



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

## **CAMPUS PUEBLA**

POSTGRADO EN ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

**RELACIONES ENTRE ÍNDICES DE LA VARIABILIDAD  
NATURAL/CAMBIO CLIMÁTICO Y EL CULTIVO DE MAÍZ DE  
TEMPORAL (*Zea mays* L.) EN LA MICRO-REGIÓN DE SERDÁN,  
PUEBLA: 1946-2013**

**MARÍA DE LOS ÁNGELES VELASCO HERNÁNDEZ**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE**

**DOCTORA EN CIENCIAS**

**PUEBLA, PUEBLA**

**2015**



## CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, la que suscribe **María de los Ángeles Velasco Hernández** alumna de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta Institución, bajo la dirección del Profesor Consejero **Dr. Néstor Gabriel Estrella Chulim** por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis "**Relaciones entre índices de la variabilidad natural/cambio climático y el cultivo de maíz de temporal (*Zea mays* L.) en la micro-región de Serdán, Puebla: 1946-2013**" y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, el Consejero o Director de Tesis y la que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Puebla, Puebla, 15 de abril de 2015

María de los Ángeles Velasco Hernández

Nombre y firma

Dr. Néstor Gabriel Estrella Chulim

Vo. Bo. Profesor Consejero

Nombre y firma

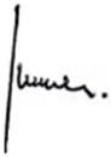
La presente tesis, titulada: **Relaciones entre índices de la variabilidad natural/cambio climático y el cultivo de maíz de temporal (*Zea mays* L.) en la micro-región de Serdán, Puebla: 1946-2013**, realizada por la alumna: **María de los Ángeles Velasco Hernández**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS

ESTRATEGIAS PARA EL DESARROLLO AGRÍCOLA REGIONAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:   
DR. NÉSTOR GABRIEL ESTRELLA CHULIM

DIRECTOR  
DE TESIS:   
DR. TOMÁS MORALES ACOLTZI

ASESOR:   
DR. RAMÓN DÍAZ RUÍZ

ASESOR:   
DR. JOSÉ PEDRO JUÁREZ SÁNCHEZ

ASESORA:   
DRA. MARICELA HERNÁNDEZ VÁZQUEZ

Puebla, Puebla, México, 15 de abril de 2015

# RELACIONES ENTRE ÍNDICES DE LA VARIABILIDAD NATURAL/CAMBIO CLIMÁTICO Y EL CULTIVO DE MAÍZ DE TEMPORAL (*Zea mays* L.) EN LA MICRO-REGIÓN DE SERDÁN, PUEBLA: 1946-2013

María de los Ángeles Velasco Hernández, Dra.  
Colegio de Postgraduados, 2015

El incremento en los eventos extremos del tiempo meteorológico, ha generado consecuencias socioeconómicas adversas al desarrollo regional. Como se plantea en el documento de **Río+20**, la variabilidad natural del clima y el cambio climático (**CC**), no son un problema del ambiente, sino un problema regional, lo cual está vinculado con la sustentabilidad de la región. El objetivo de la presente investigación fue estudiar las relaciones entre índices de variabilidad natural/cambio climático y su relación con el cultivo de maíz de temporal (*Zea mays* L.) en la micro-región de Serdán, Puebla. Se seleccionaron dos municipios al Oriente del estado de Puebla: Chalchicomula de Sesma y Tlachichuca. Se realizó un análisis de las bases de datos de estaciones meteorológicas ubicadas en ambos municipios. La metodología utilizada fue la propuesta por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (**IPCC**), que se basa en el desarrollo de índices climáticos y en la aplicación del software **RClimDex**. Los resultados muestran que la distribución de la lluvia es un índice importante en el rendimiento de la producción en el cultivo del maíz, dependiendo de la etapa fenológica en que se encuentre dicho cultivo, será el grado de afectación traducido en buenos y regulares rendimientos. Existen señales que sugieren la presencia de dos intervalos de variabilidad del clima (1961-1990) y el posible **CC** (1991-a la fecha), existen otros eventos de mayor escala como con **EL NIÑO** y los huracanes, los cuales están relacionados con valores máximos de precipitación. Se encontró que existen relaciones entre el conocimiento empírico y variables climáticas para el cultivo del maíz.

Palabras clave: cambio climático, conocimiento empírico, cultivo de maíz, teleconexión, variabilidad natural.

RELATIONS BETWEEN NATURAL VARIABILITY INDEXES/CLIMATE CHANGE  
AND TEMPORARY CORN CROP (*Zea mays* L.) IN THE MICRO-REGION  
SERDAN, PUEBLA: 1946-2013

María de los Ángeles Velasco Hernández, Dra.  
Colegio de Postgraduados, 2015

The increase in the extreme events of weather has generated regional development adverse socioeconomic consequences. As stated in the document of **Rio + 20**, the natural climate variability and climate change (**CC**), are not problems of the environment, but a regional problem, which is linked to the sustainability of the region. The objective of this research was to study the relationship between indexes of natural climate variability/change and its relation to the cultivation of rain fed maize (*Zea mays* L.) in the micro-region Serdan, Puebla. Chalchicomula de Sesma and Tlachichuca: two municipalities to the east of the state of Puebla were selected. An analysis of the databases of meteorological stations located in both municipalities was conducted. The methodology used was that proposed by the Intergovernmental Panel on Climate Change (**IPCC**), which is based on the development of climate indices and application software **RClimDex**. The results show that the distribution of rainfall is an important production yield in maize cultivation index, depending on the phenological stage of the crop, it is the affecting degree rendered in good and regular yields. There are signs that suggest the presence of two intervals climate variability (1961-1990) and the possible **CC** (1991-present), other larger scale events as **EL NIÑO** and hurricanes, which are related to values maximum precipitation. It was found that there are relationships between empirical knowledge and climate variables for growing corn.

Key words: climate change, empirical knowledge, growing corn, natural variability, teleconnection.

## AGRADECIMIENTOS

A la Facultad de Ingeniería Química de la **BUAP**, por autorizar el permiso de superación académica.

Al Director general del **COLPOS**, **Jesús Ma. Moncada De La Fuente**, por su comprensión, confianza y gestión en la obtención del grado académico.

A la Dirección General de Planeación Institucional de la **BUAP**, por gestionar la beca **PROMEP-  
TESIS**, en la finalización del presente trabajo.

Al **COLPOS**, campus Puebla, por darme la oportunidad de estudiar y apoyarme en los trámites para terminar mis estudios de doctorado.

A mi profesor consejero el **Dr. Néstor Gabriel Estrella Chulim**, por el rigor académico, en la continua mejora de un trabajo de investigación, por sus valiosas aportaciones, conocimientos, consejos y sugerencias en el desarrollo del trabajo de tesis.

Mi más sincero y profundo agradecimiento a mi director de tesis el **Dr. Tomás Morales Acoltzi**, investigador del Centro de Ciencias de la Atmósfera, **UNAM**, por su asesoría en la realización de la tesis, por su tiempo, dedicación, confianza, motivación y conocimientos adquiridos en mi formación personal y profesional.

A los integrantes de mi consejo particular **Dra. Maricela Hernández Vázquez**, **Dr. José Pedro Juárez Sánchez**, **Dr. Ramón Díaz Ruíz**, por su asesoría y conocimientos adquiridos en el presente trabajo.

A los sinodales **Dr. Samuel Vargas López** y **Dr. Ángel Bustamante González** por la revisión y sugerencias en la terminación de la tesis.

Un reconocimiento especial al **Ing. Rogelio Bernal Morales**, del Centro de Investigación en Cambio Climático de la Facultad de Agrobiología, **UATx**, por su interés y valioso apoyo en la realización de este trabajo.

A los productores de maíz de las localidades de Ciudad Serdán y Tlachichuca por su apoyo en las entrevistas.

A todos, a quienes tuve la dicha de conocerlos y que me acompañaron en este reto de mi vida

## DEDICATORIAS

A **DIOS**, este pequeño esfuerzo, por tanto que he recibido, por iluminar mi camino y acompañarme siempre.

A mis padres, por la vida, por estar conmigo en todo momento, por su ejemplo y cariño.

A mi familia, por apoyarme, por su paciencia, son la alegría de mi vida.

## ABREVIATURAS PRINCIPALES

<b>BD</b>	Base de Datos
<b>BUAP</b>	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
<b>CC</b>	Cambio Climático
<b>CC/CLIVAR</b>	Commission on Climatology/Climate Variability and Predictability
<b>CEPAL</b>	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
<b>CLIVAR</b>	Climate Variability and predictability
<b>CMMAD</b>	Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo
<b>CMNUCC</b>	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
<b>COLPOS</b>	Colegio de Posgraduados
<b>CS</b>	Ciudad Serdán
<b>DHC</b>	Días húmedos consecutivos
<b>DHeM</b>	Días con heladas meteorológicas
<b>DSC</b>	Días secos consecutivos
<b>E1</b>	Municipio de Chilchotla
<b>E2</b>	Localidad de Ciudad Serdán
<b>ECT</b>	El Carmen Tequexquitla
<b>ENOS</b>	<b>EL NIÑO</b> -Oscilación del Sur
<b>ETCCDI</b>	Expert Team on Climate Change Detection and Indices
<b>ETCCDI</b>	Grupo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático
<b>FAO</b>	Food and Agriculture Organization
<b>GCMs</b>	General Circulation Models
<b>GEI</b>	Gases de Efecto Invernadero
<b>INAFED</b>	Instituto para el Federalismo y el Desarrollo Municipal

<b>INE</b>	Instituto Nacional de Ecología
<b>INEGI</b>	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
<b>IPCC</b>	Intergovernmental Panel on Climate Change
<b>JCOMM</b>	Joint Technical Commission for Oceanography and Marine Meteorology
<b>MAP</b>	Microrregión de Atención Prioritaria
<b>MC</b>	Método Científico
<b>MDL</b>	Mecanismo de Desarrollo Limpio
<b>MN</b>	Minería de Datos
<b>NOAA</b>	National Oceanic and Atmospheric Administration
<b>OMM</b>	Organización Meteorológica Mundial
<b>ONU</b>	Organización de las Naciones Unidas
<b>Pcp</b>	Precipitación
<b>PCP10</b>	Precipitación igual o mayor a 10 mm
<b>PICC</b>	Panel Intergubernamental de Cambio Climático
<b>PNUMA</b>	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
<b>PROMEP</b>	Programa de Mejoramiento del Profesorado
<b>PTA</b>	Precipitación total anual
<b>SMN</b>	Servicio Meteorológico Nacional
<b>ST</b>	Serie de Tiempo
<b>T25</b>	Temperatura igual o mayor a 25°C
<b>TAR</b>	Third Assessment Report
<b>Tmáx</b>	Temperatura máxima
<b>Tmín</b>	Temperatura mínima
<b>UNFCCC</b>	United Nations Framework Convention on Climate Change
<b>V&amp;A</b>	Vulnerabilidad y adaptación
<b>VC</b>	Variación en el Clima

# ÍNDICE

	Página
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 2. MARCO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>5</b>
2.1. Marco teórico conceptual .....	5
2.1.1. Sustentabilidad y desarrollo sustentable .....	5
2.1.2. Variabilidad natural y cambio climático .....	9
2.1.3. Región y regionalización .....	12
2.1.4. Riesgo, vulnerabilidad y agricultura.....	14
2.1.5. Agricultura y conocimiento tradicional.....	20
2.2. Marco normativo .....	21
2.2.1. Acuerdos internacionales.....	21
2.2.2. Normatividad nacional .....	26
2.3. Marco de referencia micro-regional .....	27
2.3.1. Ubicación geográfica y características naturales .....	27
2.4. Literatura citada .....	33
<b>CAPÍTULO 3. PROBLEMA, OBJETIVOS, HIPÓTESIS Y METODOLOGÍA... 38</b>	
3.1. Problema y objetivos .....	38
3.2. Hipótesis.....	40
3.3. Metodología.....	40
<b>CAPÍTULO 4. TENDENCIAS DE LA VARIABILIDAD NATURAL/CAMBIO CLIMÁTICO EN LA MICRO-REGIÓN DE CIUDAD SERDÁN..... 45</b>	
4.1. Resumen.....	45
4.2. Introducción .....	45
4.3. Materiales y métodos.....	47
4.4. Resultados y discusión .....	47
4.5. Conclusiones.....	52
4.6. Literatura citada .....	53
<b>CAPÍTULO 5. TENDENCIAS Y VARIABILIDAD DE ÍNDICES DE CAMBIO CLIMÁTICO RELACIONADOS CON LA AGRICULTURA, EN LA MICRO REGIÓN DE SERDÁN, PUEBLA Y EL CARMEN TEQUEXQUITLA, TLAXCALA..... 56</b>	

