I., Antonio-López, P., & PedrazaSantos, M. E. (2011). Conocimiento tradicional del "cuatomate" (*solanum glaucescens* Zucc) en la mixteca baja poblana, México. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 8(3), 406-420

Ibarra, M. y Martínez-Carrasco, F. (2011). La mixteca poblana. De la vulnerabilidad al bienestar. DOI: 10.6018/editum.945

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2016). Conocer: el primer paso para adaptarse. Recuperado de: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023631/ABC.pdf>

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2008). Guía de identificación y manejo integrado de enfermedades del frijol en América Central. Recuperado de <http://repiica.iica.int/docs/B0891E/B0891E.pdf>

Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). (2015). Agricultura y variabilidad climática. Lo que debemos saber del clima. Recuperado de: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwimm5q09u7zAhXykWoFHxqFDTMQFnoECBMQAQ&url=http%3A%2F%2Frepositorio.iica.int%2Fbitstream%2F11324%2F2601%2F1%2FBVE17038689e.pdf&usg=AOvVaw2r3OxJBQwSkkSXABNQoc0q>

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (2012). Potencial productivo de especies agrícolas de importancia socioeconómica en México (8). Recuperado de <https://www.cmdrs.gob.mx/sites/default/files/cmdrs/sesion/2018/09/17/1474/materiales/inifap-estudio.pdf>

- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED). (s.f.). Enciclopedia de los municipios de delegaciones de México. Estado de Puebla. Tzicatlacoyan. Recuperado de <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM21puebla/municipios/21193a.htm>
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED). (s. f.) Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Estado de Puebla. Acatzingo. Recuperado de <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM21puebla/municipios/21004a.htm>
- Instituto para la Gestión, Administración y Vinculación Municipal (IGAVIM). (2020). Riesgos y peligros regionales por fenómenos naturales y antrópicos, del estado de Puebla. Recuperado de <http://igavim.org/Documentos%20Generados/Documentos%20Generales/2020%20FenomenosNaturales.pdf>
- Jarma Orozco, A., Cardona Ayala, C., y Araméndiz Tatis, H. (2012). Efecto del cambio climático sobre la fisiología de las plantas cultivadas: Una revisión.
- Labandeira, X., y Linares, P. (2016). El acuerdo de París sobre cambio climático. *icade. Revista de la Facultad de Derecho*, (97), 11-19.
- Lemos, G. M. (2018). El impacto económico de la agricultura y el efecto del cambio climático en el cantón Babahoyo (tesis de pregrado). Universidad Regional Autónoma de los Andes, Ambato, Ecuador.
- León, A. y Torres-García, I. (2013). Aspectos de la fenología, visitantes florales y polinización de *Agave inaequidens* Koch ssp. *inaequidens* (Agavaceae) en el estado de Michoacán. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/280091926_Aspectos_de_la_fenologia_visitantes_florales_y_polinizacion_de_Agave_inaequidens_Koch_ssp_inaequidens_Agavaceae_en_el_estado_de_Michoacan
- López, J. V., Sánchez, J. P. J., Valverde, B. R., Sánchez, M. D. V., Morales, J. J., y Gaytán, O. R. T. (2019). Regionalización de la producción de maíz de temporal en el Estado de Puebla, México. *Cuadernos Geográficos*, 58(2), 152-167.

- Mafla, H. F., Moreno, D. y Grupo de agro meteorología. (2011). Manejo e interpretación de variables del clima y de agro meteorología desde la finca del agricultor, ante los efectos de la ola invernal. Recuperado de <https://sac.org.co/wp-content/uploads/2013/05/Cartilla-Clima-IDEAM.pdf>
- Montiel-González., Martínez-Santiago, S., Santos, A. L., y Herrera, G. G. (2017). Impacto del cambio climático en la agricultura de secano de Aguascalientes, México para un futuro cercano (2015-2039). *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 16(1), 1-13.
- Morales-Casco, L. A., y Zúñiga-González, C. A. (2016). Impactos del cambio climático en la agricultura y seguridad alimentaria. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 2(1), 269-291.
- Mula, J. A. (s.f.). Cómo cultivar el agave. Recuperado de <https://www.agromatica.es/como-cultivar-el-agave/>
- Naciones Unidas. (2021). ¿Qué es el cambio climático?. Recuperado de: <https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change>
- Olano, M. (2022). Estimado de 150 mdp, pérdida de productores de nopal y tuna por granizada en Puebla. *La Campiña*. Recuperado de <https://revistalacampina.mx/2022/01/12/estimado-de-150-mdp-perdida-de-productores-de-nopal-y-tuna-por-granizada-en-puebla/>
- Ojeda, W., Sifuentes, E., Rojano, A., y Íñiguez, M. (2012). Adaptación de la agricultura de riego ante el cambio climático. *Impacto del cambio climático en los recursos hídricos*, 4, 65-113.
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2016). ACUERDO DE PARÍS. Recuperado de https://unfccc.int/sites/default/files/paris_agreement_spanish_.pdf
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2010). Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/y7223s/y7223s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2018). Cambio climático y seguridad alimentaria y nutricional américa latina y el caribe. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/l8014ES/l8014es.pdf>

- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2006). Vigilancia y alerta temprana de la sequía: conceptos, progresos y desafíos futuros. Recuperado de: https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_drought_monitoring_early_warning_es_2006.pdf
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2018). Cambio climático y salud. Recuperado de: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health>
- Ortiz, J. A. (2020). Propuesta gastronómica basada en una producción sostenible de productos locales en el municipio de San José De Miranda provincia de García Rovira. Universidad Autónoma de Bucaramanga. Bucaramanga, Colombia.
- Ortiz, R. (2012). El cambio climático y la producción agrícola. Banco Interamericano de Desarrollo, p1.
- Palacios-Vélez, O. L., y Escobar-Villagrán, B. S. (2016). La sustentabilidad de la agricultura de riego ante la sobreexplotación de acuíferos. *Tecnología y ciencias del agua*, 7(2), 5-16.
- Plan de Desarrollo Municipal. (2018-2019). Municipio de Acatzingo, Puebla. Recuperado de <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM21puebla/municipios/21004a.html>
- Plan de Desarrollo Municipal. (2018-2019). Tzicatlacoyan. Recuperado de <https://tzicatlacoyan.gob.mx/wp-content/uploads/2019/07/Tzicatlacoyan2021.pdf>
- Qiu, J., Shen, Z., Leng, G. & Wei, G. (2021). Synergistic effect of drought and rainfall events of different patterns on watershed systems. *Scientific reports*, 1-18. Doi: 10.1038/s41598-021-97574-zJiali Qiu1, Zhenyao Shen1*, Guoyong Leng2 & GuoyuanWei1
- Quintero, Carvajal y Aldunce. (2012). Adaptación a la variabilidad y el cambio climático: intersecciones con la gestión del riesgo. *Luna Azul*. 34: 257-271. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n34/n34a15.pdf>
- Ramírez, J.G. (2020). Análisis de índices climáticos para la identificación de riesgos agrícolas en municipios de Puebla. (Tesis de pregrado). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México. Reyes Anistro, G. I., Adame Martínez, S., &

- Cadena Vargas, E. (2018). Vulnerabilidad ante la variabilidad climática en los cultivos de maíz *Zea mays*. *Sociedad y ambiente*, (17), 93-113.
- R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Reyes Anistro, G. I., Adame Martínez, S., & Cadena Vargas, E. (2018). Vulnerabilidad ante la variabilidad climática en los cultivos de maíz *Zea mays*. *Sociedad y ambiente*, (17), 93-113.
- Rivas, D. (2018). El clima, caracteres, causas, clasificación, fenómenos y alteraciones climáticas. (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Educación, Lima, Perú.
- Robles J. (2009). Cultivo de tuna. Recuperado de <http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/MANUAL%20TECNICO%20DE%20TUNA.pdf>
- Ruiz L. (2012). El nopal: propiedades y paquete tecnológico para su producción. Recuperado de http://www.elquiglobalenergy.com/datos/El_Nopal_propiedades_y_paquete_tecnologico_para_su_produccion.pdf
- Sánchez Vargas, A., Gay García, C., y Estrada Porrua, F. (2011). Cambio climático y pobreza en el Distrito Federal. *Investigación económica*, 70(278), 45-74.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2016). Tipos de cultivo, estacionalidad y ciclos. Recuperado de <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/tipos-de-cultivo-estacionalidad-y-ciclos>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2021). Inicia temporada de tuna mexicana. Recuperado de <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/inicia-temporada-de-tuna-mexicana?idiom=es#:~:text=La%20temporada%20de%20cosecha%20de,hace%200en%20modalidad%20de%20temporal>.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2012). México: el sector agropecuario ante el desafío del cambio climático. Recuperado de:

<https://www.agricultura.gob.mx/sites/default/files/sagarpa/document/2019/01/28/1608/01022019-cambio-climatico.pdf>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2018). En la agricultura, los sistemas de riego son utilizados para un aprovechamiento óptimo del agua. Recuperado de <https://www.gob.mx/siap/articulos/en-la-agricultura-los-sistemas-de-riego-son-utilizados-para-un-aprovechamiento-optimo-del-agua?idiom=es>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2019). Aptitud agroclimática del frijol en México ciclo agrícola primavera verano. Recuperado de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/448930/Reporte_de_Aptitud_agroclim_tica_de_M_xico_del_frijol_PV_2019.pdf

Skinner, E. (2011). Género y cambio climático Informe general. Recuperado de: https://opendocs.ids.ac.uk/opendocs/bitstream/handle/20.500.12413/16878/Overview%20Report%20_CC.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Sosa-Rodríguez, F. S. (2015). Política del cambio climático en México: avances, obstáculos y retos. *Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 6(2), 8.

Toscana, A. A., y Günther, M. G. (2021). La sequía de 2019 en localidades cañeras del norte de Oaxaca. Vulnerabilidad, prevención, adaptación y mitigación. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*. <https://dx.doi.org/10.24836/es.v31i57.1076>

Ugarte, C. (2017). Clima y Productividad. Estación Experimental Agroforestal Esquel, 107-112. Recuperado de https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_eeaf_esquel_clima_y_productividad.pdf

Valdivia C. C. y Rodríguez C. M. (2015). Características físicas y químicas en suelos de cultivo de las regiones de Acatzingo y Tochimilco, Puebla, para determinar su fertilidad (Bachelor's thesis, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla).

Valeriano Reynaga, G. (2020). Efectos del cambio climático de la gestión de los recursos hídricos.

Wagner, C. (2005). *Agroclimatology Encyclopedia of World Climatology*. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht. 14-16. doi:10.1007/1-4020-3266-8_5

Zamora Martínez, M. C. (2015). Cambio climático. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 6(31), 04-07

Zamora, M.C. (2015). Cambio climático. Recuperado de:
<https://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v6n31/v6n31a1.pdf>

Zhang, X., Yang, F., y Santos, J. L. (2004). RClimDex (1.0). Manual del usuario. *Climate Research Branch Environment Canada. Versión en español: Santos, JL CIIFEN.*

ANEXOS

Anexo 1: Mapas de riesgos y peligros regionales por fenómenos naturales y antrópicos del estado de Puebla.

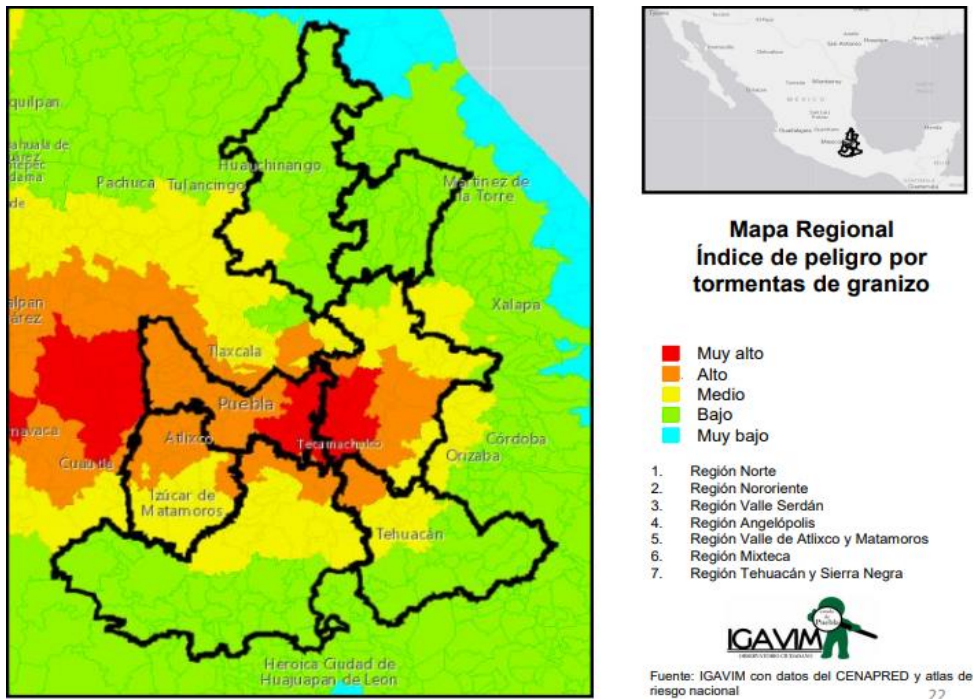
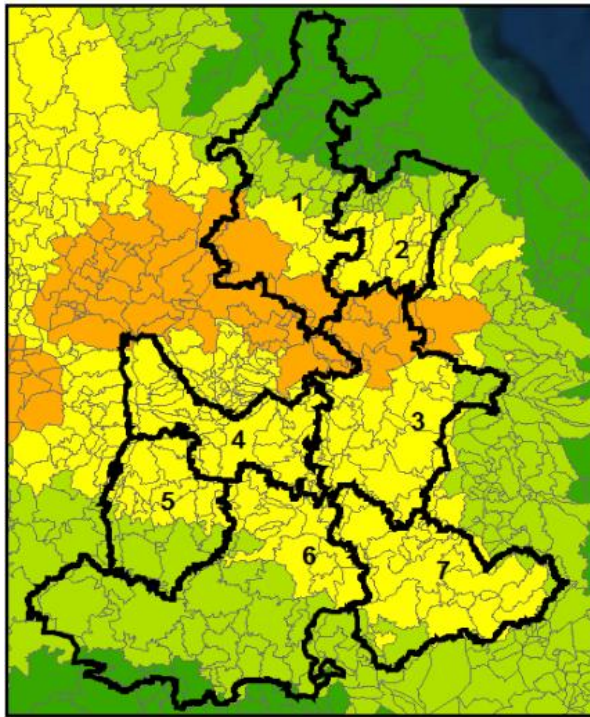


Figura A1.1. Mapa Regional Índice de peligro por tormentas de granizo

Fuente: Instituto para la Gestión, Administración y Vinculación Municipal, (IGAVIM), 2020.