5.1. Resumen.....	56
5.2. Introducción.....	57
5.3. Materiales y métodos.....	59
5.4. Resultados y discusión.....	61
5.5. Conclusiones.....	75
5.6. Literatura citada.....	77
<b>CAPÍTULO 6. RELACIONES MÚLTIPLES ENTRE VARIABLES CLIMATOLÓGICAS, FENOLOGÍA DEL MAÍZ, EL NIÑO Y TELECONEXIONES PARA DISTINTOS NIVELES DE PRODUCCIÓN EN EL VALLE DE SERDÁN, PUEBLA (1980-2013).</b> .....	<b>79</b>
6.1. Resumen.....	79
6.2. Introducción.....	79
6.3. Materiales y métodos.....	81
6.4. Resultados y discusión.....	83
6.5. Conclusiones.....	93
6.6. Literatura citada.....	96
<b>CAPÍTULO 7. RELACIONES ENTRE SABERES: LOS CAMPESINOS Y VARIABLES CLIMÁTICAS EN LA MICRO-REGIÓN DE SERDÁN, PUEBLA.</b> .....	<b>98</b>
7.1. Resumen.....	98
7.2. Introducción.....	98
7.3. Metodología.....	100
7.4. Resultados y discusión.....	100
7.5. Conclusiones.....	107
7.6. Literatura citada.....	108
<b>CAPÍTULO 8. REFLEXIONES, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES.</b> .....	<b>109</b>
8.1. Reflexiones.....	109
8.2. Conclusiones.....	112
8.3. Recomendaciones.....	114
<b>BIBLIOGRAFÍA GENERAL</b> .....	<b>116</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Índices básicos de cambio climático .....	42
Tabla 2. Estaciones cercanas al sitio de estudio.....	48
Tabla 3. Variabilidad <b>ENOS</b> de años identificados .....	70
Tabla 4. Anomalías de la temperatura del Océano Pacífico Tropical del Este .....	83
Tabla 5. Información identificada en las entrevistas.....	84
Tabla 6. Resultados de años, rendimiento y variables climáticas.....	85
Tabla 7. Resultados de las variables del clima y el rendimiento.....	107

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Interrelaciones del desarrollo sustentable. ....	8
Figura 2. Esquema de conceptos asociados.....	17
Figura 3. Sitio de estudio. ....	29
Figura 4. Procedimiento para seleccionar datos. ....	41
Figura 5. Metodología general. ....	44
Figura 6. Variabilidad anual de la precipitación acumulada.....	49
Figura 7. Variabilidad del número de días en un año cuando la precipitación es mayor a 10 mm. ....	50
Figura 8. Variabilidad del número de días en un año, cuando la temperatura máxima diaria es mayor a 25°C. ....	51
Figura 9. Variabilidad anual del número de días con helada meteorológica. ....	52
Figura 10. Sitio de estudio .....	60
Figura 11. Variabilidad anual de los días secos consecutivos para dos estaciones ....	62
Figura 12. Variabilidad anual de los días húmedos consecutivos para dos estaciones	64
Figura 13. Variabilidad anual del número de días con helada meteorológica. ....	66
Figura 14. Variabilidad anual de la precipitación acumulada para CS.....	68
Figura 15. Variabilidad anual de la precipitación acumulada para ECT.....	68
Figura 16. Variabilidad del número de días en un año, cuando la precipitación es mayor a 10 mm .....	72
Figura 17. Variabilidad del número de días en un año, cuando la temperatura máxima diaria es mayor a 25°C .....	74

Figura 18. Comportamiento de las variables del clima y su relación con la fenología del maíz para el año 1980, (E1).....	87
Figura 19. Comportamiento de las variables del clima y su relación con la fenología del maíz para el año 1980, (E2).....	87
Figura 20. Comportamiento de las variables del clima y su relación con la fenología del maíz para el año 1992, estación "Serdán".....	88
Figura 21. Comportamiento de las variables del clima y su relación con la fenología del maíz para el año 1983, estación "La Trinidad".....	89
Figura 22. Comportamiento de las variables del clima y su relación con la fenología del maíz para el año 1987, estación "La Trinidad".....	90
Figura 23. Comportamiento de las variables del clima y su relación con la fenología del maíz para el año 2011, estación "Serdán".....	91
Figura 24. Comportamiento de las variables del clima y su relación con la fenología del maíz para el año 2013, estación "Serdán".....	93
Figura 25. Relaciones entre variables climáticas y dichos populares, ciclo 1980 (año bueno). .....	102
Figura 26. Relaciones entre variables climáticas y dichos populares, ciclo 1987 (año regular). .....	103
Figura 27. Relaciones entre variables climáticas y dichos populares, ciclo 2011 (año malo). .....	105
Figura 28. Relaciones entre variables climáticas y dichos populares, ciclo 2013 (año bueno). .....	106

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### **Antecedentes**

Durante los últimos 50-60 años (después de la segunda guerra mundial) existen múltiples evidencias de que la sociedad ha estado expuesta a dos procesos de gran trascendencia: 1) El aumento generalizado de la población a niveles nunca vistos y 2) El crecimiento general de variables, indicadores e índices asociados con la economía y la tecnología; consecuencia de lo anterior y sin menoscabar los beneficios o bondades asociados a los eventos anteriores, existen suficientes evidencias de efectos o consecuencias no benéficas; procesos como la desigualdad, la desvaloración humana, el hambre, la mala nutrición, las migraciones transnacionales, la violencia, la marginación, el desempleo, la pobreza, la presencia de grupos minoritarios, la contaminación ambiental, entre otros problemas críticos y complejos, están presentes en diferentes intensidades, momentos y espacios en el globo terráqueo.

La sociedad mundial, ha propuesto organizaciones, conceptos, modelos y estrategias, para solventar los procesos y síntomas de esos problemas; sin ser exhaustiva y sólo como ejemplo se puede mencionar el concepto de comunitario, con rostro humano, integrado, de necesidades básicas, regional, redesarrollo, endógeno, local, territorial, sostenible, etc. Así como: El Informe Bruntland (1988) "Nuestro futuro común" y la Cumbre de la tierra (Río de Janeiro, 1992), **FAO, PNUMA, IPCC, CMNUCC, OMM, etc.**).

La literatura de tipo científico-académico es muy amplia sobre el tema y bastaría con tener acceso a la Web para lograr una primera versión muy amplia y detallada sobre el tema.

### **Importancia**

El tema y el problema central se ubican en las variables e índices climáticos asociados a la variabilidad natural-cambio climático y su relación con la agricultura de temporal y en especial con el cultivo de maíz, a nivel micro-regional.

No habrá que mencionar la importancia de la agricultura de temporal y del cultivo de maíz en nuestro país, por razones obvias, (existe suficiente

información cuantitativa y cualitativa al respecto). Es en relación a los eventos de la variabilidad natural-cambio climático en los ámbitos regionales y los micro-regionales, donde existe suficiente desconocimiento, para resaltar la importancia del tema.

Con respecto al tema de la variabilidad natural-cambio climático, como en muchos temas, existen dos posiciones totalmente encontradas, aún en el ámbito académico: 1) los que niegan esa posibilidad de manera tajante y atribuyen los eventos presentes al desconocimiento de eventos pasados 2) los que ante cualquier evento del tiempo o procesos presentes poco usuales (lluvia excesiva, temperaturas extremas, ciclones, inundaciones) observan índices del cambio climático, considerando tiempo atmosférico o eventos meteorológicos del clima, de manera independiente.

De las dos posiciones anteriores y por la dependencia, riesgo y vulnerabilidad de la agricultura de temporal de variables e índices climatológicos, resulta pertinente esta investigación.

Lo que es verídico son evidencias del calentamiento global de la tierra (aumento en la temperatura de la superficie del globo terráqueo en aproximadamente 1.5 °C, en los últimos 200 años).

Además, en relación a los eventos y problemas regionales del cambio climático empiezan a presentarse evidencias de su diferenciación en torno a los hemisferios (norte contra sur); existen estudios que demuestran que la variabilidad-cambio climático es más evidente en el hemisferio sur que en el norte (Martínez *et al.*, 2004).

Las causas de este calentamiento son variados, pero en general se le atribuye a los gases de efecto invernadero (**GEI**). Finalmente resulta claro que independientemente de que haya existido o existirá cambio climático es pertinente su estudio y sus efectos en la sociedad.

Estas evidencias sugieren la influencia regional y la necesidad de realizar estudios a ese nivel con sus relaciones de tipo social y económico.

Es en este **contexto** general donde se ubica la presente investigación; que trata de encontrar las posibles relaciones entre variables e índices pertinentes a

la variabilidad natural de clima y el cambio climático, en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en la micro-región de Serdán, Puebla en condiciones de temporal.

La tesis central del trabajo se basa en una de las conclusiones de la reunión **Rio +20**, en donde el tema del cambio climático no es considerado como un problema del ambiente sino de tipo regional; en este sentido se plantea la metodología general, con la utilización del software **RClimDex**.

La tesis está organizada en ocho capítulos:

**En el capítulo 1**, se dan a conocer los antecedentes, importancia y el contexto del presente trabajo. **El capítulo 2**, corresponde a los marcos generales de la investigación, integrado por a) el marco teórico conceptual que se centra en los temas de la sustentabilidad, desarrollo sustentable, variabilidad natural, cambio climático, región, regionalización, riesgo, vulnerabilidad, agricultura y conocimiento tradicional, b) el marco normativo y referencial tomando en cuenta la legislación internacional y nacional y c) el marco de referencia micro-regional.

**En el capítulo 3**, se define el planteamiento del problema, objetivos, hipótesis y metodología general. **En el capítulo 4**, se muestra la posibilidad de identificar señales en las variables asociadas al cambio climático mediante series de tiempo de una estación ubicada en la región de estudio, siguiendo las recomendaciones del panel intergubernamental de cambio climático. De 1961 a 1990, corresponde a la variabilidad natural del clima y de estar presente el cambio climático, debe analizarse el segundo periodo de 1991 a la fecha.

**En el capítulo 5**, se seleccionan índices climáticos pertinentes al cultivo de maíz de temporal, en la serie de tiempo de 1970-2013: fue necesario el apoyo de los datos de una estación cercana al sitio.

**En el capítulo 6**, se buscan relaciones entre otros eventos a gran escala como “**EL NIÑO**” y los huracanes, con respecto al rendimiento de maíz, además se identificaron etapas fenológicas del maíz criollo de la región de estudio.

**En el capítulo 7**, se da a conocer la importancia del conocimiento transmitido de generación en generación por medio de dichos populares, del sitio de estudio, relacionados con variables climáticas y el cultivo del maíz.

**En el capítulo 8,** se encuentra la reflexión de la tesis de las hipótesis planteadas, las conclusiones y recomendaciones generales.

## CAPÍTULO 2. MARCO GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN

### 2.1. Marco teórico conceptual

Uno de los principales retos en materia de desarrollo sustentable es incluir al medio ambiente como uno de los elementos de la competitividad y el desarrollo económico y social (Pierri, 2005).

#### 2.1.1. Sustentabilidad y desarrollo sustentable

La sustentabilidad se refiere a la administración eficiente y racional de los recursos, y busca el bienestar de la población actual sin comprometer la calidad de vida de las generaciones futuras. De acuerdo con el análisis de Pierri (2005), la sustentabilidad, en términos literales, significa continuación a través del tiempo e identifica diversas posiciones que son reducidas a tres grandes ejes:

1. Aquellos para quienes la *sustentabilidad es exclusivamente ecológica*; 2. Aquellos para quienes la sustentabilidad es ecológica y social, pero donde la parte social es un vehículo para llegar a la sustentabilidad ecológica (*sustentabilidad social limitada*); y 3. Aquellos para quienes la sustentabilidad debe ser realmente social y ecológica en forma de coevolución (*coevolución sociedad-naturaleza*).

La Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (**CMMAD**) fue creado en 1983, en la XXXVIII Sesión de la **ONU**, por resolución de la Asamblea General.

La misma actuó como un órgano independiente, en el sentido de que sus miembros trabajaban a nivel individual y no como representantes de sus gobiernos. De su trabajo surgió el documento conocido como *Nuestro futuro común* (o *Informe Brundtland*) el que, después de ser examinado por el Consejo Directivo del **PNUMA**, fue considerado y aprobado por la Asamblea General de la **ONU**, en su XLII Sesión, en 1987.

Brundtland parte de la idea central de que desarrollo y medio ambiente no pueden ser separados:

"Medio ambiente y desarrollo no constituyen desafíos separados; están inevitablemente interligados".

El desarrollo no se mantiene si la base de recursos ambientales se deteriora; el medio ambiente no puede ser protegido si el crecimiento no toma en cuenta las consecuencias de la destrucción ambiental" (Pierri, 2005).

La conferencia de la **CMMAD**, de Río 1992, fue preparada como la mayor instancia para instrumentar globalmente el desarrollo sustentable mediante compromisos jurídicamente vinculantes entre los gobiernos, con identificación de plazos y recursos financieros para implementar las estrategias definidas.

Se aprobaron cinco documentos principales: La "Declaración de Río sobre medio ambiente"; la "Agenda XXI", la "Convención marco sobre cambios climáticos"; la "Convención sobre diversidad biológica", y la "Declaración de principios sobre el manejo, conservación y desarrollo sustentable de todos los tipos de bosques".

Desarrollo sustentable o desarrollo sostenible ha sido definido de varias formas, la más usada proviene del informe conocido como "**Brundtland Commission: Our Common Future**" de 1987 que dice: "El desarrollo sustentable es un desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades" Esta definición incluye dos conceptos claves:

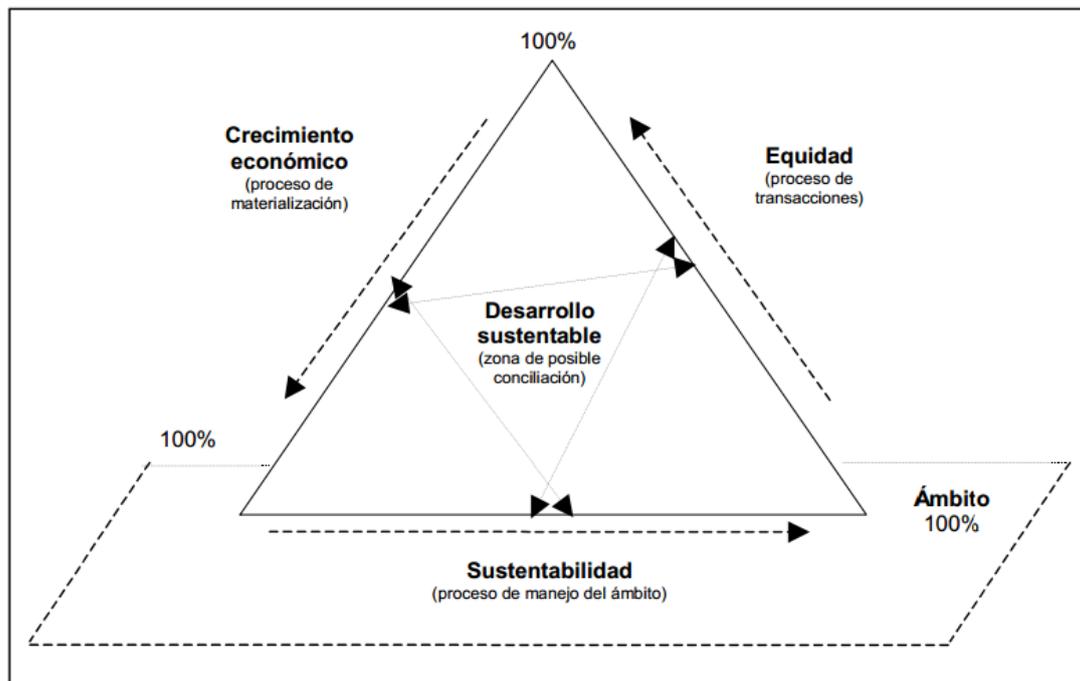
1. Necesidades: en particular las de los más pobres del mundo, a las que se les debe dar prioridad.
2. Limitaciones: impuestas por el estado de la tecnología y de la organización social a la habilidad del medio ambiente de satisfacer las necesidades presentes y futuras.

Entre los factores clave del desarrollo sustentable, se encuentra el crecimiento poblacional, la demanda energética, el cambio climático, la escasez de recursos y del agua, y el manejo de residuos.

En 1987, el desarrollo sustentable fue presentado formalmente por la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas, como una alternativa al desarrollo socioeconómico tradicional, causante de graves daños ambientales al planeta (Gabaldón, 2006).

El principal desafío que enfrentan los gobiernos —desde los niveles municipales o micro-regionales hasta los niveles nacionales—, es el de saber cómo diseñar y aplicar sistemas de gestión capaces de fomentar y conciliar tres grandes objetivos que en teoría llevarían al desarrollo sustentable: el crecimiento económico, la equidad (social, económica y ambiental) y la sustentabilidad ambiental. Los obstáculos para diseñar este sistema se presentan en por lo menos tres aspectos: conceptual; teórico y práctico. Dichos obstáculos se encuentran en la falta de consenso y, por lo tanto, en las múltiples interpretaciones que existen de los conceptos de “desarrollo sustentable”, “equidad” y “sustentabilidad ambiental”.

El mismo término “sustentabilidad” es ambiguo. Este vocablo se aplica a la producción, la ecología, la economía, el medio ambiente, la sociedad o el desarrollo, ninguno de los tres objetivos del desarrollo sustentable (económico, ambiental y social) se mide actualmente con parámetros compatibles. Los indicadores empleados para cuantificar cada objetivo no tienen un denominador común ni hay fórmulas de conversión universales. El crecimiento económico se mide con indicadores económicos, la equidad se determina sobre la base de parámetros sociales y la sustentabilidad ambiental se establece en términos físicos y biológicos (CEPAL, 2010).



**Figura 1. Interrelaciones del desarrollo sustentable.**

**Fuente: CEPAL, 2010.**

La figura 1. Representan el área económica, la social y la ambiental. Dichos intercambios entre crecimiento económico, equidad y sustentabilidad ambiental no se producen sólo dentro del área del triángulo, sino también entre geo-socio-espacios de distintas áreas; por ejemplo, entre países o regiones dentro de un mismo país. Estos intercambios entre distintos ámbitos —por ejemplo, entre tecnología (crecimiento económico) y recursos naturales (sustentabilidad ambiental) — permiten compensar las deficiencias internas de algunos de los ámbitos para lograr los objetivos deseados en forma equilibrada.

Hay que tener presente que los intercambios entre ámbitos pueden provocar notables distorsiones en el equilibrio entre crecimiento económico, equidad y sustentabilidad ambiental.

Los tres objetivos que contribuyen al desarrollo sustentable deben lograrse tomando como referencia determinados territorios o áreas.

Estas áreas pueden variar en el tiempo, ya sea porque cambian los límites de la gestión o porque las mismas áreas sufren variaciones.

Esto debe entenderse como parte de un proceso dinámico que se relaciona con el concepto de desarrollo sustentable.

Los principales actores, los que deben dirigir el proceso, son los habitantes del espacio y quienes influyen en éste. Como se ha indicado, cada actor tiene sus propios criterios, problemas y objetivos (CEPAL, 2010).

El desarrollo sustentable implica una sustentabilidad ecológica y una social. Sin embargo, a nuestro entender, la sustentabilidad social interesa sólo en cuanto genera sustentabilidad ecológica, y no por sí misma. En este sentido el concepto de sustentabilidad social es limitado.

Por último, están quienes consideran que la sustentabilidad social es de interés por sí misma, en cuanto el desarrollo humano es una coevolución entre la sociedad y la naturaleza y no puede ser separado un aspecto de otro (Foladori y Tommasino, 2000).

Independientemente de que hay autores que aislan a la sustentabilidad, se puede considerar que el término debe tener una base conformada por instituciones y actores que aplican la legislación para un bien a largo plazo.

### **2.1.2. Variabilidad natural y cambio climático**

El clima está constituido por aquellos rasgos o elementos básicos del comportamiento de eventos meteorológicos que tienen una variación lenta en el tiempo.

Lo normal es caracterizar clima por promedios de las componentes del sistema termodinámico (precipitación, viento y temperatura, por ejemplo), sobre períodos que pueden ir desde un mes o más, hasta varios años; considerando siempre la variabilidad en el tiempo y en el espacio de cantidades promedio.

En contraste al clima, el “tiempo atmosférico” es el estado a corto plazo (minutos a días) de la atmósfera caracterizado usualmente en términos de temperatura, humedad, precipitación, nubosidad, visibilidad y viento en esas escalas temporales o espaciales.

Para algunas aplicaciones, en especial cuando se trata de cambios en el clima, el periodo de tiempo sobre el cual se promedia es del orden de varias décadas de años (promedios a largo plazo).

Al igual que el clima, el concepto de variabilidad climática puede ser definido en función de términos temporales o espaciales (desviaciones temporales o espaciales de las variables con respecto a los promedios considerados).

En la escala temporal y más allá del orden de la escala sinóptica (varios días), se puede hablar, por ejemplo, de variabilidad intra-estacional, estacional, del ciclo anual o inter-anual, para caracterizar las señales o elementos que distinguen las condiciones de un área o región con respecto a sus promedios sobre el periodo elegido.

En el aspecto espacial, el ejemplo más utilizado de esta variabilidad es la clasificación climática por zonas, cada una de ellas relativamente homogénea en espacio y tiempo con respecto a las variables consideradas, durante periodos de tiempo previamente establecidos (Amador y Alfaro, 2009).

Por otra parte, el calendario agrícola constituye un cronograma de planificación que contiene temporalidades propias, diferentes al del calendario estándar de cualquier actividad urbana, De acuerdo con el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (**PNUMA**), México ha talado 6.3 millones de hectáreas de sus bosques, ocupando el segundo lugar en América Latina en destrucción forestal (el primer lugar lo tiene Brasil) (Conde, 2006).

El clima de la tierra también cambia por factores naturales relacionados con el equilibrio entre la energía solar entrante y la que es remitida hacia el espacio.

Dichas variaciones se deben a erupciones volcánicas, cambios en la órbita de traslación del planeta, cambios en el ángulo del eje de rotación, los ciclos solares o variaciones en la composición de la atmósfera.

Para el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (**IPCC**, por sus siglas en inglés), el cambio climático se refiere:

*...“a cualquier cambio en el clima, debido ya sea a su variabilidad natural o como resultado de la actividad humana” (IPCC, 2007, citado por Moreno y Urbina, 2008).*

Esta definición difiere de la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (**CMNUCC**), que lo describe como

*...“un cambio del 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 observada durante periodos de tiempo comparables” (CMNUCC, 1999, citado por Moreno y Urbina, 2008).*

De lo que si no hay duda, es que se trata de un cambio que afectará a todas las regiones y países; por ello, en los últimos años se le ha dedicado gran atención y se está actuando a nivel mundial, regional y nacional en el establecimiento de medidas de mitigación.

Igualmente, se están encauzando más esfuerzos hacia las medidas de adaptación para disminuir o evitar posibles daños.