**Mapa Regional
Heladas**

Índice de días con heladas por municipio

- Muy bajo
- Bajo
- Medio
- Alto

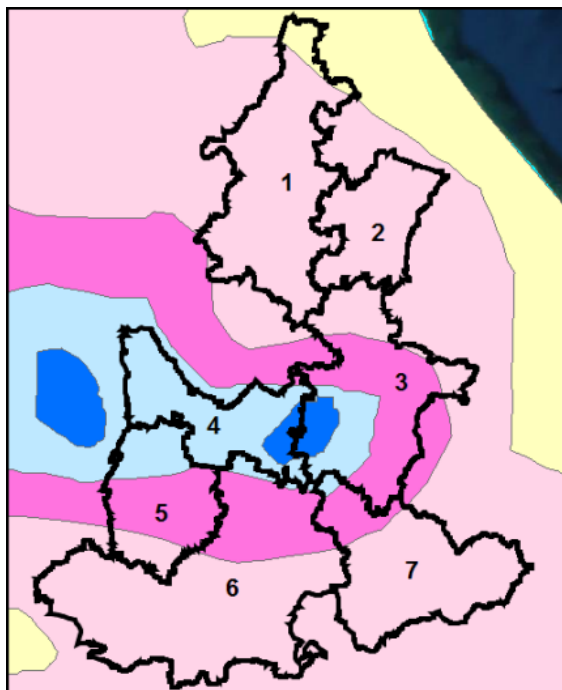
1. Región Norte
2. Región Nororient
3. Región Valle Serdán
4. Región Angelópolis
5. Región Valle de Atlixco y Matamoros
6. Región Mixteca
7. Región Tehuacán y Sierra Negra



Fuente: IGAVIM con datos del CENAPRED y atlas de riesgo nacional 7.4

Figura A1.2. Mapa Regional, Numero de días con granizo.

Fuente: Instituto para la Gestión, Administración y Vinculación Municipal, (IGAVIM), 2020.



**Mapa Regional
Número de días con granizo,
al año**

- 0 - 1
- 1 - 2
- 2 - 5
- > 5
- Sin Gran

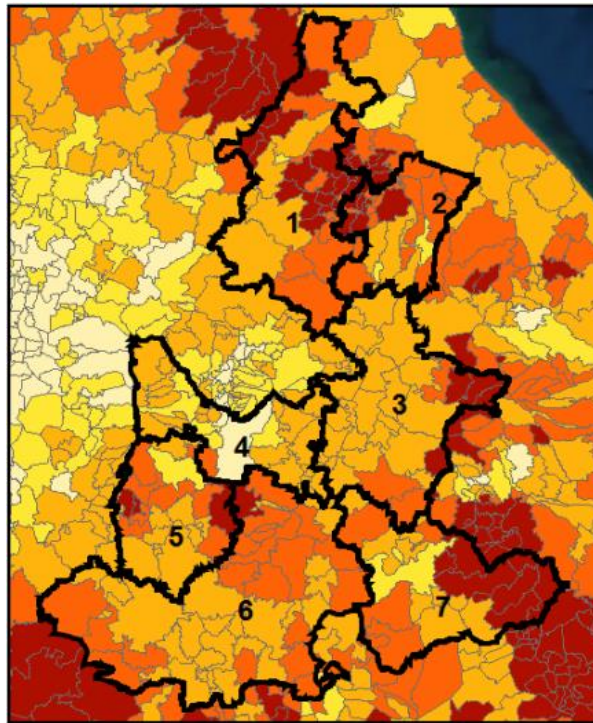
1. Región Norte
2. Región Nororient
3. Región Valle Serdán
4. Región Angelópolis
5. Región Valle de Atlixco y Matamoros
6. Región Mixteca
7. Región Tehuacán y Sierra Negra



Fuente: IGAVIM con datos del CENAPRED y atlas de riesgo nacional 2.3

Figura A1.3. Mapa Regional, Heladas.

Fuente: Instituto para la Gestión, Administración y Vinculación Municipal, (IGAVIM), 2020.



**Mapa Regional
Índice de marginación**
(CONAPO, 2015)

- Muy alto
- Alto
- Medio
- Bajo
- Muy bajo

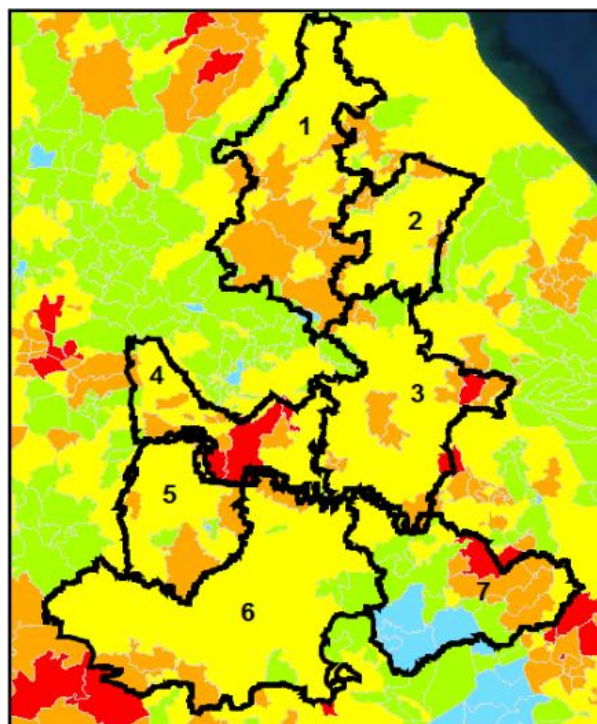
1. Región Norte
2. Región Nororiental
3. Región Valle Serdán
4. Región Angelópolis
5. Región Valle de Atlixco y Matamoros
6. Región Mixteca
7. Región Tehuacán y Sierra Negra



Fuente: IGAVIM con datos del CENAPRED y atlas de riesgo nacional 58

Figura A1.4. Mapa Regional, Sequía.

Fuente: Instituto para la Gestión, Administración y Vinculación Municipal, (IGAVIM), 2020.



**Mapa Regional
Sequía**

Grado de vulnerabilidad por sequía
(CONAGUA, 2015)

- Muy alto
- Alto
- Medio
- Bajo
- Muy bajo

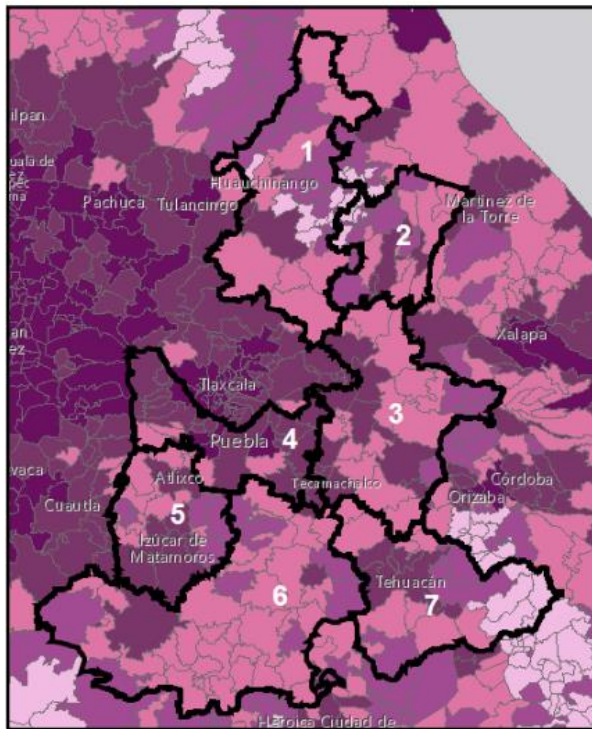
1. Región Norte
2. Región Nororiental
3. Región Valle Serdán
4. Región Angelópolis
5. Región Valle de Atlixco y Matamoros
6. Región Mixteca
7. Región Tehuacán y Sierra Negra



Fuente: IGAVIM con datos del CENAPRED y atlas de riesgo nacional 35

Figura A1.5. Mapa Regional, Índice de marginación.

Fuente: Instituto para la Gestión, Administración y Vinculación Municipal, (IGAVIM), 2020.



**Mapa Regional
Índice de resiliencia**
(CENAPRED, 2015)

- Muy alto
- Alto
- Medio
- Bajo
- Muy bajo

1. Región Norte
2. Región Nororiental
3. Región Valle Serdán
4. Región Angelópolis
5. Región Valle de Atlixco y Matamoros
6. Región Mixteca
7. Región Tehuacán y Sierra Negra

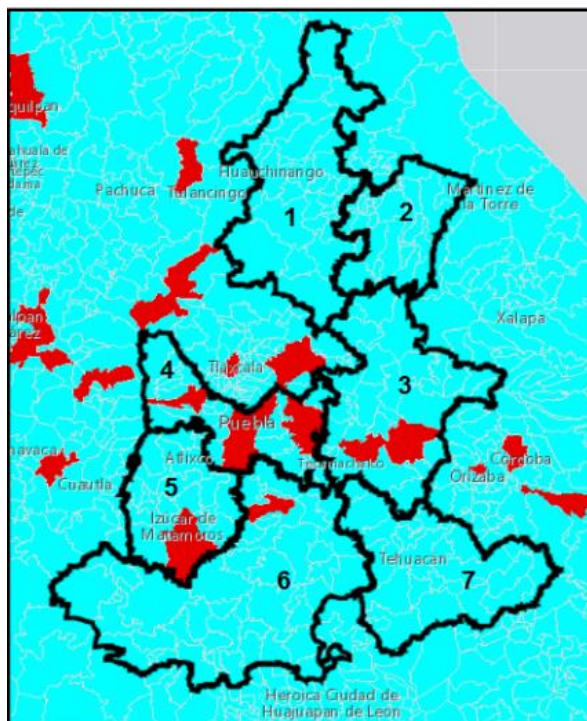


Fuente: IGAVIM con datos del CENAPRED y atlas de riesgo nacional

59

Figura A1.6. Mapa Regional, Índice de resiliencia.

Fuente: Instituto para la Gestión, Administración y Vinculación Municipal, (IGAVIM), 2020.



**Mapa Regional
Presencia de tornados**
(2000-2008 y 2015-2018)

- Con tornado

1. Región Norte
2. Región Nororiental
3. Región Valle Serdán
4. Región Angelópolis
5. Región Valle de Atlixco y Matamoros
6. Región Mixteca
7. Región Tehuacán y Sierra Negra



Fuente: IGAVIM con datos del CENAPRED y atlas de riesgo nacional

24

Figura A1.7. Mapa Regional, Presencia de tormentas.

Fuente: Instituto para la Gestión, Administración y Vinculación Municipal, (IGAVIM), 2020.

Anexo 2: Producción Agrícola en los municipios de Acatzingo, Chalchicomula de Sesma, Tzicatlacoyan y Xochitlan Todos Santos de 2003 a 2020

| Año | Acatzingo | Chalchicomula de Sesma | Tzicatlacoyan | Xochitlan Todos Santos |
|--------------|---------------------|------------------------|-------------------|------------------------|
| | Producción (Ton) | Producción (Ton) | Producción (Ton) | Producción (Ton) |
| 2003 | 44,464.90 | 50,384.00 | 845.73 | 208 |
| 2004 | 45,918.09 | 31,132.80 | 1,786.00 | 131 |
| 2005 | 45,346.48 | 39,763.00 | 1,666.00 | 1,013.50 |
| 2006 | 50,274.15 | 63,172.00 | 1,665.25 | 784.5 |
| 2007 | 48,323.60 | 49,274.05 | 1,665.25 | 1,322.25 |
| 2008 | 51,121.50 | 53,484.00 | 19,830.40 | 1,116.75 |
| 2009 | 42,628.60 | 13,466.54 | 18,141.00 | 331.57 |
| 2010 | 87,340.28 | 45,491.79 | 16,929.25 | 771.73 |
| 2011 | 61,016.70 | 14,618.87 | 24,568.76 | 1,812.45 |
| 2012 | 81,602.60 | 53,885.50 | 21,776.13 | 1,926.60 |
| 2013 | 81,402.00 | 43,697.10 | 21,129.17 | 1,545.24 |
| 2014 | 95,466.70 | 39,775.96 | 21,293.70 | 1,641.00 |
| 2015 | 88,109.25 | 43,007.48 | 15,582.26 | 186.9 |
| 2016 | 101,570.48 | 52,044.38 | 15,166.05 | 2,233.88 |
| 2017 | 104,401.55 | 41,115.18 | 15,921.09 | 2,068.31 |
| 2018 | 110,840.02 | 40,461.80 | 15,276.29 | 2,060.68 |
| 2019 | 108,392.59 | 42,314.73 | 11,322.65 | 1,482.53 |
| 2020 | 112,708.26 | 56,315.92 | 10,131.32 | 1,530.49 |
| TOTAL | 1,360,927.75 | 773,405.10 | 234,696.30 | 22,167.38 |

Tabla A2. 1. Producción agrícola anual de los municipios Acatzingo, Chalchicomula de Sesma, Tzicatlacoyan y Xochitlan Todos Santos.

Fuente: SIACÓN-NG, s.f.

| Acatzingo | | | | | | | |
|--------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------------------|---|
| Año | Superficie sembrada (Ha) | Superficie cosechada (Ha) | Superficie siniestrada (Ha) | Producción (Ton) | Rendimiento obtenido (Ton/Ha) | Precio medio rural (\$/Ton) | Valor de la producción (Miles de pesos) |
| 2003 | 6,986.00 | 5,126.00 | 1,860.00 | 44,464.90 | 8.67 | 2,253.69 | 100,210.13 |
| 2004 | 7,045.00 | 7,045.00 | 0 | 45,918.09 | 6.52 | 2,276.34 | 104,524.99 |
| 2005 | 7,223.00 | 6,337.00 | 841 | 45,346.48 | 7.16 | 2,109.77 | 95,670.76 |
| 2006 | 7,238.00 | 7,206.00 | 20 | 50,274.15 | 6.98 | 2,152.75 | 108,227.80 |
| 2007 | 7,241.00 | 7,241.00 | 0 | 48,323.60 | 6.67 | 2,143.38 | 103,575.63 |
| 2008 | 7,722.00 | 7,722.00 | 0 | 51,121.50 | 6.62 | 3,672.92 | 187,765.24 |
| 2009 | 7,704.00 | 2,685.00 | 5,019.00 | 42,628.60 | 15.88 | 2,620.15 | 111,693.30 |
| 2010 | 9,599.00 | 9,454.00 | 145 | 87,340.28 | 9.24 | 2,621.80 | 228,988.78 |
| 2011 | 9,157.00 | 6,987.00 | 2,170.00 | 61,016.70 | 8.73 | 2,859.69 | 174,489.14 |
| 2012 | 9,170.00 | 9,165.00 | 5 | 81,602.60 | 8.9 | 3,294.31 | 268,824.61 |
| 2013 | 8,447.00 | 8,296.00 | 151 | 81,402.00 | 9.81 | 3,526.24 | 287,042.73 |
| 2014 | 10,602.00 | 10,602.00 | 0 | 95,466.70 | 9 | 3,147.44 | 300,475.51 |
| 2015 | 8,467.23 | 8,457.23 | 10 | 88,109.25 | 10.42 | 3,745.61 | 330,023.16 |
| 2016 | 8,488.00 | 8,388.00 | 0 | 101,570.48 | 12.11 | 4,104.37 | 416,882.82 |
| 2017 | 8,427.00 | 8,427.00 | 0 | 104,401.55 | 12.39 | 3,600.64 | 375,912.66 |
| 2018 | 8,054.00 | 7,754.00 | 300 | 110,840.02 | 14.29 | 3,003.92 | 332,955.10 |
| 2019 | 8,635.97 | 8,102.97 | 533 | 108,392.59 | 13.38 | 3,819.67 | 414,023.95 |
| 2020 | 8,040.00 | 8,040.00 | 0 | 112,708.26 | 14.02 | 4,716.24 | 531,559.26 |
| TOTAL | 148,246.20 | 137,035.20 | 11,054.00 | 1,360,927.75 | 0 | 0 | 4,472,845.57 |

Tabla A2. 2. Producción agrícola anual del municipio de Acatzingo.