Lo más importante en el cambio climático actual, es que es, prácticamente segura su atribución a la actividad humana; esencialmente del último siglo y medio (Moreno y Urbina, 2008).

De acuerdo a las observaciones, las opiniones coinciden en que la variabilidad climática es originada por el cambio climático global, e independiente, de que esta puede deberse a procesos naturales internos que ocurren dentro del sistema climático o por forzamientos externos de origen antropogénico, la variabilidad climática es una realidad, que influirá en los cambios globales futuros y en el funcionamiento de los ecosistemas.

Entre muchas tantas de las repercusiones, una de las mayores se registrará en la agricultura, donde su impacto sobre la producción y la distribución de los alimentos pueden provocar cambios que incidan en episodios de emergencias alimentarias, afectando a la subsistencia, debido a la disminución de las cosechas.

Según Moreno y Urbina (2008), es posible que los eventos extremos que afectaran a la agricultura por variabilidad climática se caractericen porque:

- a) Los calores extremos, las ondas de calor y los eventos de precipitación intensa sean más frecuentes.
- b) Los ciclones tropicales (huracanes y tifones) sean más intensos, con mayores velocidades de los vientos y mayor precipitación.
- c) En latitudes altas se incremente la precipitación, mientras que en las áreas subtropicales disminuya.

- d) En áreas con climas secos se presenten una salinización y desertificación de tierras agrícolas.

Como la agricultura depende de forma muy directa del clima, es urgente que se tomen medidas para que las poblaciones, cuyos sistemas de subsistencia son más dependientes de estas actividades, encuentren vías alternativas de desarrollo y estrategias para adaptarse a tales impactos.

### **2.1.3. Región y regionalización**

Las regiones hoy son sistemas territoriales abiertos en permanente interacción con otras regiones construyen su propia identidad económica, cultural, social y política. Se resalta el papel de las diversas formas de circulación en esa reorganización de la división internacional del trabajo, sobre todo en lo que toca con la reorganización espacial.

La circulación ya no se define por los transportes y las comunicaciones ya que un nuevo subsistema se levanta y gana un papel rector en las relaciones sociales; este es el subsistema de regulación, sin el cual no se pueden entender los fenómenos espaciales (Santos, 1997).

El concepto de región, como objeto de estudio de la opción teórico-metodológica de la historia regional, es la composición de la trama regional bajo la forma de un espacio-social con características *sui generis*.

Este espacio-social constituye un modelo explicativo global de los lazos regionales que activan la trama regional. La importancia epistemológica de este modelo estriba en la capacidad interpretativa de ir de lo particular a lo general y viceversa y de manejar teorías y metodologías de otras disciplinas (Areces, 1999).

Si bien el concepto de región tendió hacia su identificación como espacios de relaciones funcionales y administrativas producidos por las actividades económicas y sociales de los estados modernos, sería ingenuo desconocer las relaciones de poder implicadas en las distintas formas de ocupación del espacio que condiciona la localización y relaciones de los diferentes agentes y actores sociales construyendo sus configuraciones territoriales específicas que representan a las diferentes regiones (Kollman, 2005).

El término de región comparte dos significados fundamentales: el primero hace referencia a la noción abstracta de un ámbito en cuyo interior se cumplen ciertos requisitos de semejanza u homogeneidad, ya sea que éste se conciba en el mundo material que conocemos o en cualquier lugar del universo. El segundo significado se inscribe en un nivel más reducido de generalidad, para denotar ámbitos concretos de la realidad física y sus elementos.

El término se utiliza para identificar porciones determinadas de la superficie terrestre definidas a partir de criterios específicos y objetivos preconcebidos, los cuales pueden provenir de las ciencias naturales o de las ciencias sociales. De acuerdo con las diferentes clasificaciones de región, la **región homogénea** es la que representa al sitio de estudio, la cual representa la unidad territorial mediante un factor único de diferenciación, ya sea social, físico, climatológico o político.

La diferenciación o dispersión micro-regional, será menor que la que se dé entre lo regional o las diferentes regiones que se definan. Desde el punto de vista económico, una región así definida se conoce como un todo diferenciado que se desarrolla y declina de manera uniforme.

Se ha definido región como “Territorio organizado que contiene, en términos reales o en términos potenciales, los factores de su propio desarrollo, con total independencia de la escala. Así, podrán existir regiones grandes o pequeñas, de facto o de jure, con continuidad espacial o con discontinuidad en la virtualidad del mundo actual, pero con un atributo definitorio: la propia complejidad de un sistema abierto” (Lira, 2003).

Regiones y localidades pueden ser consideradas como fractales<sup>1</sup>, lo que implica que la complejidad aumenta a medida que aumenta la escala o se desciende de lo nacional a lo regional y a lo local (Lira, 2003).

---

<sup>1</sup> Término utilizado por el matemático francés B. Mandelbrot en 1975, (del Latín fractus = quebrado). Figura plana o espacial, compuesta de infinitos elementos, que tiene la propiedad de que su aspecto y distribución estadística no cambian cualquiera sea la escala con que se observe.<sup>1</sup>

#### 2.1.4. Riesgo, vulnerabilidad y agricultura

El concepto de **riesgo**, en su definición más sencilla, hace referencia a la probabilidad de que a una población (personas, estructuras físicas, sistemas productivos, etc.), o segmento de la misma, le ocurra algo nocivo o dañino. Para que exista un riesgo debe haber tanto una amenaza (o, como algunos dirían, un peligro) como una población vulnerable a sus impactos, siendo la "vulnerabilidad" la propensión de sufrir daños que exhibe un componente de la estructura social (o la naturaleza misma). El **riesgo** es, en consecuencia, una condición latente o potencial, y su grado depende de la intensidad probable de la amenaza y los niveles de vulnerabilidad existentes. En este sentido, la **vulnerabilidad** es una expresión del desequilibrio o desajuste, en igual medida, entre la estructura social (ampliamente concebida) y el medio físico-constructivo y natural que lo rodea. **La vulnerabilidad**, entonces, nunca puede tener un valor absoluto, sino que depende siempre del tipo e intensidad de la amenaza. A nuestro modo de ver, la amenaza y el riesgo nunca deben considerarse sinónimos, como lo hacen algunos autores; por otra parte, el grado de riesgo siempre está en función de la magnitud de la amenaza y de la vulnerabilidad, es, entonces, una condición dinámica, cambiante y teóricamente controlable (Lavell, 1996).

Cada modelo ofrece resultados distintos dependiendo de los criterios empleados, las características de las aplicaciones o los supuestos conceptuales, entre otros factores.

Pero todos ellos coinciden en que el principal impacto del cambio climático se verá reflejado en el comportamiento de las lluvias y la disponibilidad de humedad en los suelos, factores determinantes para los ecosistemas naturales, los agroecosistemas y los aprovechamientos forestales.

Durante los últimos años diferentes países han registrado temporadas de lluvias y sequías cada vez más marcadas e intensas, así como eventos hidrometeorológicos de gran intensidad, que en unas horas o días descargan enormes volúmenes de agua en regiones relativamente circunscritas.

Todo esto parece indicar que los pronósticos de los modelos son correctos y que los primeros efectos del calentamiento global ya comienzan a sentirse **(CONAZA/UACH, 2005)**.

El proceso de desarrollo no reduce la vulnerabilidad a las amenazas naturales. Por el contrario, de forma no intencionada, puede crear nuevas formas de vulnerabilidad o potenciar las ya existentes, y obstaculizar los esfuerzos de reducción de la pobreza y promoción del crecimiento, a veces con consecuencias trágicas.

Por ello, deben buscarse explícita y activamente soluciones mediante la integración de estrategias y medidas de reducción del riesgo de desastres en el marco general del desarrollo, considerando la reducción del riesgo de desastres una parte integral del proceso de desarrollo más que un fin en sí misma. Desde el enfoque de las ciencias naturales, cuando se habla de los daños, desastres o amenazas, en realidad se está hablando de una expresión de altos niveles de riesgo.

Un desastre puede ser entendido como la materialización del riesgo y se debe aclarar que no existen los “desastres naturales”, pues no tiene nada de natural y sólo son reflejo de lo que los humanos pueden o dejan de hacer. En años recientes ha existido un amplio debate entre las ciencias físicas y sociales acerca del tema de los desastres.

La diferencia de sus enfoques radica en que las primeras ven a los fenómenos naturales extraordinarios (lluvias excesivas, huracanes, sismos, etc.) como la causa principal del desastre, mientras que las segundas mencionan que los desastres no son fenómenos extraordinarios, sino que son un componente específico de la propia sociedad, lo que implica que se pueden realizar procesos de adaptación (Rodríguez, 1999).

La amenaza es definida como “la probabilidad de ocurrencia de un evento potencialmente desastroso durante cierto período de tiempo en un sitio dado, y riesgo es el grado de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un evento particular y como una función de la amenaza y la vulnerabilidad” **(CEPAL, 2000)**.

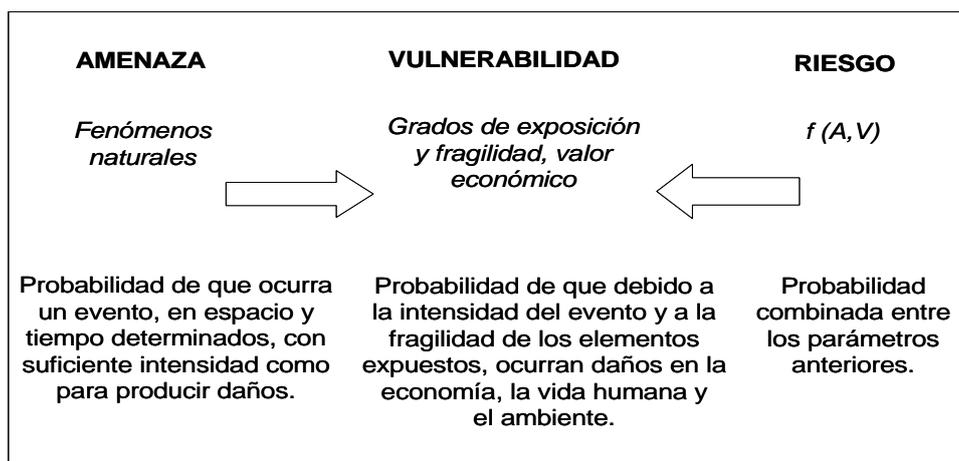
En el año 2000 la **CEPAL** hace algunas modificaciones, y señala que la vulnerabilidad puede definirse como la probabilidad de que una comunidad, expuesta a una amenaza, según el grado de fragilidad de sus elementos (infraestructura, vivienda, actividades productivas, grados de organización, sistemas de alerta, desarrollo político-institucional y otros), pueda sufrir daños humanos y materiales.

La magnitud de esos daños, están relacionados con el grado de vulnerabilidad, el cual expresa una relación directa con el nivel de desarrollo de una población, en el que inciden por ejemplo; mala ubicación espacial de la población frente a riesgos físicos, bajos niveles de ingreso, grados deficientes de organización social, etc.

De esta forma la vulnerabilidad no está determinada por la posible ocurrencia de fenómenos peligrosos, sino por la forma en que las sociedades se han desarrollado y la forma en que la sociedad se organiza y se prepara para enfrentarlos y recuperarse de ellos (**CEPAL, 2000**).

La vulnerabilidad es entonces una condición previa que se manifiesta durante el desastre, cuando no se ha invertido suficiente en prevención y mitigación, y se ha aceptado un nivel de riesgo demasiado elevado (figura 2).

De aquí se deduce que la tarea prioritaria para definir una política preventiva es reducir la vulnerabilidad, pues no es posible enfrentarse a las fuerzas naturales con el objeto de anularlas (Rodríguez, 1999).



**Figura 2. Esquema de conceptos asociados.**

**Fuente: CEPAL, 2000.**

Recientemente, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (**IPCC**), señala que la vulnerabilidad depende por un lado, de la forma, la magnitud y la velocidad con la que ocurran los cambios derivados del calentamiento global y, por otro, de la capacidad de los sistemas humanos y naturales para ajustarse a ellos.