Fuente: SIACÓN-NG, s.f.

| Tzicatlacoyan | | | | | | | |
|----------------------|---------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|--|
| Año | Superficie sembrada (Ha) | Superficie cosechada (Ha) | Superficie siniestrada (Ha) | Producción (Ton) | Rendimiento obtenido (Ton/Ha) | Precio medio rural (\$/Ton) | Valor de la producción (Miles de pesos) |
| 2003 | 3,500.00 | 1,691.45 | 1,808.55 | 845.73 | 0.5 | 1,743.40 | 1,474.45 |
| 2004 | 3,415.00 | 3,415.00 | 0 | 1,786.00 | 0.52 | 1,945.58 | 3,474.80 |
| 2005 | 3,315.00 | 3,315.00 | 0 | 1,666.00 | 0.5 | 1,184.15 | 1,972.80 |
| 2006 | 3,315.00 | 3,315.00 | 0 | 1,665.25 | 0.5 | 1,376.49 | 2,292.20 |
| 2007 | 3,315.00 | 3,315.00 | 0 | 1,665.25 | 0.5 | 2,916.00 | 4,855.88 |
| 2008 | 3,535.00 | 3,535.00 | 0 | 19,830.40 | 5.61 | 1,341.49 | 26,602.26 |
| 2009 | 3,550.00 | 200 | 3,350.00 | 18,141.00 | 90.71 | 1,201.12 | 21,789.60 |
| 2010 | 3,525.00 | 3,525.00 | 0 | 16,929.25 | 4.8 | 1,497.77 | 25,356.15 |
| 2011 | 3,556.00 | 3,556.00 | 0 | 24,568.76 | 6.91 | 1,986.77 | 48,812.50 |
| 2012 | 3,542.50 | 3,542.50 | 0 | 21,776.13 | 6.15 | 1,890.19 | 41,161.11 |
| 2013 | 3,526.30 | 3,526.30 | 0 | 21,129.17 | 5.99 | 1,807.16 | 38,183.83 |
| 2014 | 3,505.00 | 3,505.00 | 0 | 21,293.70 | 6.08 | 1,636.65 | 34,850.37 |
| 2015 | 785.68 | 785.68 | 0 | 15,582.26 | 19.83 | 1,347.81 | 21,001.95 |
| 2016 | 988.5 | 988.5 | 0 | 15,166.05 | 15.34 | 1,572.16 | 23,843.50 |
| 2017 | 1,194.00 | 1,194.00 | 0 | 15,921.09 | 13.33 | 2,042.06 | 32,511.87 |
| 2018 | 2,414.00 | 2,404.00 | 0 | 15,276.29 | 6.35 | 2,463.29 | 37,629.91 |
| 2019 | 895.56 | 893.56 | 0 | 11,322.65 | 12.67 | 2,435.68 | 27,578.37 |
| 2020 | 1,057.00 | 1,054.00 | 0 | 10,131.32 | 9.61 | 2,706.09 | 27,416.26 |
| TOTAL | 48,934.54 | 43,760.99 | 5,158.55 | 234,696.30 | 0 | 0 | 420,807.82 |

Tabla A2. 3. Producción agrícola anual del municipio de Tzicatlacoyan.

Fuente: SIACÓN-NG, s.f.

Anexo 3: RClimDex

Los datos con los que se trabajaron fueron tomados de la Información de Estaciones Climatológicas de Conagua (<https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>). Se busca la estación con la que se trabajara ya sea en el mapa o en la ventanilla de búsqueda, posteriormente se selecciona Climatología diaria de la estación seleccionada donde se visualiza la base de datos climatológica y en ella se encuentra la clave, nombre, estado, municipio, situación, organismo, latitud, longitud, altitud de la estación.

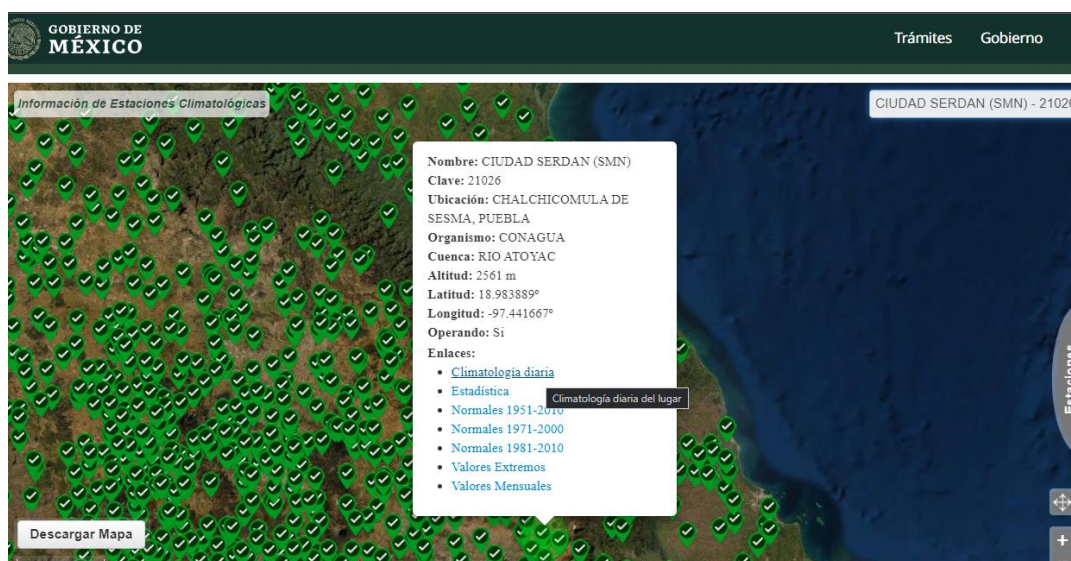


Figura A3.1. Ejemplo de la vista del mapa de Información de Estaciones Climatológicas de Conagua.

Para la preparación de la base de datos a trabajar se realizó de la siguiente manera:

1. se da clic derecho sobre la página y se selecciona guardar como>se elige la carpeta donde se desee guardar (se guarda como un archivo de texto) y se nombra>guardar.

CNA-SMN-CG-GMC-SMAA-CLIMATOLOGIA
 BASE DE DATOS CLIMATOLOGICA
 DATOS DISPONIBLES EN LA BASE DE DATOS A MARZO 2020;CON LA INFORMACION SUMINISTRADA POR LAS OFICINAS REGIONALES

ESTACION : 21026
 NOMBRE : CIUDAD SERDAN (SMN)
 ESTADO : PUEBLA
 MUNICIPIO : CHALCHICOMULA DE SESMA
 SITUACION : OPERANDO
 ORGANISMO : CONAGUA-SMN
 CVE-OMH : Nu1o
 LATITUD : 018.984
 LONGITUD : -997.442
 ALTITUD : 2,561 msnm
 EMISION : 06/04/2020

| FECHA | PRECIPI (MM) | EVAP (MM) | TMAX (°C) | THIN (°C) |
|------------|--------------|-----------|-----------|-----------|
| 01/02/1941 | 0 | Nu1o | 29 | 4 |
| 02/02/1941 | 0 | Nu1o | 30.5 | 4.5 |
| 03/02/1941 | 0 | Nu1o | 32 | 5 |
| 04/02/1941 | 0 | Nu1o | 28 | 5.5 |
| 05/02/1941 | 0 | Nu1o | 30 | 4.5 |
| 06/02/1941 | 0 | Nu1o | 31.5 | 5 |
| 07/02/1941 | 0 | Nu1o | 32 | 5 |
| 08/02/1941 | 0 | Nu1o | 29 | 5.5 |
| 09/02/1941 | 0 | Nu1o | 30 | 4.5 |
| 10/02/1941 | 0 | Nu1o | 32 | 5 |
| 11/02/1941 | 0 | Nu1o | 30.5 | 6 |
| 12/02/1941 | 0 | Nu1o | 30 | 5.5 |
| 13/02/1941 | 0 | Nu1o | 29 | 6 |
| 14/02/1941 | 0 | Nu1o | 30.5 | 5 |
| 15/02/1941 | 0 | Nu1o | 32.5 | 5 |
| 16/02/1941 | 0 | Nu1o | 31 | 6 |
| 17/02/1941 | 0 | Nu1o | 31.5 | 5 |
| 18/02/1941 | 0 | Nu1o | 32 | 6 |

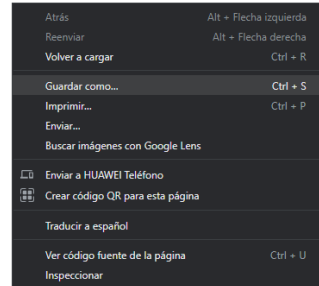


Figura A3.2. Vista de la base de datos climatológica.

2. Abrir documento de Excel>archivo>abrir>seleccionar la opción Archivos de texto (*.prn;*.txt;*.csv)>seleccionar el archivo>Abrir.

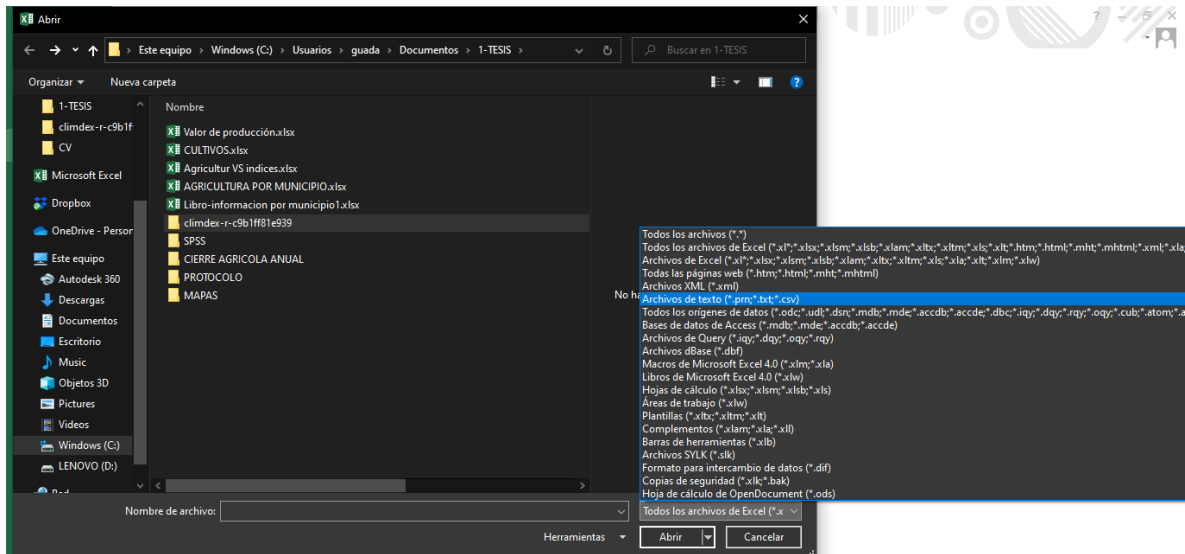


Figura A3.3. Formato en que se abre la base de texto descargada: Archivo de texto (*.prn; .txt;*.csv).

3. Se observa una ventana de Asistente para importar texto>En el apartado de Tipo de los datos originales seleccionar Delimitados>Siguiente> en el apartado de Separadores seleccionar Espacio y Otro>En la casilla otro se coloca />Siguiente>Finalizar.

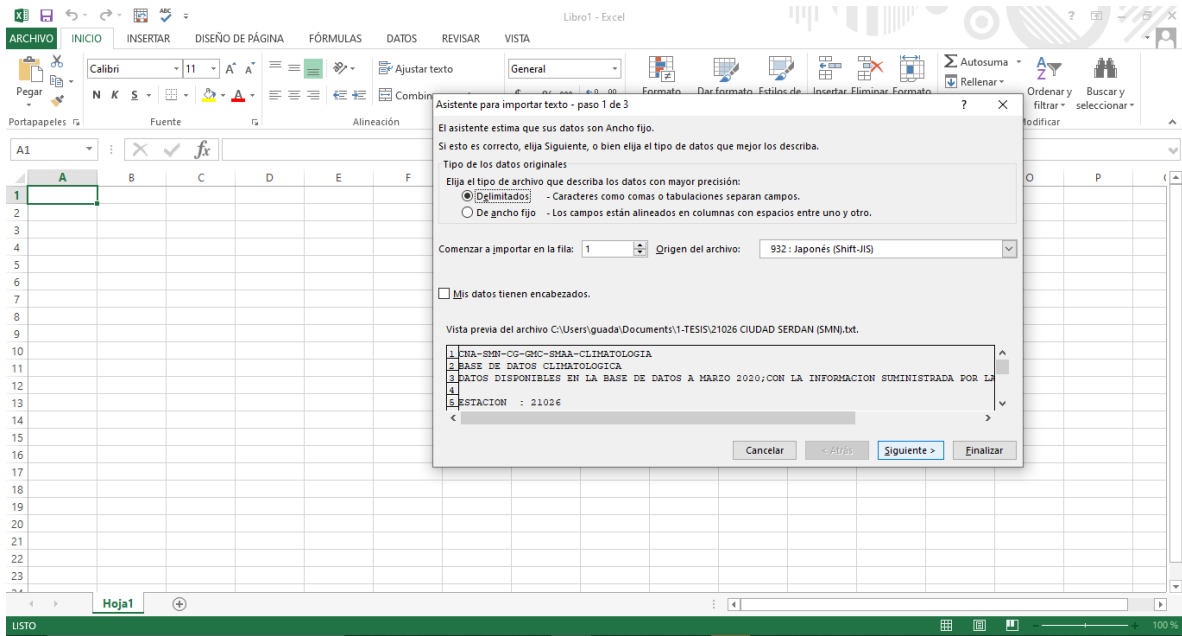


Figura A3.4. Asistente para importar texto-paso 1.