Esta capacidad, dependerá entonces de las condiciones locales, las formas de ocupación del territorio y de cómo evolucionan los procesos económicos que en él se desarrollan.

Lo anterior da origen al término adaptación, y se define como la capacidad de los sistemas humanos y naturales para ajustarse, espontánea u ordenadamente, a los impactos climáticos adversos, así como para aprovechar las oportunidades que deriven de los cambios que se presenten. Las capacidades de adaptación, en la medida en que se desarrollen apropiadamente, reducirán efectivamente la vulnerabilidad (**IPCC, 2001**).

En el caso de la agricultura, el riesgo climático corresponde a una combinación de las amenazas relacionadas con las variaciones de tiempo y clima. Por lo que se deduce que la variabilidad del clima en sí misma no siempre representa una amenaza para el sector agrícola. Dicha amenaza se presenta cuando existe la posibilidad de que una condición climática tenga la capacidad de

afectar a un sector. Por lo tanto, la amenaza al juntarse con una condición de vulnerabilidad genera riesgo.

Algunos agricultores han reducido la vulnerabilidad a las fluctuaciones del clima, aprovechando los avances tecnológicos cultivando variedades mejoradas y más resistentes a sequías o heladas, sin embargo, estas opciones no garantizan el éxito ante los eventos climáticos extremos.

Como lo señala Cardona (2001), la vulnerabilidad debe relacionarse no solamente con la susceptibilidad física de los elementos expuestos a ser afectados, sino también con las fragilidades sociales y la falta de adaptación de la comunidad propensa, es decir, su capacidad para responder o absorber el impacto, por otra parte, en agroecosistemas tradicionales el predominio de sistemas diversificados es de gran importancia para la estabilidad de los campesinos, permitiendo que los cultivos alcancen niveles aceptables de productividad aun en condiciones de stress ambiental.

En general, los agroecosistemas tradicionales son menos vulnerables a las pérdidas porque en ellos crece una variedad amplia de cultivos y variedades en varios arreglos espaciales y temporales, exhibiendo compensación en caso de pérdida (Altieri y Nicholls, 2008).

El riesgo ha sido siempre parte de la agricultura de temporal, los riesgos climáticos tienen una influencia directa sobre los productos que oferta el sector agrícola, la incidencia de heladas, sequías, granizadas e inundaciones sobre los cultivos, genera la pérdida de una importante cantidad de productos que podían ofertarse a la población y solucionar los problemas de seguridad alimentaria nacional que aquejan a múltiples poblaciones en el mundo, además el manejo de los riesgos permite atenuar estas carencias, significa además cultivar con confianza en un mundo de constantes cambios (Trujillo y Marrero, 2008).

Albo (1989), al referirse al uso de la tierra, también se refiere a los ritos y los riesgos, indicando, “en los momentos más importantes del ciclo agrícola se celebran ritos relacionados con los cultivos. Los riesgos a los que se enfrentan las plantas cultivadas –como heladas, granizos, sequías o inundaciones-

requieren celebraciones para proteger el crecimiento de las plantas hasta su cosecha”.

La agricultura es una actividad que sería más afectada por el cambio climático. Se calcula que la superficie con buenas condiciones para el cultivo de maíz se reducirá; la superficie de cultivo pasará del 40% del territorio nacional a sólo el 25% del país, lo que implica que el área total de cultivo de maíz se reducirá en una tercera parte (Magaña y Gay, 2002).

Estimaciones preliminares indican que durante la intensa sequía de 1997-1998 en México, se perdieron más de tres millones de toneladas de maíz y se produjeron daños cercanos a los 460 millones de dólares (Magaña y Gay, 2002).

Entre 1980 y 1998, 43% de la superficie agrícola fue de temporal para el ciclo otoño invierno, llegando al 80% para el ciclo primavera-verano. Tal condición vuelve a la agricultura mexicana muy vulnerable a las fluctuaciones en el clima. Los cultivos bajo irrigación no se ven en principio tan afectados como los de temporal, a menos que la disponibilidad de agua en presas se vea reducida substancialmente. Tanto los cultivos de temporal como los de irrigación están sin embargo expuestos de la misma manera a cambios en la temperatura. Los cambios en la producción agrícola se verán reflejados en precios, lo cual afectará al resto de la sociedad (Magaña y Gay, 2002).

El maíz se cultiva prácticamente en todo el territorio mexicano. Los bajos rendimientos y la superficie siniestrada que se presenta año con año, son indicativos de que este cultivo no se desarrolla, ni exclusiva ni fundamentalmente, para su comercialización a gran escala.

También, se cultiva en áreas en donde no existe aptitud para ello, tanto en el ámbito climatológico como en el de suelos y pendientes, lo que en parte explica las pérdidas en las cosechas de este cultivo y los bajos rendimientos (menores a 2 t/ha) en más de la mitad del territorio nacional (Conde y Saldaña, 2007).

Parte del país presenta condiciones de sequía prolongada, ante ello, se incrementan los conflictos sociales asociados a la disponibilidad del agua y los rendimientos de maíz de temporal disminuyen significativamente.

Se prevé que en el norte del país y en la península de Yucatán, el principal problema que enfrentaran es la disponibilidad de agua, debido al cambio climático de acuerdo con Dilley (1993); en el valle de Oaxaca se presentan actualmente grandes presiones sociales resultado de la competencia por el uso del agua. Los agricultores con recursos económicos han realizado un cambio de cultivos, siembran alfalfa y otros vegetales que a pesar de que requieren mayor cantidad de agua, que los granos básicos, tienen una creciente demanda en los mercados de exportación aunado a la creciente actividad turística y a la demanda urbana de agua.

Se ha observado que aun con ciertos apoyos los agricultores enfrentan una serie de problemas, Liverman (1990) encuentra que en Puebla, los efectos de la sequía de 1982-1983 fueron mayores para los productores con acceso a tecnologías agrícolas modernas y créditos, que para los productores que siguieron esquemas de agricultura tradicional y aún para los que no sembraron y emigraron temporalmente a las ciudades, debido a que los primeros, además de perder la cosecha, aumentaron sus deudas.

#### **2.1.5. Agricultura y conocimiento tradicional**

Las prácticas de cultivo varían ampliamente en México, cultivos mecanizados se realizan en áreas donde el terreno y la pendiente lo permiten; los costos asociados con la agricultura mecanizada son altos. La labranza tradicional es realizada usando tracción animal, un método que ofrece gran versatilidad en terrenos con pendientes.

Altieri y Nicholl, (2000) señalan que los sistemas de agricultura tradicionales han emergido a lo largo de siglos de la evolución cultural y biológica, de tal forma que los campesinos y los indígenas han desarrollado o heredado agroecosistemas que se adaptan bien a las condiciones locales y que les han permitido satisfacer sus necesidades vitales por siglos; aún bajo condiciones ambientales adversas, tales como terrenos marginales, sequía o inundaciones. Los sistemas agrícolas tradicionales de México se caracterizan por tener una aplicación de conocimientos que se han transmitido de generación en generación, de esta forma, los campesinos han creado el conocimiento

suficiente para hacer frente a los problemas que se desarrollan dentro de sus terrenos agrícolas.

Por cientos de años, utilizando el método conocido como prueba-error, han experimentado hasta encontrar un equilibrio entre la parte productiva, la conservación de la tierra y el uso cultural de los productos que de ella se obtienen (Abasolo, 2011).

La sabiduría tradicional, representa el verdadero núcleo intelectual y práctico por medio del cual esas sociedades se apropian de la naturaleza y se mantienen y reproducen a lo largo de la historia. Por lo que es primordial entender la naturaleza de la sabiduría local, la cual se basa en una compleja interrelación entre las creencias, los conocimientos y las prácticas (Ortiz y Velasco, 2012).

Dicha sabiduría se basa en las experiencias que se tienen sobre el mundo, sus hechos y significado, y su valoración de acuerdo con el contexto natural y cultural en donde se despliega; así los saberes son una parte o fracción esencial de la **sabiduría local**.

El **conocimiento tradicional** debe ser contemplado, primero, en su íntima relación con su sistema de creencias y, en segundo término, con sus necesidades y prácticas.

Esto permite comprender muchos de los giros y matices que toma el conocimiento en la mente del productor rural, además de establecer sus propios límites prácticos (Ortiz y Velasco, 2012).

## **2.2. Marco normativo**

### **2.2.1. Acuerdos internacionales**

Desde el año de 1972, en **Estocolmo Suecia**, hubo preocupación por tratar de resolver problemas ambientales. Se estableció el Protocolo de Kioto y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente en **1988**. Posteriormente se estableció la **Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático**, aprobada en Nueva York el 9 de mayo de **1992**.

El propósito principal de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (*United Nations Framework Convention on Climate Change*, **UNFCCC**), adoptada en la conferencia de Río-1992, es estabilizar la concentración de gases de efecto invernadero (**GEI**) en la atmósfera a un nivel que evite la interferencia antropogénica dañina con el sistema climático global. El Protocolo de Kioto de dicha Convención, que fue adoptado en diciembre de 1997, estableció los instrumentos necesarios para enfrentar el reto de reducir las emisiones de **GEI** a nivel global.

De acuerdo con el principio de la responsabilidad común diferenciada de la **UNFCCC**, ésta es obligación de las Partes listadas en el Anexo I de la Convención (los países industrializados) mientras que, por primera vez en la historia, el desarrollo sustentable de los países del sur ha sido reconocido como un derecho, por un instrumento legal internacional.

Fue en 1998 cuando se conformó el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (**IPCC**), establecido por la (**OMM**) y (**PNUMA**). Integrado por expertos, tiene el objetivo de obtener información fiable tanto a nivel científico-técnica, como socioeconómica que facilita la comprensión de las causas, consecuencias y soluciones de un fenómeno tan complejo como el calentamiento global.

Los Acuerdos de Marrakech, que contienen las regulaciones del Protocolo, incluyen los así llamados Mecanismos de Flexibilidad y el Mecanismo de Desarrollo Limpio (**MDL**), han allanado el camino hacia la ratificación del Protocolo.

La mayoría de las partes de la **UNFCCC** declararon públicamente su intención de ratificar el Protocolo para las Cumbres de **Río** posteriores.

A pesar de la negativa de los Estados Unidos de América, la entrada en vigor del Protocolo de Kioto significa un primer paso crucial hacia la reducción de las emisiones de **GEI** por los países del Norte.

A pesar de la poca responsabilidad de los países en desarrollo, éstos son los más susceptibles a sufrir los mayores y peores impactos del cambio climático sobre los humanos y los sistemas naturales, dada su mayor vulnerabilidad, debido a la menor cantidad de medidas de respuesta disponibles.

Estas cuestiones reflejan un asunto político importante que se relaciona con el segundo período de compromisos del Protocolo de Kioto, cuando se vayan a negociar nuevas metas a cumplir bajo la **UNFCCC** (Lébre *et al.*, 2002).

El escenario político internacional revela que, a pesar de la claridad de los principios de la **UNFCCC**, especialmente aquél acerca de la equidad y de las responsabilidades comunes, aunque diferenciadas, los países en desarrollo sufrirán una fuerte presión para limitar sus emisiones de **GEI**, del mismo modo en que los países del Anexo I se han visto obligados a hacerlo durante el primer período de compromisos.

Las estrategias de desarrollo para América Latina, particularmente las vías seguidas por los sistemas de generación de energía, han dado por resultado un bajo crecimiento, en términos absolutos, de las emisiones de dióxido de carbono, comparado con el desempeño de los Estados Unidos de América, el mayor emisor de los gases mencionados (Lébre *et al.*, 2002).

Desde su conformación del **IPCC**, el Panel ha presentado a la comunidad internacional tres reportes de evaluación del clima mundial (1990, 1995, 2001), el de 1995 dio las bases científicas al Protocolo de Kioto, ha contribuido a una serie de informes o reportes. El primer Informe del **IPCC** (1990) afirmó una evidencia de una creciente concentración de gases termoactivos en la atmósfera.

Es factible que dicha acumulación se deba a actividades antropogénicas. Para estabilizar las concentraciones, las emisiones tendrían que reducirse entre 60 y 80%; el problema podrá enfrentarse exitosamente a través de la cooperación internacional. En 1990 el **IPCC** presentó su Primer Informe de Evaluación del Clima Mundial; en virtud del rigor científico con el que opera, condujo a la comunidad internacional de países a negociar la Convención Marco de Cambio Climático de las Naciones.

La Convención se negoció de 1991 a 1992 y se firma en la Cumbre de Río. El **IPCC** ha aprobado los tres reportes por los grupos que integran el **IPCC**:

**Grupo 1:** Bases Científicas, París, Febrero 2007

**Grupo 2:** Vulnerabilidad, Impactos y Adaptación, Bruselas, Abril 2007

**Grupo 3:** Mitigación de Emisiones, Bangkok, Mayo 2007

A continuación se muestra un resumen del cuarto Informe del **IPCC** (2007)

Del grupo 1, (Bases científicas).

- Los incrementos globales en la concentración se deben principalmente al uso de combustibles fósiles y al cambio de uso de suelo.
- La concentración de CO<sub>2</sub> en 2005 (380 ppm) excede con mucho el intervalo natural (180 a 300 ppm) determinado para los últimos 650,000 años mediante núcleos de hielo. (Incluye 7 períodos interglaciares). Los gases siguen acumulándose.
- El calentamiento global es inequívoco, de acuerdo a las observaciones de las temperaturas globales de atmósfera y océanos, así como al derretimiento de las capas de hielo.
- 11 de los 12 años más calientes medidos instrumentalmente se han dado entre 1995 y 2006.
- El hielo que flota en el océano Ártico casi desaparecerá durante el verano en el presente siglo.
- Todos los continentes y la mayoría de los océanos están afectados por el cambio climático
- Si se doblan las concentraciones en el presente siglo (con relación a 1750), la temperatura se incrementará en 3 grados.
- Aún si las emisiones se detuvieran al nivel del año 2000, la temperatura se incrementaría en 0.1°C por década.

### **Cambios futuros en el clima**

- Las cubiertas de hielo y el hielo ártico y antártico se contraerán.
- Los calores extremos, las olas de calor y los eventos de alta precipitación serán más frecuentes.
- Los ciclones tropicales (huracanes y tifones) serán más intensos.
- En latitudes altas (zona cercana a los polos), se incrementará la precipitación, mientras que en las áreas subtropicales disminuirá.
- Los arrecifes coralinos se encuentran en riesgo.

### **Del grupo 2 del IPCC (Impactos y Adaptación)**

- Se dispone de una amplia gama de opciones de adaptación, pero se requiere una adaptación más extensa para reducir la vulnerabilidad al cambio climático futuro
- La vulnerabilidad futura no sólo depende del cambio climático, sino también de la trayectoria del desarrollo. Además el desarrollo sostenible puede reducir la vulnerabilidad

### **Grupo 3 del IPCC (Mitigación de emisiones).**

- Las emisiones de gases termoactivos han crecido 70% de 1970 al 2004
- Las emisiones totales en 2004 alcanzaron 49 Gt de CO<sub>2</sub> eq.
- Las emisiones de CO<sub>2</sub> se incrementaron 80%, de 1990 a 2004
- Los combustibles fósiles mantendrán su dominio hasta el 2030; después, de dos a tres cuartas partes de las emisiones energéticas de CO<sub>2</sub> provendrán de países en desarrollo.

Las condiciones geográficas, ecológicas y socioeconómicas hacen que México sea un país altamente vulnerable al cambio climático (INE, 2007).

Con respecto al **quinto informe del IPCC de 2013** relacionando al presente tema de investigación se tienen las siguientes conclusiones:

- a) Los recientes casos de climas extremos (frío, inundaciones, sequías) muestran que nuestra capacidad de adaptación es todavía baja.
- b) Además, se han identificado múltiples situaciones en las cuales la magnitud del cambio climático excede las capacidades de adaptación.
- c) Es muy posible que las acciones tempranas permitan una mejor respuesta adaptativa, pero los recursos financieros y tecnológicos disponibles son aún escasos, sobre todo en los países menos desarrollados.
- d) Es evidente que estos países y las comunidades rurales serán los más afectados por los impactos en sus sistemas de producción de alimentos y sus economías locales.
- e) Es posible que el calentamiento superior a 4°C haga prácticamente imposible la actividad agrícola y la vida humana en algunas regiones habitadas hoy en día. Sin embargo, incluso un calentamiento de solo

2°C afectaría severamente la producción de algunos cultivos si es que no se introducen medidas de adaptación relacionadas con el uso del agua, provisión de nutrientes, control de plagas, entre otras.

### 2.2.2. Normatividad nacional

Con respecto a la **legislación nacional**, la Cámara de Diputados aprobó la Ley General de Cambio Climático, marco jurídico que promoverá políticas públicas en los tres niveles de gobierno para mitigar los efectos de ese evento en nuestro país; dicha **Ley General fue** aprobada por la cámara de diputados el 19 de abril de **2012 y emitida por el DOF el 6 de junio de 2012.**

A continuación se presenta un breve bosquejo del contenido de la Ley General de Cambio Climático y su pertinencia con el presente trabajo de investigación.

En el **Título Primero**, artículo primero señala:

“El interés general y observancia en todo el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción y establece disposiciones para enfrentar los efectos adversos del cambio climático”.

**En el artículo 2, párrafo 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; párrafo V.** Fomentar la educación, investigación, desarrollo y transferencia de tecnología e innovación y difusión en materia de adaptación y mitigación al cambio climático.

**Título segundo, distribución de competencias, las entidades federativas y los municipios.**

**Artículo 5o.** La federación, las entidades federativas, el Distrito Federal y **los municipios ejercerán sus atribuciones** para la mitigación y **adaptación** al cambio climático, de conformidad con la distribución de competencias prevista en esta ley y en los demás ordenamientos legales aplicables.

En el apartado XXI. Se encuentra la colaboración con las entidades federativas en la instrumentación de sus **programas** para enfrentar al cambio climático mediante la asistencia técnica requerida y **establecer acciones regionales** en donde ya se abordó una de las regiones, entre dos o más entidades

federativas; en el apartado XXV, se exhorta **emitir recomendaciones** a las entidades federativas y **municipios**, con la finalidad de promover acciones en materia de cambio climático; el artículo 27 avala la **política nacional** de adaptación frente al cambio climático; se sustentará en **instrumentos de diagnóstico, planificación, medición, monitoreo, reporte, verificación y evaluación**, los cuales tendrá como objetivos:

- I. Reducir la vulnerabilidad de la sociedad y los ecosistemas frente a los efectos del cambio climático;
- II. Fortalecer la resiliencia y resistencia de los sistemas naturales y humanos;
- III. Minimizar riesgos y daños, considerando los escenarios actuales y futuros del cambio climático;
- IV. Identificar la vulnerabilidad y capacidad de adaptación y transformación de los sistemas ecológicos, físicos y sociales y aprovechar oportunidades generadas por nuevas condiciones climáticas;
- VI. Facilitar y fomentar la seguridad alimentaria, **la productividad agrícola**, ganadera, pesquera, acuícola, la preservación de los ecosistemas y de los recursos naturales.

De esta precisión surge la pertinencia política de este trabajo.

### **2.3. Marco de referencia micro-regional**

#### **2.3.1. Ubicación geográfica y características naturales**

A continuación se muestra la información del Instituto para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (**INAFED**, 2010), para los dos municipios de estudio: Chalchicomula de Sesma y Tlachichuca.

Chalchicomula de Sesma

El nombre procede de las dicciones nahuas "chalchihuitl", jade; "comul", pozo; y "la", partícula abundancial; lo que significa "Pozo donde abundan las Piedras Verdes o Chalchihuites". Tiene una superficie de 364.85 kilómetros cuadrados, que lo ubica en el lugar número 19 con respecto a los demás municipios del estado.

**Ubicación geográfica:** Se ubica entre los paralelos 18° 52' y 19° 05' de latitud norte; los meridianos 97° 16' y 97° 34' de longitud oeste; altitud entre 2 380 y 5 600 m. Colinda al norte con los municipios de San Juan Atenco, Aljojuca y Tlachichuca; al este con los municipios de Tlachichuca, y estado de Veracruz, al sur con los municipios de Atzitzintla, Esperanza y Palmar de Bravo; al oeste con los municipios de Palmar de Bravo, Quecholac y San Juan Atenco. Ocupa el 1.14% de la superficie del estado. Cuenta con 73 localidades y una población total de 43 882 habitantes (**Figura 3**).

### **Tlachichuca**

El origen del nombre tiene diversas interpretaciones: para algunos se deriva de los términos náhuatl *tlachichiuhi-qui* (artesano) *ycan* (lugar), por lo que significaría *lugar de artesanos*; para otros se origina en *tlalli* (tierra) y *chichiuhi* (trabajador), esto es *lugar de los que trabajan la tierra*; otros proponen también que deriva de *tlalli* pero también de *xoxoctlic* (cosa verde) y *can* (lugar), lo que resultaría en *lugar de tierra verde*. Finalmente, en lengua totonaca se interpretaría como el *lugar donde brotan lágrimas*.

**Ubicación geográfica:** Se ubica entre los paralelos 19° 02' y 19° 16' de latitud norte; los meridianos 97° 12' y 97° 30' de longitud oeste; altitud entre 2 200 y 5 600 m. Ocupa el lugar 12 del estado de Puebla con un total de 459.25 km<sup>2</sup>. Colinda al norte con los municipios de San Nicolás Buenos Aires, Guadalupe Victoria y Lafragua; al este con el municipio de Quimixtlán y el estado de Veracruz de Ignacio de la Llave; al sur con el estado de Veracruz de Ignacio de la Llave y el municipio de Chalchicomula de Sesma; al oeste con los municipios de Chalchicomula de Sesma, Aljojuca y San Nicolás Buenos Aires. Ocupa el 1.23% de la superficie del estado. Cuenta con 61 localidades y una población total de 28 568 habitantes (**Figura 3**).

Entre los dos municipios se cubre el 2.37% de la superficie estatal, 134 localidades, 72,450 habitantes y una superficie de 82,300 has.



**Figura 3. Sitio de estudio.**  
**Fuente: Google Earth, 2014.**

De acuerdo al informe presentado por López *et. al.* (2010), de la caracterización de la **MAP** (Microrregión de Atención Prioritaria) Oriente de Puebla, la cual es conocida como el Valle de Serdán, lo componen 11 municipios, destacando dos de mayor población: Chalchicomula de Sesma y Tlachichuca. Ciudad Serdán con 24 localidades, posee el 21.6% de las comunidades del Valle de Serdán y Tlachichuca, con 26 comunidades, el 23.4%. Estos dos municipios presentan la mayor cantidad de comunidades. A continuación se proporciona información del Valle de Serdán en donde está incluido el sitio de estudio.

El Valle de Serdán cuenta con **ríos intermitentes**, los ríos Valiente y Quetzalapa son escurrimientos de la Sierra de Quimixtlán que fluyen de oriente a poniente, desembocando en el Valle El Salado.

Los ríos El Serdán y Atzitzintla son escurrimientos del Pico de Orizaba que fluyen del noreste al sureste que se fusionan para desembocar en el río El Salado, que está localizado fuera del Valle de Serdán.

Además, el Valle de Serdán también cuenta con las lagunas de Tecuitlapa, Aljojuca y el manantial Llano Grande. El mayor volumen de los **escurrimientos de agua** originados durante el periodo de lluvia se presenta al noroeste, en la

Sierra de Quimixtlán y va de 500 a 1,000 mm y afecta al **oriente de Tlachichuca**.

Al sureste del valle, abarcando la parte oriental de los municipios de Atzitzintla, Esperanza y Cañada Morelos, se presenta un escurrimiento anual mayor de 1000 mm.