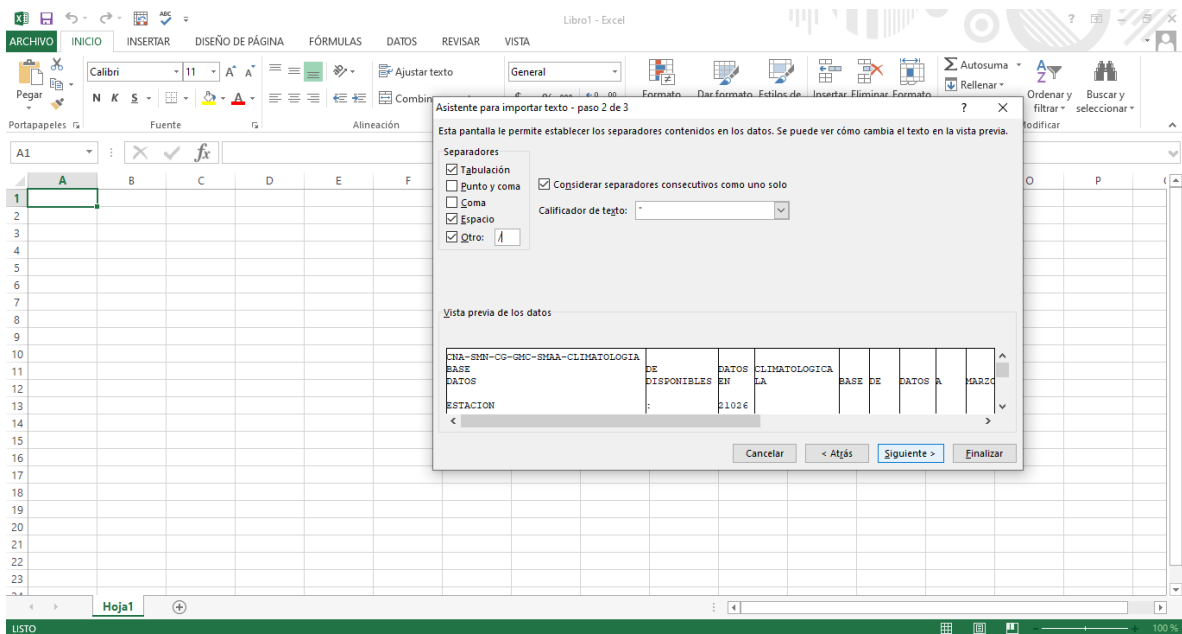


Figura A3.5. Asistente para importar texto-paso 2.

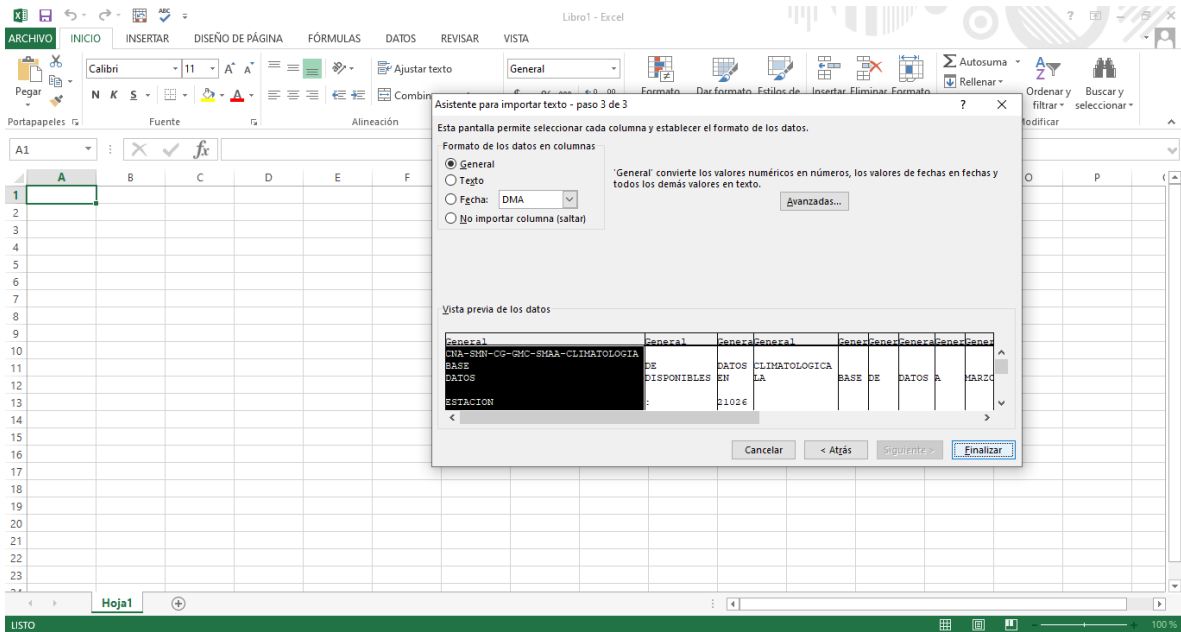


Figura A3.6. Asistente para importar texto-paso 3.

4. Seleccionar y eliminar las filas de datos de la estación y los nombres de las columnas con la información.

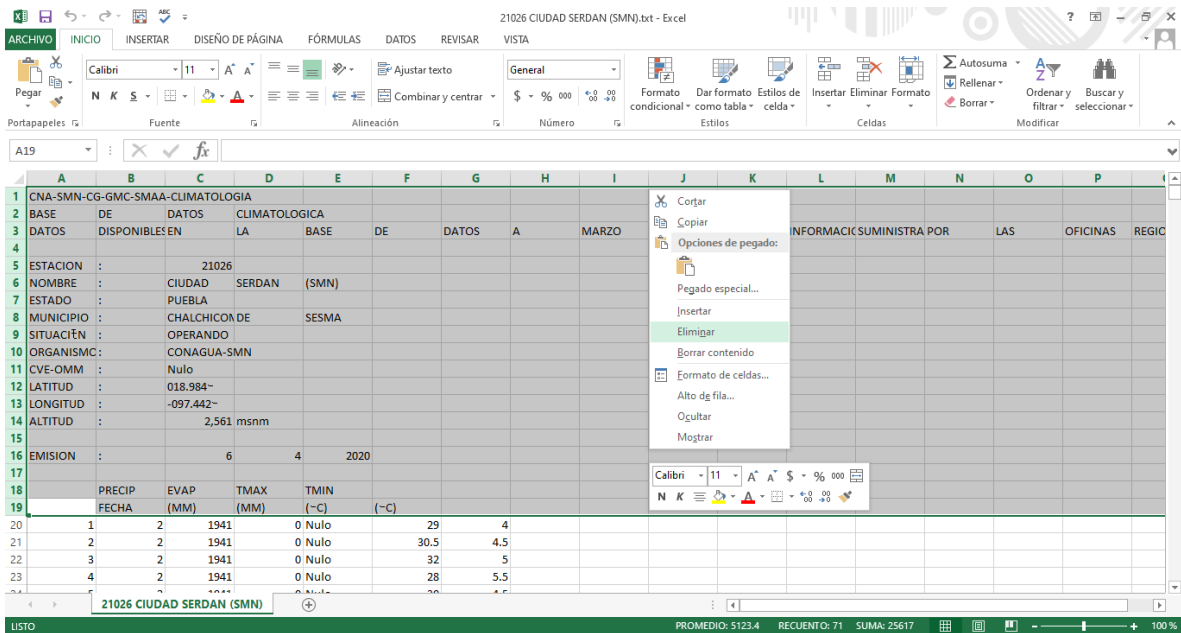


Figura A3.7. Información que se elimina de la base de datos.

5. Ordenar los datos. RClimDex, trabaja con datos año, mes, día, precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima, en ese orden.

* Al descargar la base de datos, la información se encuentra en el orden día, mes, año, precipitación, evaporación, temperatura máxima y temperatura mínima.

* Eliminar la columna de evaporación (columna E).

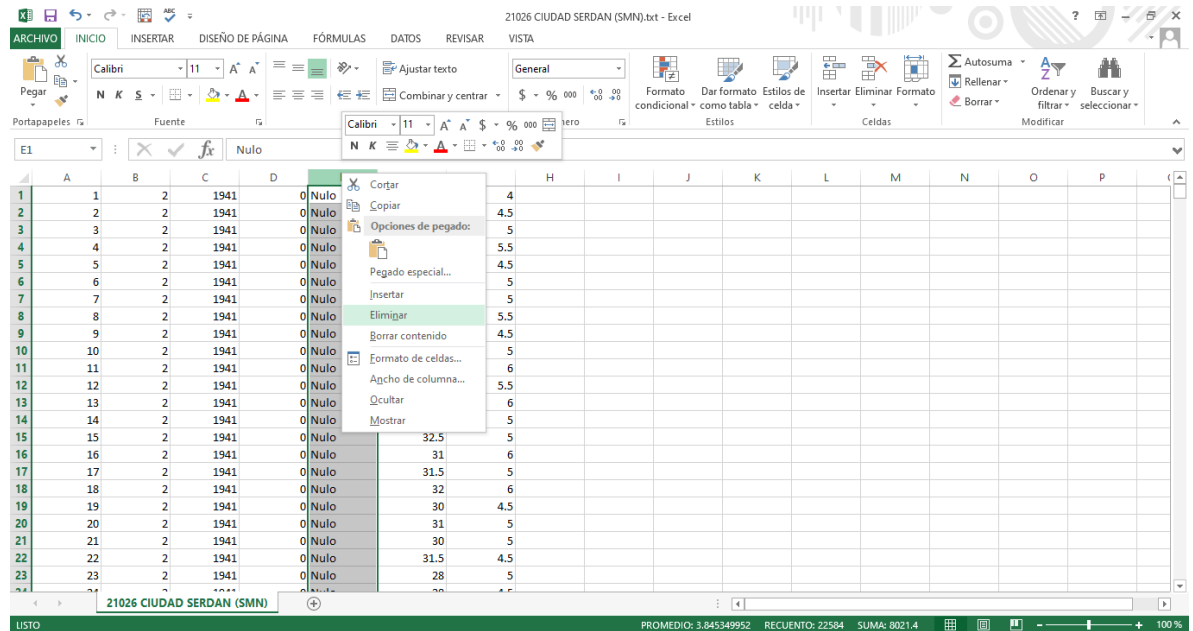


Figura A3.8. Se elimina la columna de evaporación.

*Acomodar datos:

Seleccionar columna año (columna C)> clic derecho>cortar>ir a columna A>clic derecho>insertar celdas cortadas.

Seleccionar columna C>clic derecho>cortar>ir a columna B>clic derecho>insertar celdas cortadas.

6. Eliminar “Nulo” de la base de datos: Seleccionar de la barra de herramientas Buscar y seleccionar>reemplazar>Opciones >> En la casilla Buscar: se escribe “Nulo”>En la casilla Reemplazar con: se escribe “-99.9”>seleccionar en Coincidir mayúsculas con minúsculas>Seleccionar en Coincidir con el contenido de toda la celda>Seleccionar Reemplazar todos>Clic en Aceptar en la ventana que indica el número de reemplazos>cerrar.

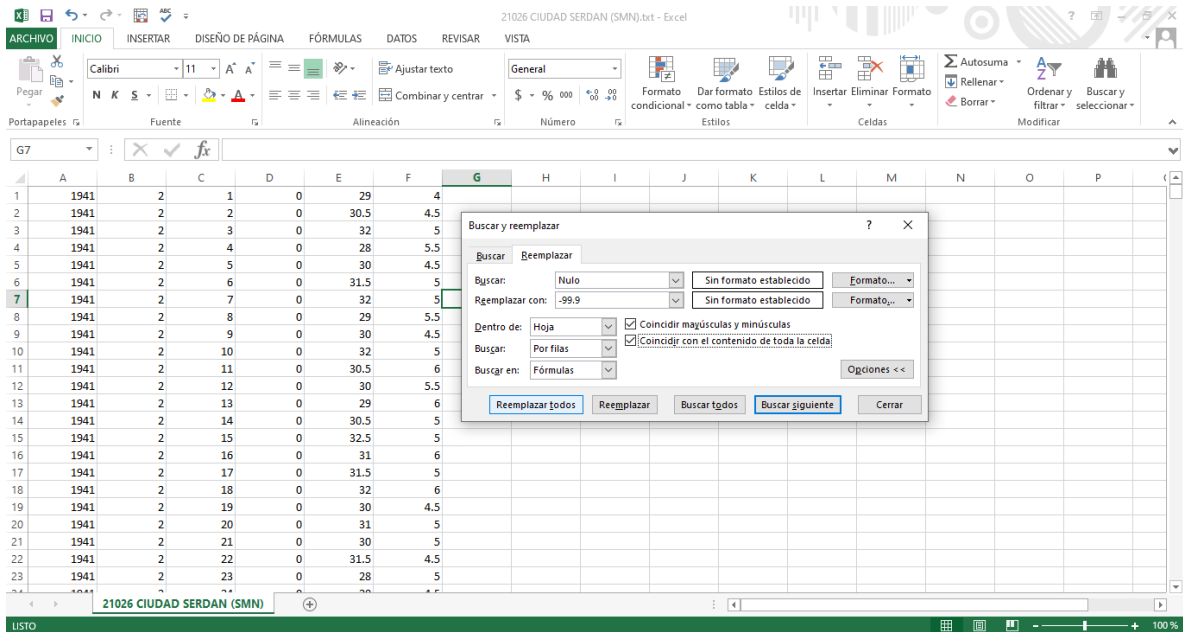


Figura A3.9. Paso de buscar Nulo y reemplazar por -99.9.

7. Desplazarse al final de los datos y eliminar los guiones (-).

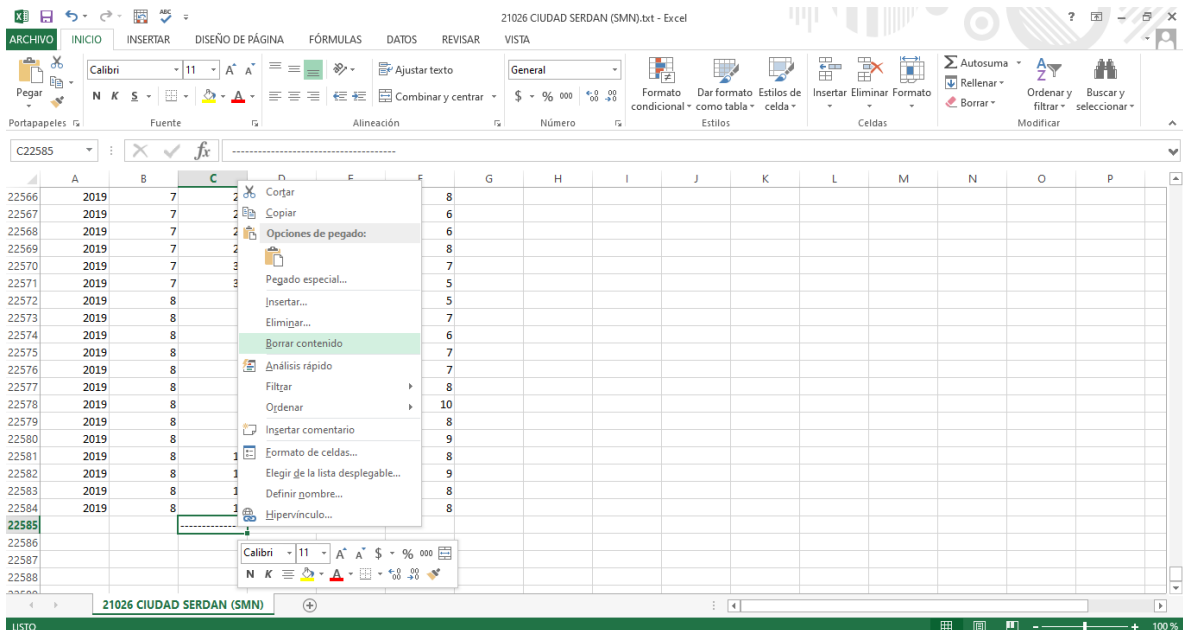


Figura A3.10. Se eliminan los guiones ubicados al final de los datos.

8. Para guardar los cambios. Archivo>Guardar como>Nombrar>Guardar.

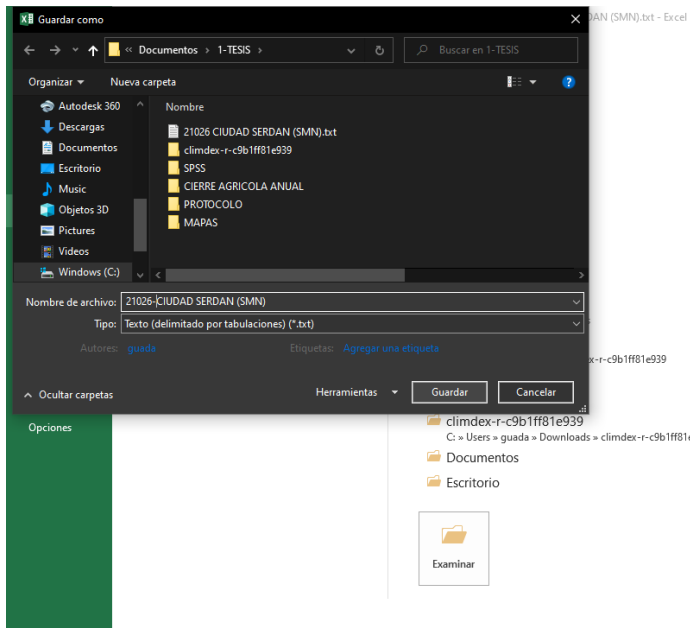


Figura A3.11. Guardar cambios realizados en la base de datos.

Cargar software RClimDex

1. Al abrir el programa se observa la consola R.

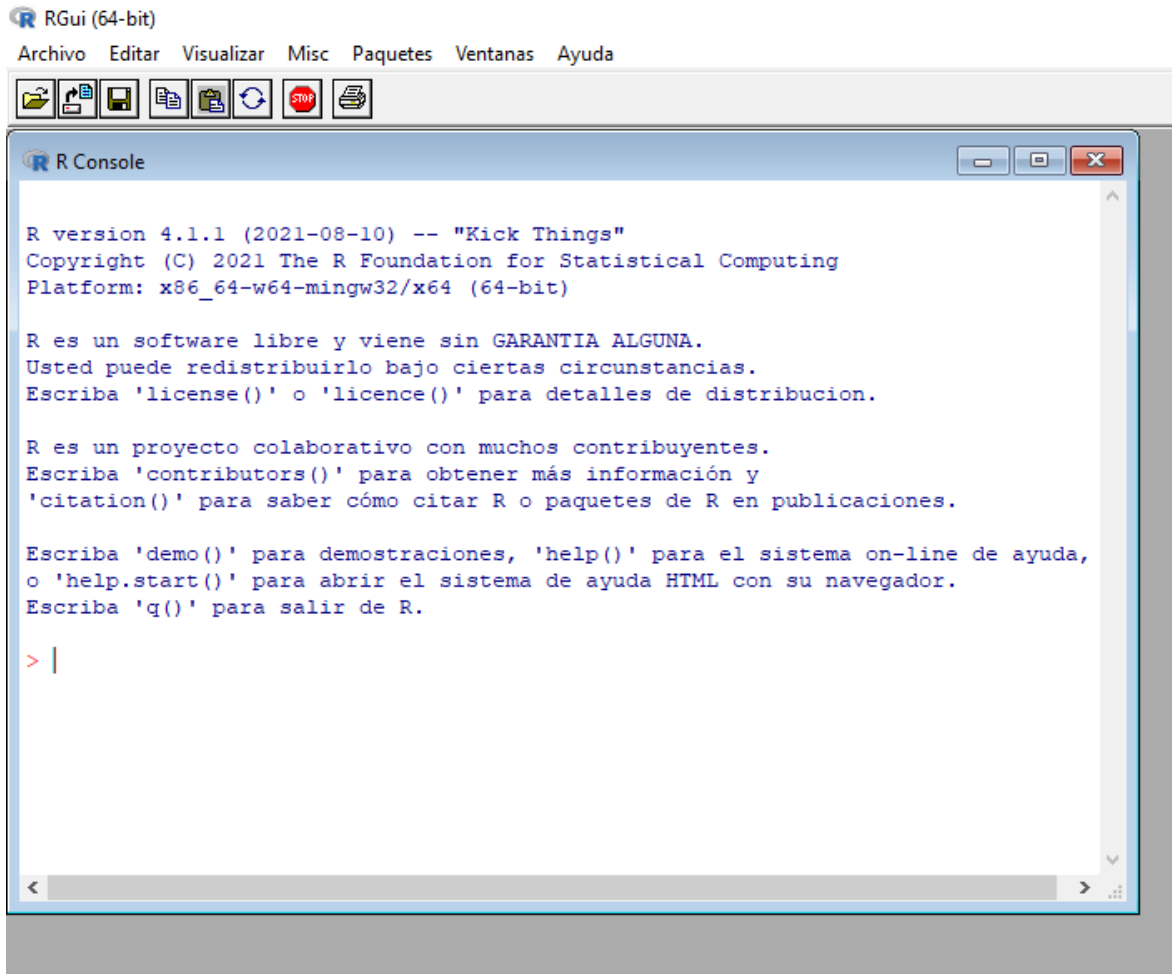


Figura A3.12. Vista de la consola del software R.

2. Der clic en Archivo>Interpretar código fuente R>seleccionar rclimdex.r>Abrir

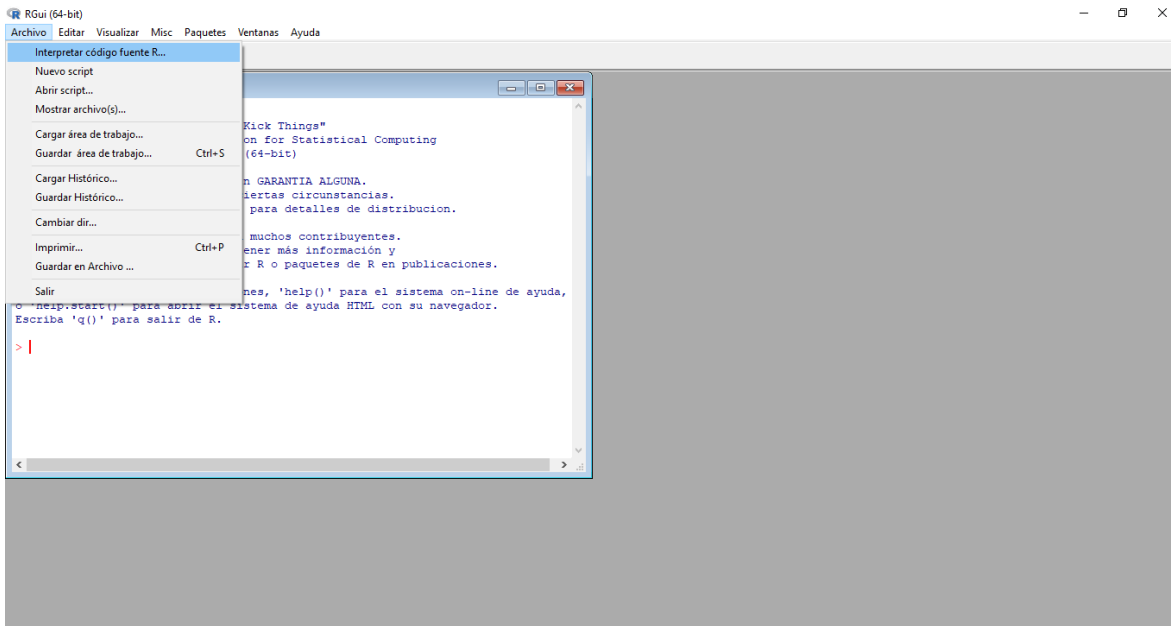


Figura A3.13. Seleccionar “interpretar código fuente R”.

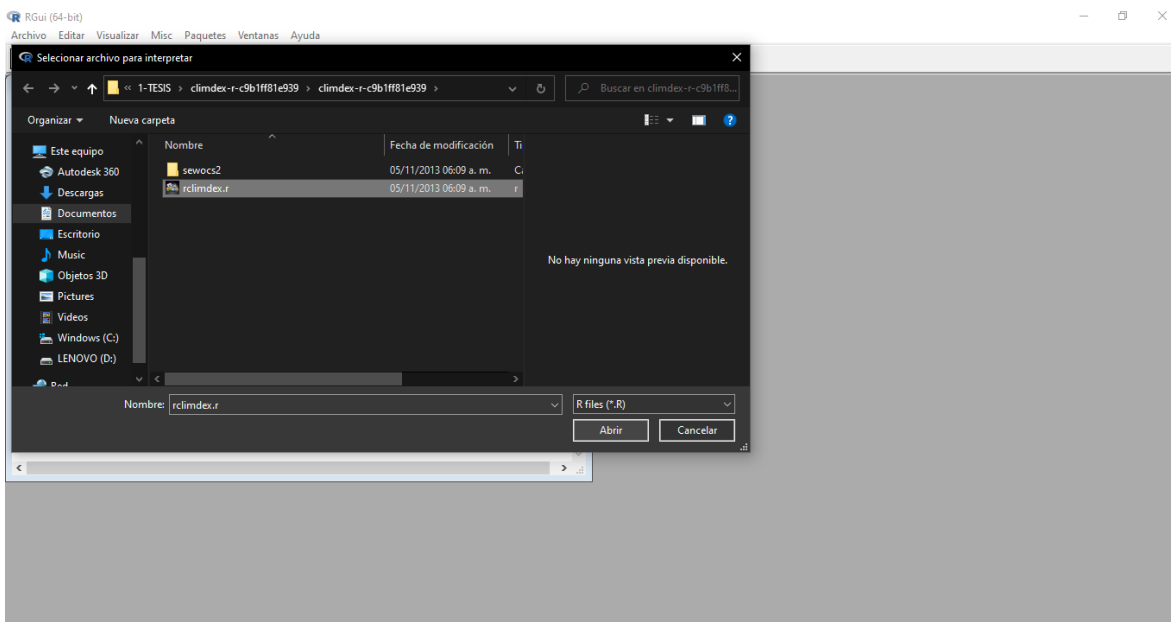


Figura A3.14. Elegir el complemento de R “rclimdex.r”

El código RClimDex es cargado en el ambiente R y se visualiza la siguiente ventana.

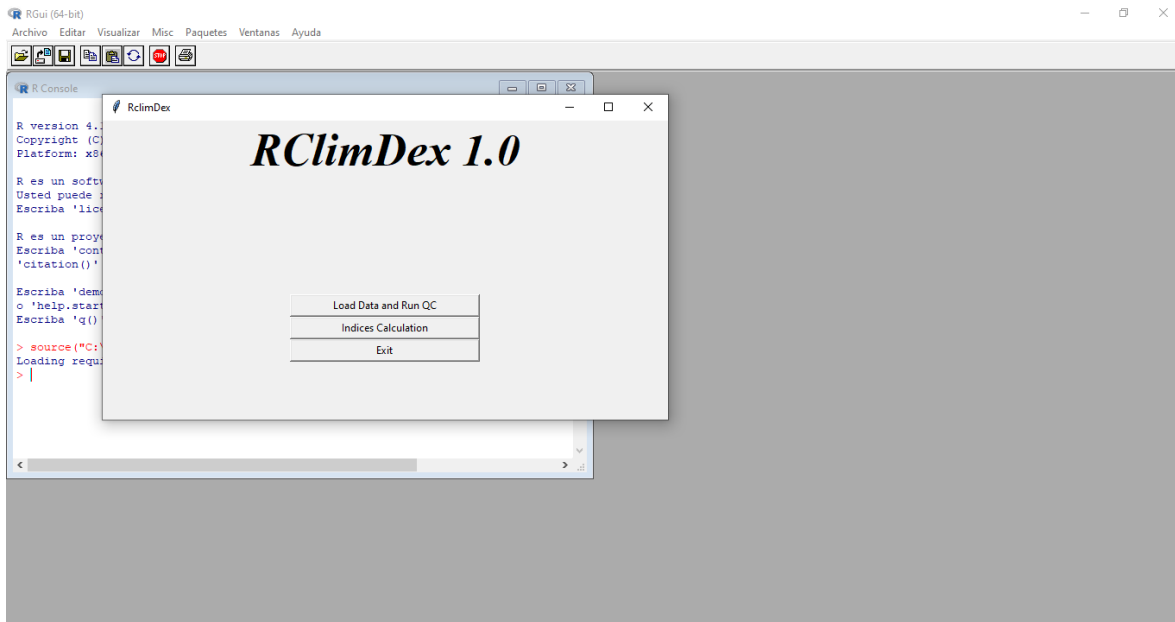


Figura A3.15. Vista del ambiente RclimDex.

Cargar archivo

1. Se selecciona la opción Cargar datos y ejecutar QC>se abre una ventana para seleccionar el archivo con la base de datos>seleccionar el archivo preparado anteriormente>Abrir.

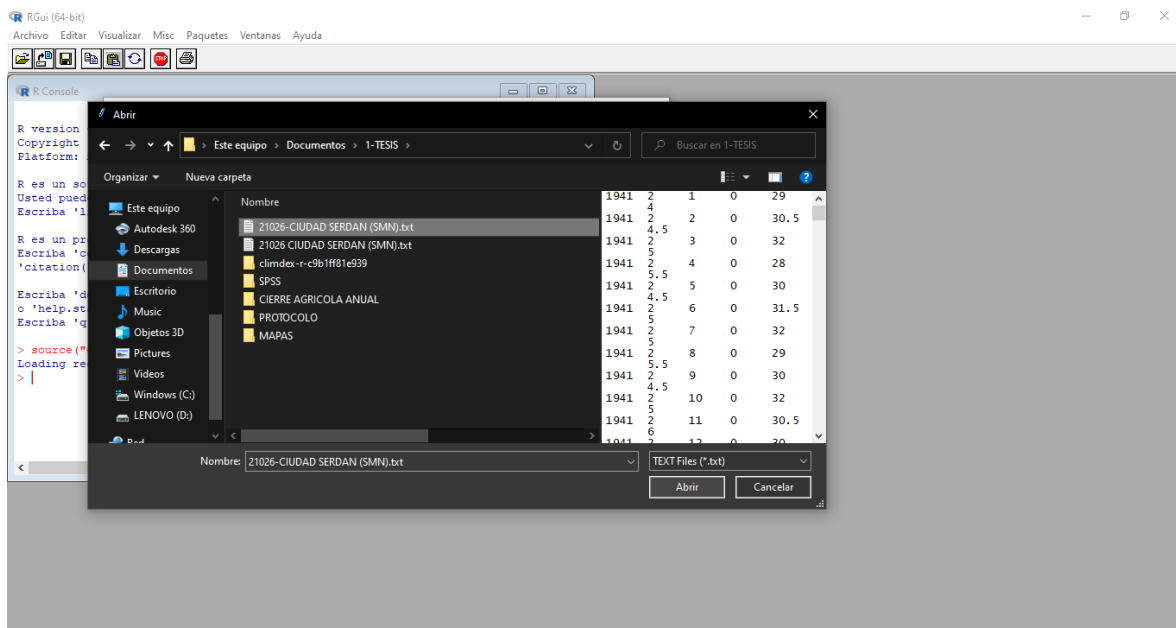


Figura A3.16. Selección del archivo para cargar datos en el software.