La mayor parte del Valle de Serdán, principalmente la que abarca a los municipios de **Serdán**, San Juan Atenco, Aljojuca, San Nicolás Buenos Aires, San Salvador El Seco y Soltepec, tiene sobre explotado sus mantos de agua subterránea, solo una pequeña parte de los municipios de Esperanza y **Serdán** se considera con aguas subterráneas subexplotadas.

Los **suelos** en el Valle presentan una amplia variación en su capacidad de retención de humedad, la zona más elevada del pico de Orizaba tiene suelos que retienen la humedad durante 12 meses.

A medida que se desciende del Pico de Orizaba, la capacidad de retención de humedad de los suelos también disminuye, hasta llegar a 10 y 8 meses en las faldas del volcán.

La mayor parte del Valle posee suelos con capacidad de retener la humedad durante 4 a 8 meses, suficiente para permitir la actividad agrícola de temporal. Según la clasificación de Köppen, el Valle de Serdán cuenta con los siguientes **climas**:

1) **Semiseco templado (BS1Kw)**, en la parte Norte y Sur, abarcando el municipio de Cañada Morelos, casi todo el de Esperanza, la parte **sur de Serdán**, el extremo occidental de Atzitzintla, el norte de San Nicolás Buenos Aires, y pequeñas porciones, también al norte, de los municipios de **Tlachichuca** y San Salvador El Seco.

2) **Templado subhúmedo {C(wo)(w)}**. Se presenta en el centro del Valle de Serdán, y abarca el centro occidente de Atzitzintla, el centro y **noroeste de Serdán**, casi todo San Juan Atenco, el oeste de Aljojuca, el sur de San Nicolás Buenos Aires y de San Salvador El Seco, así como una pequeña porción al **norte de Tlachichuca** y al noreste de Esperanza.

3) **Húmedo frío {C(w1)(w)}**. Este clima se tiene al este y oeste del Valle y abarca el **centro de Tlachichuca**, el centro oriente de Serdán y Atzitzintla, el

oriente de Aljojuca, el sur de San Salvador El Seco, una pequeña porción al suroeste de San Juan Atenco y casi todo Mazapiltepec y Soltepec.

4) **Semifrío subhúmedo {C(E)(w2)(w)}**. Se extiende en las partes cercanas al volcán Pico de Orizaba, al **oriente de Serdán y Tlachichuca**.

5) **Templado subhúmedo con abundantes lluvias en verano {C(m)}**. Se tiene al noreste del volcán Pico de Orizaba, en el extremo **oriental de Tlachichuca**.

6) **Frío {E(T)H}**. Se presenta en las partes más altas del Pico de Orizaba y abarca pequeñas porciones de **Serdán y Tlachichuca**.

7) **Templado subhúmedo {C(w2)(w)}**. Abarca el centro sur de Soltepec y una pequeña porción al oeste de Mazapiltepec.

Las **temperaturas** medias que van de 12 a 14°C abarcan la mayor parte del Valle de Serdán e inciden en el centro de norte a sur, incluyendo el oeste de Cañada Morelos, casi todo Esperanza, a excepción de una pequeña parte al suroeste, Atzitzintla, casi todo **Serdán**, menos su extremo noreste, el centro y oeste de **Tlachichuca**, San Juan Atenco, Aljojuca, a excepción de su extremo noroeste, el este de San Nicolás Buenos Aires, el extremo sureste de San Salvador El Seco y el extremo sur de Mazapiltepec y Soltepec.

Las **precipitaciones** más altas en el Valle de Serdán, que van de 1000 a 1500 mm anuales, se presentan en las partes altas y faldas del Pico de Orizaba.

El centro oriente de **Tlachichuca** y el extremo oriente de **Serdán** tiene precipitaciones promedio de 800 mm. El resto del Valle, a excepción de sus extremos sur y norte, tiene precipitaciones promedio entre 500 y 800 mm. El centro de **Tlachichuca**, el extremo oeste de San Nicolás Buenos Aires, el norte y el extremo sur de San Salvador El Seco, el extremo sur de Soltepec y Mazapiltepec, el extremo suroeste de San Juan Atenco el **oeste de Serdán**, el extremo suroeste de Atzitzintla, el centro y oeste de Esperanza y Cañada Morelos, son las regiones más expuestas a sufrir heladas.

El periodo de crecimiento del cultivo resultante del periodo libre de heladas, en el Valle de Serdán va desde 0 hasta 180 o 200 días al año.

Dentro de los forzantes orográficos, destacan:

1) **Llanura escalonada.** Constituye la parte central del Valle, de norte a sur y es la zona más productiva desde el punto de vista agrícola.

2) **Lomeríos.** Este tipo de orografía se localiza en las faldas de las sierras, principalmente, en la parte oriental y occidental, siendo las zonas más notables las faldas del pico de Orizaba. Esta región, aunque también se dedica la producción de cultivos, está mayormente dedicada a la explotación forestal y al pastoreo.

3) **Sierras.** El Pico de Orizaba, 5,545 msnm, forma parte de las sierras del Valle de Serdán, y del cual se desprende la Sierra Negra, 3,000 a 4,000 msnm. Incluye la Sierra de Soltepec, 2,200 a 3,000 msnm.

Éstas se presentan en las zonas de lomerío en promedio 70 veces al año, concentrándose entre los meses de octubre a marzo; sin embargo, también existe riesgo de heladas entre abril y septiembre.

El periodo de crecimiento del cultivo resultante del periodo libre de heladas, en el Valle de Serdán va desde 0 hasta 180 o 200 días al año.

Las **granizadas** es otra condición que dificulta la óptima producción agrícola en el Valle de Serdán. Entre marzo y junio la probabilidad de que caiga una granizada es de un 40 y 80%, siendo mayor en abril y mayo.

Los **vientos**, principalmente, antes del inicio de la temporada de lluvias, contribuyen a erosionar los suelos, pues están considerados de fuertes a moderados con una velocidad promedio de 40 km/h, con direcciones noroeste y suroeste barlovento al Pico de Orizaba.

### **Agricultura**

Los productores acostumbran sembrar variedades criollas de maíz de diferente coloración y precocidad, de acuerdo a la **humedad residual** existente en el suelo o al **inicio de la temporada de lluvias**; así maneja en forma escalonada maíces de grano blanco (siembras de humedad residual en marzo y abril), amarillos, azules y rojos (siembras de mayo a primera quincena de junio).

El maíz de grano amarillo es precoz, considerando su ciclo a partir de la siembra presenta su floración masculina (espiga) aproximadamente a los 90 días, y su madurez fisiológica a los 155 días.

Cabe destacar que la agricultura predominante en el Valle de Serdán es la de temporal.

El valle de Serdán está clasificado por agrosistemas, definidos por Taboada (1996), como sigue:

**Agrosistema I. Ciudad Serdán.** Los suelos dominantes son de textura arenosa, profunda, con topografía plana y un pH de 6.5 a 7.0 y suelo de tipo cambisol. Este agrosistema se localiza en el Valle de Serdán.

**Agrosistema II. Coyotepec.** Esta región presenta suelos de tipo arenoso y es donde se presentan mayores riesgos de daño a los cultivos por la presencia de heladas. Este agrosistema se ubica desde Mazapiltepec hasta Santa María Techachalco, al sur del Municipio de ciudad Serdán.

**Agrosistema III. Tlachichica.** Presenta suelos de textura arenosa, profundos y con topografía ondulada. El agrosistema abarca parte de los municipios de Tlachichuca, Aljojuca, San Nicolás Buenos Aires y San Salvador el Seco.

**Agrosistema IV. Bajo potencial.** Sus suelos son de textura gruesa, de color claro y profundos, con pH de 7.5 a 8.5. En este sistema se presentan problemas de heladas, sequía y vientos fuertes.

**Agrosistema V. Sierra.** Se ubica en Atzitzintla y parte de Ciudad Serdán y Tlachichuca. Este agrosistema no es importante en cuanto a la producción del cultivo de maíz.

## 2.4. Literatura citada

Abasolo P. V. E. 2011. Iberofórum. Revista de Ciencias Sociales de la Universidad Iberoamericana. Año VI, No. 11. Enero-Junio de 2011. pp. 98-120. ISSN: 2007-0675. Universidad Iberoamericana A.C., Ciudad de México.

Albo, X. 1989. *Para comprender las Culturas Rurales de Bolivia, La Paz.* Ministerio de Educación y Cultura, CIPCA, UNICEF, pp. 298.

Altieri, M. y Nicholls C. 2008. Los impactos del cambio climático sobre las comunidades campesinas y de agricultores tradicionales y sus respuestas adaptativas. *Agroecología* 3: 7-28.

- Altieri, M. y Nicholls, I. C. 2000. Teoría y práctica para una agricultura sustentable. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Amador, J. A., y Alfaro, E. 2009. Métodos de reducción de escala: Aplicaciones al tiempo, clima, variabilidad climática y cambio climático. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica (REVIBEC)*, (11), 39-52.
- Areces, N. 1999. Regiones y fronteras. Apuntes desde la historia. *Andes*, 10, 19-31.
- Brundtland, G. H. 1998. *Our Common Future*, Oxford University. *Press. Oxford.* (*Nuestro futuro común*) Alianza, Madrid.
- Cardona, A. O. D. 2001. *Estimación Holística del Riesgo Sísmico utilizando Sistemas Dinámicos Complejos*. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya Escola Tècnica Superior D'Enginyers de Camins, Canals I Ports. Barcelona.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. CEPAL. 2000. La vulnerabilidad social y sus desafíos: una mirada desde América Latina, escrito por Pizarro H. R.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. CEPAL. 2003. *Panorama Social de América Latina 2002-2003*. Pobreza y distribución del ingreso. Santiago de Chile.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. CEPAL. 2010. Procedimientos de gestión para el desarrollo sustentable, escrito por Axel Dourojeanni, serie 10 de manuales de las Naciones Unidas.
- Comisión Nacional de Zonas Áridas y Universidad Autónoma de Chapingo. CONAZA/UACH. 2005. *Escenarios climatológicos de la República Mexicana ante el Cambio Climático*. Tomo I. México.
- Conde, C. 2006. "México y el cambio climático global". Dirección General de Divulgación de la Ciencia. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Conde A. C., y Saldaña Z. S. 2007. Cambio climático en América Latina y el Caribe: impactos, vulnerabilidad y adaptación. *Ambiente y desarrollo*, 23(2), 23-30.

- Dilley, F.B. 1993. *Climate Change and Agricultural Transformation in the Oaxaca Valley, México*. Thesis (Ph.D. Geography) Pennsylvania State University.
- Foladori, G., y Tommasino, H. 2000. El concepto de desarrollo sustentable treinta años después. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 1, 41-56.
- Gabaldón, A. 2006. Desarrollo sustentable. *La salida de América Latina*. Editorial Melvin, Caracas.
- Instituto Nacional de Ecología. INE. 2007. Proyecto: Fomento de las Capacidades para la Etapa II de Adaptación al Cambio Climático en Centroamérica, México y Cuba. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC), (INE), Centro de Ciencias de la Atmósfera UNAM (CCA-UNAM).
- Instituto para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. INAFED. 2010. Enciclopedia de los municipios y delegaciones de México.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. 2001. *Climate Change: Third Assessment Report*. Working Group II: Impacts, Adaptation and Vulnerability. IPCC, Ginebra.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. 2007. Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
- Kollmann, M. I. 2005. Una revisión de los conceptos de " territorios equilibrados" y " región". Procesos de construcción y deconstrucción. *Theomai: estudios sobre sociedad, naturaleza y desarrollo*, (11), 2.
- Lammel, A., M. Goloubinoff y E. Katz., (eds.). 2008. Aires y lluvias. Antropología del clima en México, México: CIESAS/IRD.
- Lavell, A. 1996. Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano. Problemas y conceptos: hacia la definición de una agenda de investigación. *Ciudades en riesgo*.
- Lébre, L. E., Pinguelli. L. R. y Santos P. A. 2002. La transición hacia el desarrollo sustentable. *Perspectivas de América Latina y el Caribe /*

coordinado por Enrique Leff, Exequiel Ezcurra, Irene Pisanty y Patricia Romero Lankao. Capítulo 8. Cambio climático y desarrollo energético en América Latina: análisis y perspectivas.