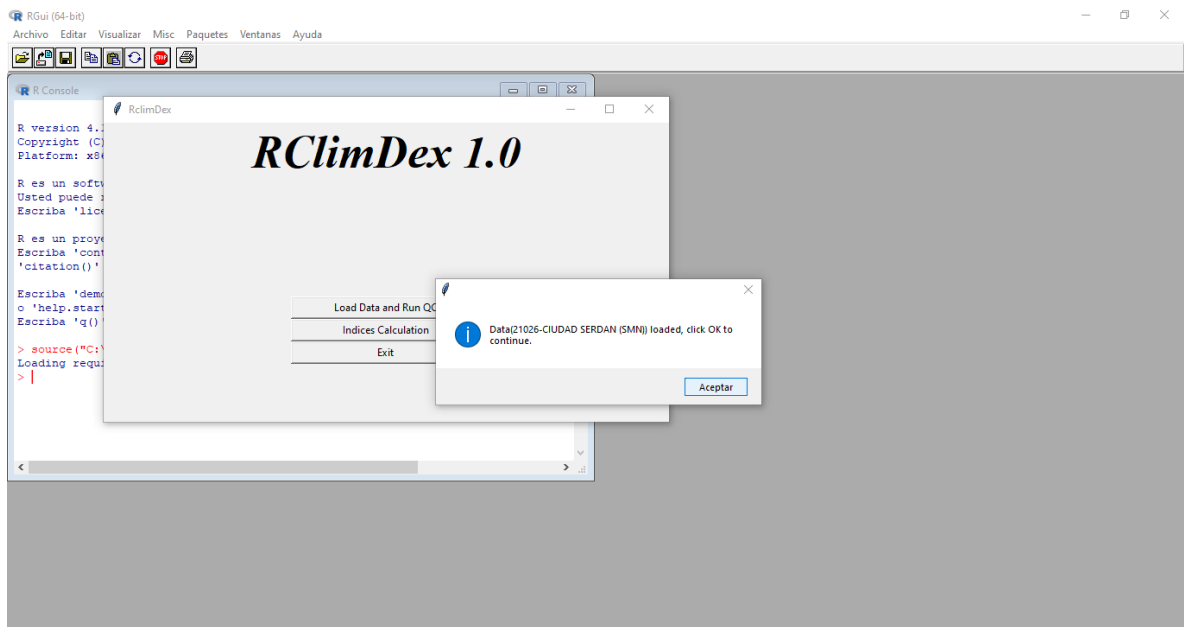


Figura A3.17. Seleccionar aceptar.

Control de calidad de datos

Se visualiza una ventana para establecer parámetros para el control de calidad

2. Se escribe el código de la estación con la que se está trabajando. (Figura A3.18)
3. En Criterios (número de desviación estándar) dejamos por default $n > 3$ ok.
4. Se visualiza una ventana que este proceso puede tardar unos minutos, hacer click en Aceptar para continuar.
5. Se visualiza una ventana que dice que si se han verificado los datos dar click en Aceptar.

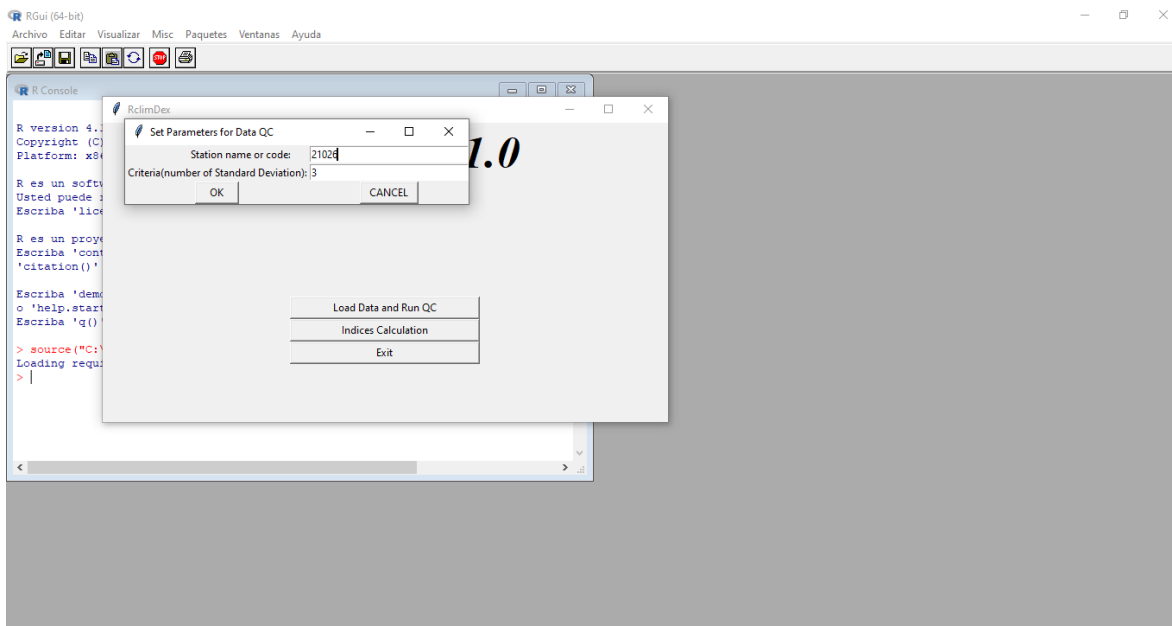


Figura A3.18. Ingresar el código de la estación a trabajar.

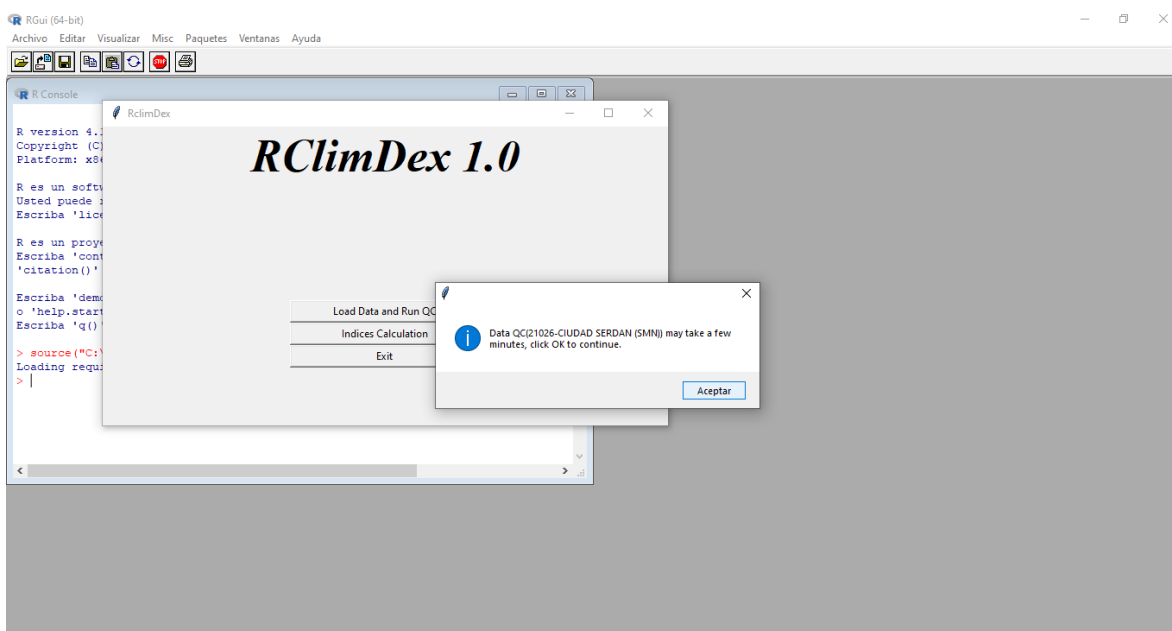


Figura A3.19. El proceso puede tardar unos minutos, seleccionar aceptar.

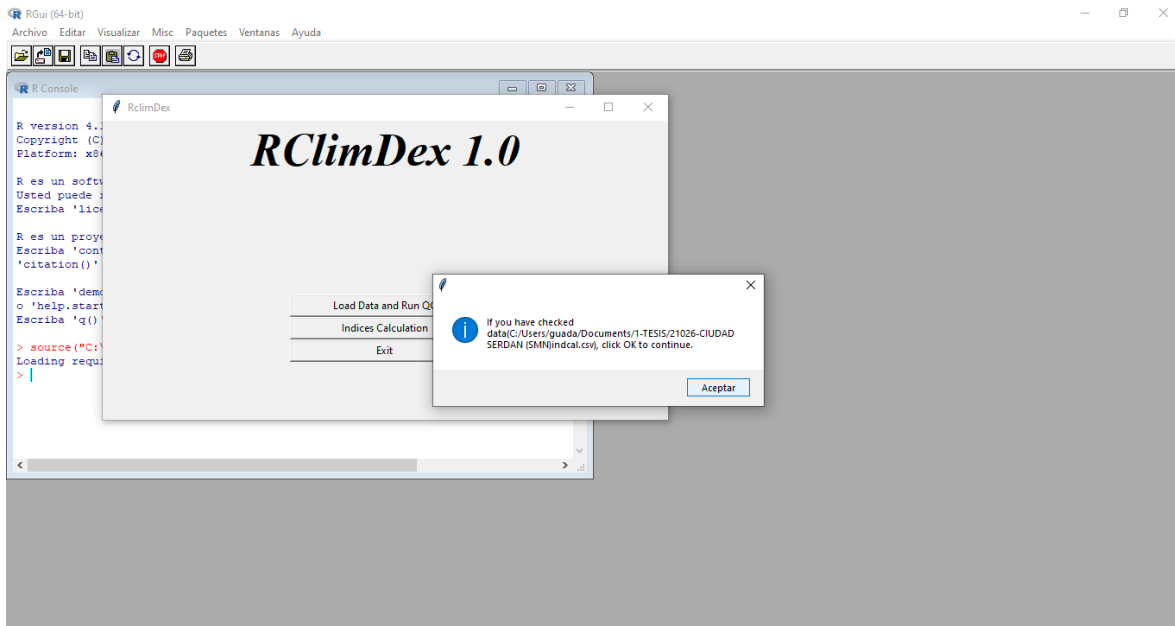


Figura A3.20. Seleccionar Aceptar si se verificaron los datos.

De acuerdo al manual, se generan cuatro archivos en una subcarpeta con el nombre “log”

Los primeros dos archivos contienen información sobre valores no razonables para temperatura y precipitación. El tercer archivo marca todos los valores extremos posibles en temperatura diaria junto con las fechas en que aquellos valores ocurrieron. El último archivo contiene los datos una vez hecho el control de calidad y que serán usados para el cálculo de los índices... Para una fácil visualización, 4 archivos PDF que contienen gráficos de las series de tiempo (valores faltantes graficados como puntos rojos) de precipitación diaria, y temperaturas diarias máximas y mínimas también son guardados en log. (Zhang Y Yang, p.9, 2004)

Calculo de índices climáticos

1. De la ventana de RclimDex dar click en Calculo de índices>Se visualiza una ventana para establecer valores de parámetros, los cuales son definidos por el usuario, los parámetros para el cálculo de los índices son los siguientes:
 - Período base del primer año (Se deberá poner un año después del indicado en la base de datos, es decir, si los datos inician en 1941 se coloca 1942 en la casilla).

- Último año del período base (Se deberá colocar un año antes del indicado en la base de datos, es decir, si los datos terminan en 2019 se coloca 2018 en la casilla).
- Latitud de esta ubicación de la estación.
- Longitud de esta ubicación de la estación.
- Umbral superior definido por el usuario de la temperatura máxima diaria
- Umbral inferior definido por el usuario de la temperatura máxima diaria
- Umbral superior definido por el usuario de la temperatura mínima diaria
- Umbral inferior definido por el usuario de la temperatura mínima diaria
- Umbral de precipitación diaria definido por el usuario

Los parámetros de los umbrales los dejamos como indica el programa por default. Una vez completado dar click en ok.

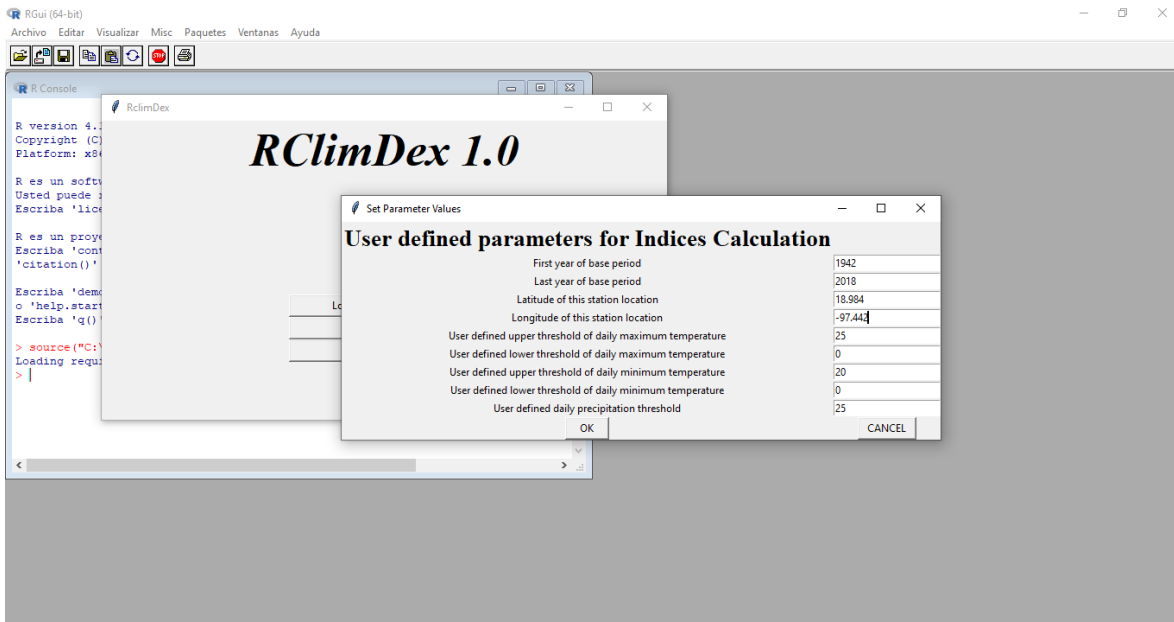


Figura A3.21. Definir parámetros de los umbrales.

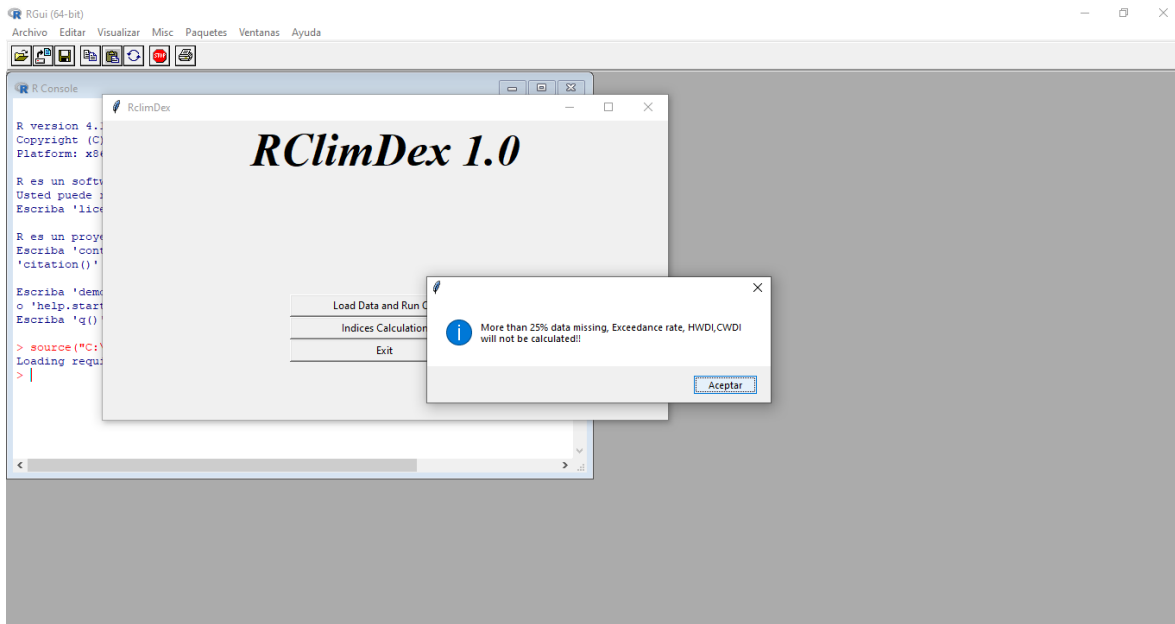


Figura A3.22. Dar clic en Aceptar.

2. Se observara una ventana para el cálculo de índices climáticos donde se verifica los índices que se desean calcular. Por default todos los índices están seleccionados así que se desmarca los índices que no se necesiten >ok.

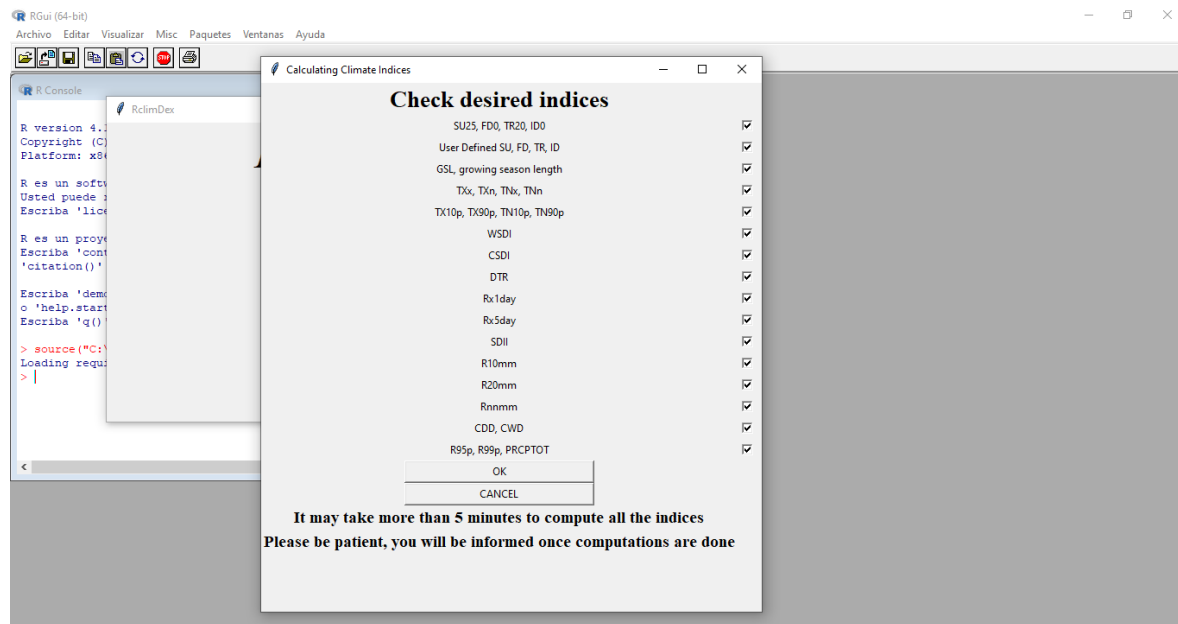


Figura A3.23. Seleccionar los índices a calcular.

Los índices que se calcularon son los siguientes:

- FD0 Días de heladas
- SU25 Días de verano
- R10 Número de días con precipitación intensa
- CDD Días secos consecutivos
- CWD Días húmedos consecutivos
- PRCPTOT Precipitación total anual en los días húmedos

Cuando el cálculo de los índices se ha completado se observa una ventana indicando la ubicación de las gráficas generadas en formato .jpg (se genera una carpeta con el nombre "Plots")>ok

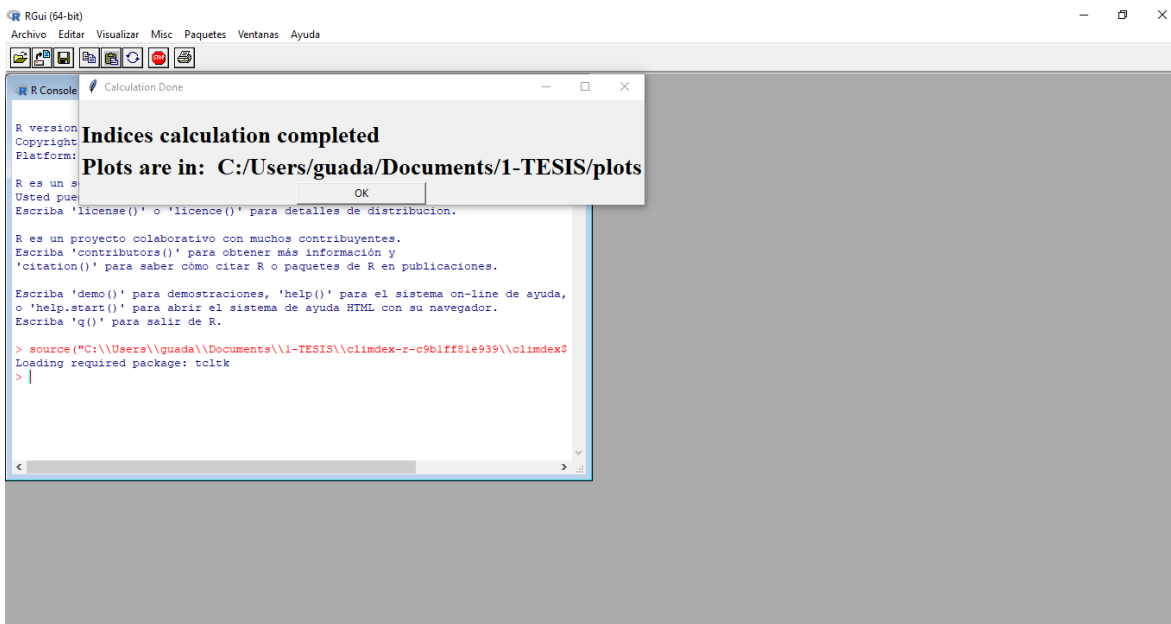


Figura A3.24.Ubicacion de las graficas generadas.

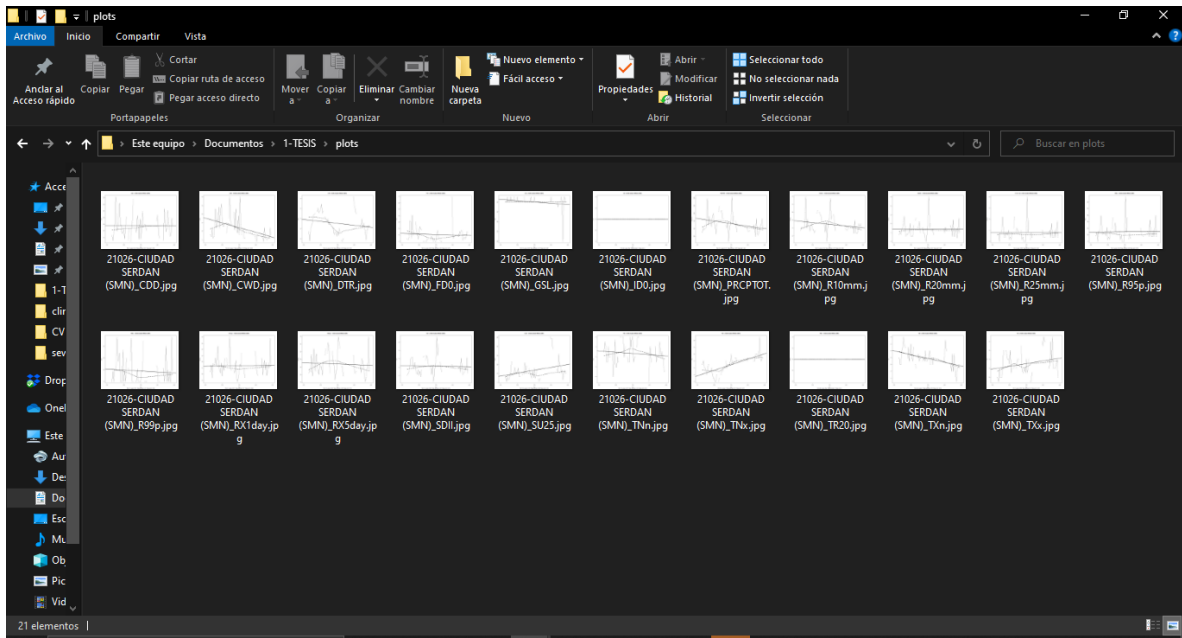


Figura A3.25. Graficas de índices generados en formato .jpg

Anexo 4: Información de cultivos

Los principales cultivos en los municipios de Actzingo y Tzicatlacoyan de 2003 a 2020, se muestran en la siguiente tabla:

| Acatzingo | | Tzicatlacoyan | |
|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Cultivo | Producción (Ton) | Cultivo | Producción (Ton) |
| Avena forrajera en verde | 1,696.00 | Agave | 192,624.67 |
| Calabaza semilla o chihua | 410.33 | Calabaza semilla o chihua | 51.68 |
| Cebada grano | 108 | Frijol | 878.03 |
| Durazno | 1,763.83 | Maíz grano | 38,350.70 |
| Frijol | 9,018.63 | Pera | 706 |
| Haba grano | 838.74 | Trigo grano | 2,085.22 |
| Maíz grano | 69,446.19 | | |
| Nopalitos | 122,631.17 | | |
| Trigo grano | 1,733.49 | | |
| Tuna | 1,153,281.37 | | |
| TOTAL | 1,360,927.75 | TOTAL | 234,696.30 |

Tabla A4.1. Producción de los cultivos de los municipios de Acatzingo y Tzicatlacoyan de 2003 a 2020

Fuente: SIACÓN-NG, s.f.

A continuación, se muestra información de los principales cultivos del municipio de Acatzingo.

| Tuna (nopal fruta) | | | | | | | |
|--------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------|---------------------------------|-----------------------------|---|
| Año | Superficie sembrada (Ha) | Superficie cosechada (Ha) | Superficie siniestrada (Ha) | Producción (Ton) | Rendimiento o obtenido (Ton/Ha) | Precio medio rural (\$/Ton) | Valor de la producción (Miles de pesos) |
| 2003 | 2,120.00 | 2,120.00 | 0 | 38,160.00 | 18 | 2,200.00 | 83,952.00 |
| 2004 | 2,150.00 | 2,150.00 | 0 | 38,700.00 | 18 | 2,083.72 | 80,639.96 |
| 2005 | 2,180.00 | 2,150.00 | 0 | 38,700.00 | 18 | 2,000.00 | 77,400.00 |
| 2006 | 2,180.00 | 2,180.00 | 0 | 39,240.00 | 18 | 1,896.51 | 74,419.05 |
| 2007 | 2,180.00 | 2,180.00 | 0 | 39,240.00 | 18 | 2,000.00 | 78,480.00 |
| 2008 | 2,190.00 | 2,190.00 | 0 | 39,420.00 | 18 | 3,684.94 | 145,260.33 |
| 2009 | 2,205.00 | 2,205.00 | 0 | 37,485.00 | 17 | 2,500.00 | 93,712.50 |
| 2010 | 4,150.00 | 4,150.00 | 0 | 72,002.50 | 17.35 | 2,490.00 | 179,286.23 |
| 2011 | 4,150.00 | 4,150.00 | 0 | 51,750.50 | 12.47 | 2,600.00 | 134,551.30 |
| 2012 | 4,150.00 | 4,150.00 | 0 | 70,550.00 | 17 | 3,403.00 | 240,081.65 |
| 2013 | 4,150.00 | 4,150.00 | 0 | 70,508.50 | 16.99 | 3,742.35 | 263,867.48 |
| 2014 | 4,150.00 | 4,150.00 | 0 | 78,850.00 | 19 | 3,001.60 | 236,676.16 |
| 2015 | 4,150.23 | 4,150.23 | 0 | 72,625.00 | 17.5 | 3,742.86 | 271,825.21 |
| 2016 | 4,160.00 | 4,060.00 | 0 | 85,284.76 | 21.01 | 4,008.62 | 341,874.19 |
| 2017 | 4,200.00 | 4,200.00 | 0 | 88,914.00 | 21.17 | 3,706.09 | 329,523.21 |
| 2018 | 4,245.00 | 4,245.00 | 0 | 97,380.25 | 22.94 | 3,043.28 | 296,355.38 |
| 2019 | 4,328.00 | 4,328.00 | 0 | 95,669.91 | 22.1 | 3,974.72 | 380,261.45 |
| 2020 | 4,344.00 | 4,344.00 | 0 | 98,800.95 | 22.74 | 5,001.75 | 494,177.46 |
| TOTAL | 61,382.23 | 61,252.23 | 0 | 1,153,281.37 | 0 | 0 | 3,802,343.59 |

Tabla A4.2. Información del cultivo de la tuna en Acatzingo.

Fuente: SIACÓN-NG, s.f.

| Nopalitos (nopal verdura) | | | | | | | |
|---------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------------------|---|
| Año | Superficie sembrada (Ha) | Superficie cosechada (Ha) | Superficie siniestrada (Ha) | Producción (Ton) | Rendimiento obtenido (Ton/Ha) | Precio medio rural (\$/Ton) | Valor de la producción (Miles de pesos) |
| 2003 | 45 | 45 | 0 | 3,600.00 | 80 | 3,000.00 | 10,800.00 |
| 2004 | 45 | 45 | 0 | 3,600.00 | 80 | 4,500.00 | 16,200.00 |
| 2005 | 45 | 45 | 0 | 3,600.00 | 80 | 3,200.00 | 11,520.00 |
| 2006 | 45 | 45 | 0 | 3,600.00 | 80 | 3,200.00 | 11,520.00 |
| 2007 | 45 | 45 | 0 | 3,375.00 | 75 | 2,600.00 | 8,775.00 |
| 2008 | 51 | 51 | 0 | 2,040.00 | 40 | 2,000.00 | 4,080.00 |
| 2009 | 70 | 70 | 0 | 4,900.00 | 70 | 3,000.00 | 14,700.00 |
| 2010 | 70 | 70 | 0 | 5,600.00 | 80 | 3,107.14 | 17,399.98 |
| 2011 | 75 | 75 | 0 | 5,775.00 | 77 | 3,000.00 | 17,325.00 |
| 2012 | 80 | 80 | 0 | 6,400.00 | 80 | 825.01 | 5,280.06 |
| 2013 | 100 | 100 | 0 | 7,600.00 | 76 | 800 | 6,080.00 |
| 2014 | 120 | 120 | 0 | 9,360.00 | 78 | 2,557.69 | 23,939.98 |
| 2015 | 120 | 120 | 0 | 10,200.00 | 85 | 3,376.47 | 34,439.99 |
| 2016 | 120 | 120 | 0 | 9,600.00 | 80 | 4,479.75 | 43,005.60 |
| 2017 | 125 | 125 | 0 | 10,327.50 | 82.62 | 1,975.39 | 20,400.84 |
| 2018 | 130 | 130 | 0 | 10,660.00 | 82 | 1,935.30 | 20,630.30 |
| 2019 | 140 | 140 | 0 | 10,883.60 | 77.74 | 2,032.78 | 22,123.96 |
| 2020 | 143 | 143 | 0 | 11,510.07 | 80.49 | 2,108.24 | 24,265.99 |
| TOTAL | 1,569.00 | 1,569.00 | 0 | 122,631.17 | 0 | 0 | 312,486.71 |

Tabla A4.3. Información del cultivo de Nopalitos en Acatzingo.

Fuente: SIACÓN-NG, s.f.

| Maíz grano | | | | | | | |
|------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------------------|---|
| Año | Superficie sembrada (Ha) | Superficie cosechada (Ha) | Superficie siniestrada (Ha) | Producción (Ton) | Rendimiento obtenido (Ton/Ha) | Precio medio rural (\$/Ton) | Valor de la producción (Miles de pesos) |
| 2003 | 3,300.00 | 1,865.00 | 1,435.00 | 1,678.50 | 0.9 | 1,800.00 | 3,021.30 |
| 2004 | 3,380.00 | 3,380.00 | 0 | 2,704.00 | 0.8 | 1,800.00 | 4,867.20 |
| 2005 | 3,488.00 | 2,913.00 | 575 | 2,330.40 | 0.8 | 1,600.00 | 3,728.64 |
| 2006 | 3,502.00 | 3,502.00 | 0 | 5,253.00 | 1.5 | 1,981.38 | 10,408.20 |
| 2007 | 3,503.00 | 3,503.00 | 0 | 4,203.60 | 1.2 | 2,022.26 | 8,500.78 |
| 2008 | 4,350.00 | 4,350.00 | 0 | 8,700.00 | 2 | 3,505.75 | 30,500.03 |
| 2009 | 4,348.00 | 0 | 4,348.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2010 | 4,355.00 | 4,260.00 | 95 | 9,116.40 | 2.14 | 3,000.00 | 27,349.20 |
| 2011 | 3,950.00 | 1,895.00 | 2,055.00 | 2,842.50 | 1.5 | 5,500.00 | 15,633.75 |
| 2012 | 3,950.00 | 3,949.00 | 1 | 3,949.00 | 1 | 4,101.29 | 16,195.99 |
| 2013 | 3,500.00 | 3,350.00 | 150 | 2,680.00 | 0.8 | 3,113.43 | 8,343.99 |
| 2014 | 4,167.00 | 4,167.00 | 0 | 5,000.40 | 1.2 | 3,440.00 | 17,201.38 |
| 2015 | 3,500.00 | 3,500.00 | 0 | 4,550.00 | 1.3 | 3,550.00 | 16,152.50 |
| 2016 | 3,505.00 | 3,505.00 | 0 | 5,958.50 | 1.7 | 3,844.00 | 22,904.47 |
| 2017 | 3,485.00 | 3,485.00 | 0 | 4,600.20 | 1.32 | 3,877.65 | 17,837.97 |
| 2018 | 3,148.00 | 2,948.00 | 200 | 2,505.80 | 0.85 | 4,486.42 | 11,242.07 |
| 2019 | 3,496.67 | 2,963.67 | 533 | 1,363.29 | 0.46 | 4,207.40 | 5,735.91 |
| 2020 | 3,162.00 | 3,162.00 | 0 | 2,010.60 | 0.64 | 4,147.64 | 8,339.24 |
| TOTAL | 66,089.67 | 56,697.67 | 9,392.00 | 69,446.19 | 0 | 0 | 227,962.62 |

Tabla A4.4. Información del cultivo de Maíz grano en Acatzingo.

Fuente: SIACÓN-NG, s.f.

| Frijol | | | | | | | |
|--------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------------------|---|
| Año | Superficie sembrada (Ha) | Superficie cosechada (Ha) | Superficie siniestrada (Ha) | Producción (Ton) | Rendimiento obtenido (Ton/Ha) | Precio medio rural (\$/Ton) | Valor de la producción (Miles de pesos) |
| 2003 | 1,205.00 | 855 | 350 | 334 | 0.39 | 6,000.00 | 2,004.00 |
| 2004 | 1,151.00 | 1,151.00 | 0 | 409.38 | 0.36 | 5,256.48 | 2,151.90 |
| 2005 | 1,187.00 | 967 | 220 | 329.45 | 0.34 | 7,000.00 | 2,306.15 |
| 2006 | 1,185.00 | 1,185.00 | 0 | 1,645.90 | 1.39 | 6,048.33 | 9,954.95 |
| 2007 | 1,187.00 | 1,187.00 | 0 | 939.6 | 0.79 | 6,000.00 | 5,637.60 |
| 2008 | 850 | 850 | 0 | 567.5 | 0.67 | 9,110.13 | 5,170.00 |
| 2009 | 902 | 362 | 540 | 144.8 | 0.4 | 16,441.99 | 2,380.80 |
| 2010 | 898 | 848 | 50 | 336.71 | 0.4 | 8,600.52 | 2,895.88 |
| 2011 | 801 | 686 | 115 | 377.3 | 0.55 | 10,947.23 | 4,130.39 |
| 2012 | 801 | 797 | 4 | 398.5 | 0.5 | 11,149.06 | 4,442.90 |
| 2013 | 400 | 400 | 0 | 250 | 0.63 | 15,400.00 | 3,850.00 |
| 2014 | 1,848.00 | 1,848.00 | 0 | 1,806.80 | 0.98 | 10,096.86 | 18,243.00 |
| 2015 | 405 | 395 | 10 | 294.15 | 0.74 | 10,459.85 | 3,076.77 |
| 2016 | 407 | 407 | 0 | 372.68 | 0.92 | 13,919.26 | 5,187.43 |
| 2017 | 380 | 380 | 0 | 281.5 | 0.74 | 16,570.50 | 4,664.60 |
| 2018 | 322 | 222 | 100 | 82.94 | 0.37 | 15,609.80 | 1,294.65 |
| 2019 | 397.3 | 397.3 | 0 | 211.94 | 0.53 | 11,155.25 | 2,364.24 |
| 2020 | 332 | 332 | 0 | 235.48 | 0.71 | 12,158.61 | 2,863.11 |
| TOTAL | 14,658.30 | 13,269.30 | 1,389.00 | 9,018.63 | 0 | 0 | 82,618.36 |

Tabla A4.5. Información del cultivo de Frijol en Acatzingo.

Fuente: SIACÓN-NG, s.f

A continuación se muestra información de los principales cultivos del municipio de Tzicatlacoyan

| Agave | | | | | | | |
|-------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------|---------------------------------|-----------------------------|---|
| Año | Superficie sembrada (Ha) | Superficie cosechada (Ha) | Superficie siniestrada (Ha) | Producción (Ton) | Rendimiento o obtenido (Ton/Ha) | Precio medio rural (\$/Ton) | Valor de la producción (Miles de pesos) |
| 2008 | 150 | 150 | 0 | 18,000.00 | 120 | 1,200.00 | 21,600.00 |
| 2009 | 150 | 150 | 0 | 18,000.00 | 120 | 1,200.00 | 21,600.00 |
| 2010 | 150 | 150 | 0 | 15,000.00 | 100 | 1,250.00 | 18,750.00 |
| 2011 | 150 | 150 | 0 | 18,000.00 | 120 | 1,200.00 | 21,600.00 |
| 2012 | 150 | 150 | 0 | 18,300.00 | 122 | 1,300.00 | 23,790.00 |
| 2013 | 150 | 150 | 0 | 18,000.00 | 120 | 1,420.00 | 25,560.00 |
| 2014 | 150 | 150 | 0 | 14,400.00 | 96 | 1,022.67 | 14,726.45 |
| 2015 | 147 | 147 | 0 | 14,186.97 | 96.51 | 1,190.58 | 16,890.72 |
| 2016 | 147 | 147 | 0 | 13,377.00 | 91 | 1,353.48 | 18,105.50 |
| 2017 | 146 | 146 | 0 | 13,912.00 | 95.29 | 1,693.05 | 23,553.71 |
| 2018 | 150 | 140 | 0 | 12,999.00 | 92.85 | 2,000.00 | 25,998.00 |
| 2019 | 102 | 100 | 0 | 9,370.00 | 93.7 | 2,107.97 | 19,751.68 |
| 2020 | 101 | 98 | 0 | 9,079.70 | 92.65 | 2,540.87 | 23,070.34 |
| TOTAL | 1,843.00 | 1,828.00 | 0 | 192,624.67 | 0 | 0 | 274,996.40 |

Tabla A4.6. Información del cultivo de Agave en Tzicatlacoyan.

Fuente: SIACÓN-NG, s.f.

| Maíz grano | | | | | | | |
|------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------------------|---|
| Año | Superficie sembrada (Ha) | Superficie cosechada (Ha) | Superficie siniestrada (Ha) | Producción (Ton) | Rendimiento obtenido (Ton/Ha) | Precio medio rural (\$/Ton) | Valor de la producción (Miles de pesos) |
| 2003 | 3,200.00 | 1,500.00 | 1,700.00 | 750 | 0.5 | 1,800.00 | 1,350.00 |
| 2004 | 3,200.00 | 3,200.00 | 0 | 1,600.00 | 0.5 | 2,000.00 | 3,200.00 |
| 2005 | 3,200.00 | 3,200.00 | 0 | 1,600.00 | 0.5 | 1,200.00 | 1,920.00 |
| 2006 | 3,200.00 | 3,200.00 | 0 | 1,600.00 | 0.5 | 1,400.00 | 2,240.00 |
| 2007 | 3,200.00 | 3,200.00 | 0 | 1,600.00 | 0.5 | 3,000.00 | 4,800.00 |
| 2008 | 3,050.00 | 3,050.00 | 0 | 1,525.00 | 0.5 | 3,000.00 | 4,575.00 |
| 2009 | 3,050.00 | 0 | 3,050.00 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2010 | 3,050.00 | 3,050.00 | 0 | 1,631.75 | 0.54 | 3,800.00 | 6,200.65 |
| 2011 | 3,100.00 | 3,100.00 | 0 | 6,200.00 | 2 | 4,300.00 | 26,660.00 |
| 2012 | 3,100.00 | 3,100.00 | 0 | 3,100.00 | 1 | 5,245.29 | 16,260.40 |
| 2013 | 3,100.00 | 3,100.00 | 0 | 2,790.00 | 0.9 | 4,414.19 | 12,315.59 |
| 2014 | 3,102.00 | 3,102.00 | 0 | 6,514.20 | 2.1 | 3,000.00 | 19,542.60 |
| 2015 | 601.68 | 601.68 | 0 | 1,383.86 | 2.3 | 2,955.15 | 4,089.51 |
| 2016 | 804 | 804 | 0 | 1,768.80 | 2.2 | 3,212.35 | 5,682.00 |
| 2017 | 810 | 810 | 0 | 1,741.50 | 2.15 | 3,486.23 | 6,071.27 |
| 2018 | 1,600.00 | 1,600.00 | 0 | 1,649.60 | 1.03 | 3,311.09 | 5,461.97 |
| 2019 | 738.56 | 738.56 | 0 | 1,898.10 | 2.57 | 3,890.00 | 7,383.61 |
| 2020 | 899 | 899 | 0 | 997.89 | 1.11 | 3,903.74 | 3,895.50 |
| TOTAL | 43,005.24 | 38,255.24 | 4,750.00 | 38,350.70 | 0 | 0 | 131,648.11 |

Tabla A4.7. Información del cultivo de Maíz grano en Tzicatlacoyan.

Fuente: SIACÓN-NG, s.f.

| Trigo grano | | | | | | | |
|-------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|------------------|-------------------------------|-----------------------------|---|
| Año | Superficie sembrada (Ha) | Superficie cosechada (Ha) | Superficie siniestrada (Ha) | Producción (Ton) | Rendimiento obtenido (Ton/Ha) | Precio medio rural (\$/Ton) | Valor de la producción (Miles de pesos) |
| 2003 | 300 | 191.45 | 108.55 | 95.73 | 0.5 | 1,300.00 | 124.45 |
| 2004 | 215 | 215 | 0 | 186 | 0.87 | 1,477.42 | 274.8 |
| 2005 | 115 | 115 | 0 | 66 | 0.57 | 800 | 52.8 |
| 2006 | 115 | 115 | 0 | 65.25 | 0.57 | 800 | 52.2 |
| 2007 | 115 | 115 | 0 | 65.25 | 0.57 | 856.32 | 55.88 |
| 2008 | 315 | 315 | 0 | 185.4 | 0.59 | 1,463.11 | 271.26 |
| 2009 | 330 | 30 | 300 | 21 | 0.7 | 1,600.00 | 33.6 |
| 2010 | 305 | 305 | 0 | 187.5 | 0.61 | 1,576.00 | 295.5 |
| 2011 | 286 | 286 | 0 | 248.76 | 0.87 | 1,593.92 | 396.5 |
| 2012 | 272.5 | 272.5 | 0 | 260.13 | 0.95 | 3,665.59 | 953.53 |
| 2013 | 256.3 | 256.3 | 0 | 219.17 | 0.86 | 639.88 | 140.24 |
| 2014 | 253 | 253 | 0 | 379.5 | 1.5 | 1,531.82 | 581.33 |
| 2015 | 37 | 37 | 0 | 11.43 | 0.31 | 1,900.00 | 21.72 |
| 2016 | 37.5 | 37.5 | 0 | 20.25 | 0.54 | 2,765.00 | 55.99 |
| 2017 | 38 | 38 | 0 | 19.59 | 0.52 | 3,047.00 | 59.69 |
| 2018 | 24 | 24 | 0 | 16.21 | 0.68 | 2,200.00 | 35.66 |
| 2019 | 25 | 25 | 0 | 18.25 | 0.73 | 2,399.00 | 43.78 |
| 2020 | 18 | 18 | 0 | 19.8 | 1.1 | 4,250.00 | 84.15 |
| TOTAL | 3,057.30 | 2,648.75 | 408.55 | 2,085.22 | 0 | 0 | 3,533.08 |

Tabla A4.7. Información del cultivo de Trigo grano en Tzicatlacoyan.

Fuente: SIACÓN-NG, s.f.