Ley General de Cambio Climático. 2012. Publicado en el DOF el 6 de junio de 2012. Disponible en: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lgcc.htm>

Lira, L. 2003. La cuestión regional y local en América Latina. CEPAL, serie Gestión Pública, Nro. 44, publicación de las Naciones Unidas, número de venta S.03.II.G.187, Santiago, Chile, noviembre.

Liverman, D. 1990. Drought Impacts in Mexico: Climate, Agriculture, Technology, and Land Tenure in Sonora and Puebla. *Annals of the Association of American Geographers*. Vol. 80. p. 49-72.

López, C. S., Ramírez V. B., Contreras R. J., Juárez S. P., Díaz R. R. y Vargas, L.S. 2010. Caracterización de la microrregión de atención prioritaria oriente de Puebla. Informe presentado en el Colegio de Postgraduados, campus Puebla.

Magaña, R. V. y C. Gay. 2002. Vulnerabilidad y Adaptación Regional ante el Cambio Climático y sus Impactos Ambientales, Sociales y Económicos. *Gaceta Ecológica*, octubre –diciembre, No. 065, Instituto Nacional de Ecología. D.F. México, pp. 7-23.

Martínez, M. F., Bremauntz, A. F., & Osnaya, P. 2004. *Cambio climático: una visión desde México*. Instituto Nacional de Ecología.

Moreno, A. R. y J. Urbina S. 2008. "Impactos Sociales del Cambio Climático en México". ISBN: 978-968-817-883-6. Libro electrónico disponible en: [http://www.ine.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id\\_pub=572](http://www.ine.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=572). [Acceso el 12 de marzo de 2009].

Ortiz E. B. y Velasco S.C. 2012. La percepción social del cambio climático. Estudios y orientaciones para la educación ambiental en México. Universidad Iberoamericana Puebla.

Pierri, N. 2005. Historia del concepto de desarrollo sustentable. Guillermo Foladori y Naina Pierri, (coords), *¿Sustentabilidad?* 27-81.

- Río de Janeiro. 1992. Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, celebrada en Río de Janeiro, del 3 al 14 de junio de 1992. Disponible en: <http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/spanish/agenda21sptoc.htm>. Consultado 15-02-2014.
- Rodríguez, V.D. 1999. Prevención de desastres en la zona Metropolitana de la ciudad de México. Tesis doctoral. UAM. Págs. 1-72. México, D.F.
- Santos, M. 1997. Temica, Espap, Tempo. Globaliza@ e meio temico-cientifico infmmbonal. Siio Paulo, Editora Hucitec.
- Taboada G. O. R. 1996. Diversidad de los maíces criollos en el Valle de Serdán, Puebla. Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo.
- Trujillo, R. C. M y Marrero Y. 2008. *La estimación de las pérdidas agrícolas en condiciones de riesgo*. [En línea], disponible en <http://www.gestiopolis.com/economia/estimacion-de-perdidas-y-riesgos.htm> [Acceso el 24 de marzo de 2009].

## CAPÍTULO 3. PROBLEMA, OBJETIVOS, HIPÓTESIS Y METODOLOGÍA

### 3.1. Problema y objetivos

La variabilidad climática natural es originada por el cambio climático global, independientemente, de que ésta pueda deberse a procesos naturales internos que ocurren dentro del sistema o por forzamientos externos.

La **variabilidad del tiempo-clima/cambio climático** es una realidad, que influirá en los cambios globales futuros y en el funcionamiento de los ecosistemas; uno de las actividades de mayor vulnerabilidad es la agricultura la cual representa y es una de las actividades más afectadas por la variabilidad del clima.

Para el caso específico de México, se calcula que la superficie para el cultivo de maíz se reducirá; la superficie de cultivo pasará del 40% del territorio nacional a sólo el 25% del país, una disminución de casi el 33%.

Por lo tanto, es necesario realizar estudios, que generen conocimiento que permita retroalimentar las actividades agrícolas conocidas como “de temporal”, y contribuya a mejorar la actividad económica.

Por otro lado al Oriente del estado de Puebla, se encuentra una zona conocida como el Valle de Serdán que ha sido región de estudio por parte del **Colegio de Postgraduados, Campus Puebla**.

A partir de 2005, se desarrollan líneas de investigación, en una micro-región definida como Microrregión de Atención Prioritaria (**MAP**).

En dicha **MAP** destacan dos municipios por su mayor población, el Municipio de Ciudad Serdán y Tlachichuca, que es el sitio de estudio de este proyecto de investigación.

Ambos municipios presentan forzantes orográficos interesantes, donde las condiciones del tiempo-clima son extremas, se conoce al valle como una zona de alta productividad maicera. Este tipo de agricultura presenta riesgos que tienen efectos en el abandono de tierras, años con bajos rendimientos menores a 2 t/ha, que impactan en la seguridad alimentaria; siniestros como las heladas y sequías, de acuerdo con la información de productores de la región.

Por lo anterior el riesgo es una preocupación importante de las familias rurales; en tales ambientes un mecanismo disponible para estos agricultores es la autogestión inventiva, conocimiento experimental, y uso de recursos locales disponibles.

“En este contexto se plantea el problema de investigación en términos del desconocimiento de la existencia de relaciones y de sus características, si es que existen, entre variables e índices que describen la variabilidad natural/cambio climático, asociadas con el cultivo de maíz, que se practica en condiciones de temporal en una micro-región que comprende dos municipios al Oriente del estado de Puebla: Chalchicomula de Sesma y Tlachichuca en el periodo de 1946-2013”. La pregunta general es:

¿Cuáles son las relaciones que existen entre la variabilidad natural del clima/cambio climático en el cultivo de maíz a escala **MICRO-REGIONAL**? y las siguientes interrogantes.

1. ¿Cuáles son las evidencias que permiten confirmar la existencia tendencias hacia el cambio climático a partir de variables de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima?
2. ¿Cuáles son las tendencias de índices asociados con la variabilidad natural/cambio climático?
3. ¿Cuáles son aquellos eventos, extraregional que explican la pertinencia asociados a la producción de maíz?
4. ¿Cómo se relacionan el conocimiento teórico asociado con el cambio climático y los saberes tradicionales para el cultivo de maíz en los años de 1980, 1987, 2011 y 2013?

### **Objetivo general**

Descubrir las relaciones que existen durante el periodo 1946-2013, entre índices de variabilidad natural/cambio climático, con énfasis en valores extremos y su relación en la producción de maíz de temporal (*Zea mays* L.) en la micro-región de Serdán Puebla.

## 3.2. Hipótesis

### Hipótesis general

Existen relaciones entre las variables de precipitación, temperaturas máximas y mínimas e índices de la **variabilidad natural/cambio climático** para el cultivo del maíz de temporal, que nos permiten entender interdependencias entre la **sociedad y la naturaleza** en una micro-región.

**Hipótesis 1.** Existen evidencias de un periodo de variabilidad natural y en los últimos años de cambio climático.

**Hipótesis 2.** Los índices climáticos seleccionados demuestran tendencias para entender posibles afectaciones en el cultivo de maíz en la micro-región de Serdán, Puebla, México.

**Hipótesis 3.** Los eventos naturales **EL NIÑO** y los huracanes, están relacionados con variables climáticas, que permiten entender los años buenos, regulares y un año malo en la producción de maíz.

**Hipótesis 4.** Existen evidencias entre las variables climáticas a través de dichos relacionados con el cultivo de maíz e índices climatológicos.

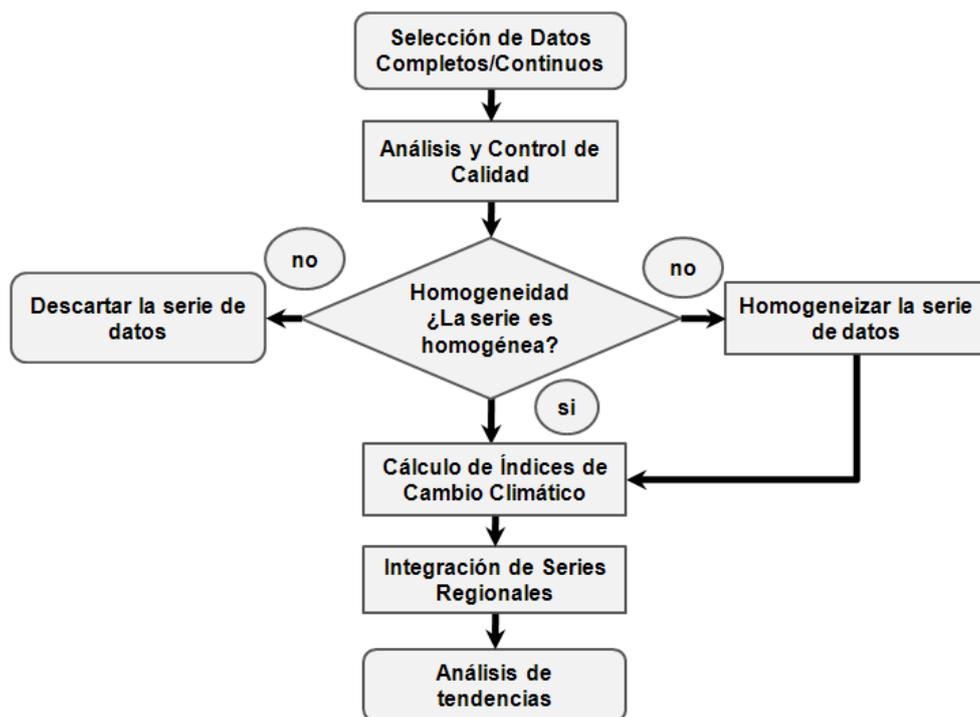
## 3.3. Metodología

El tema central del presente trabajo hace referencia a la variabilidad natural del clima y cambio climático.

Éste trabajo se realizó en las fases siguientes:

- A. En una primera fase, se realizó la revisión bibliográfica del tema, así como la búsqueda de aspectos formales con información nacional e internacional y características geográficas del sitio de estudio.

- B. En una segunda fase se precisó el objeto de estudio, a partir de tres grandes temas: sustentabilidad, región, variabilidad, cambio climático, riesgo y vulnerabilidad y agricultura.
- C. Los elementos teóricos de los grandes temas, fueron necesarios para el planteamiento del problema, problemas particulares, objetivos e hipótesis.
- D. Lo anterior permitió elaborar procesos generales y específicos de la investigación, a partir de este punto se utilizó la guía propuesta por el **INE** (2010), (Figura 4), la cual corresponde a la selección de datos, análisis y control de calidad y homogeneidad en la serie de datos.



**Figura 4. Procedimiento para seleccionar datos.**

**Fuente: INE, 2010.**

- E. El cálculo de índices climáticos, en el software conocido como **RClimDex**, propuesto por el Grupo de Expertos en Detección e Índices

de Cambio Climático (**ETCCDI**) formado conjuntamente por la **OMM** (Organización Meteorológica Mundial), el proyecto de variabilidad climática (**CLIVAR**) y la Comisión Conjunta de Oceanografía y Meteorología Marítima (**JCOMM**). Dicho grupo ha formulado 27 índices para detectar las modificaciones en el comportamiento de los extremos del clima. La tabla 1, muestra los índices del **ETCCDI** y su descripción. Cabe mencionar que no fue posible la integración de series regionales, propuesto por la guía del **INE** (2010).

**Tabla 1. Índices básicos de cambio climático**

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

**Fuente: Software RClimDex.**

F. A partir de la tabla 1, se seleccionaron seis índices climáticos:

- Precipitación total anual,
- Días secos consecutivos,
- Días húmedos consecutivos
- Días con lluvia cuando la precipitación es mayor a 10 mm
- Días de verano, cuando la temperatura es mayor a 25°C y

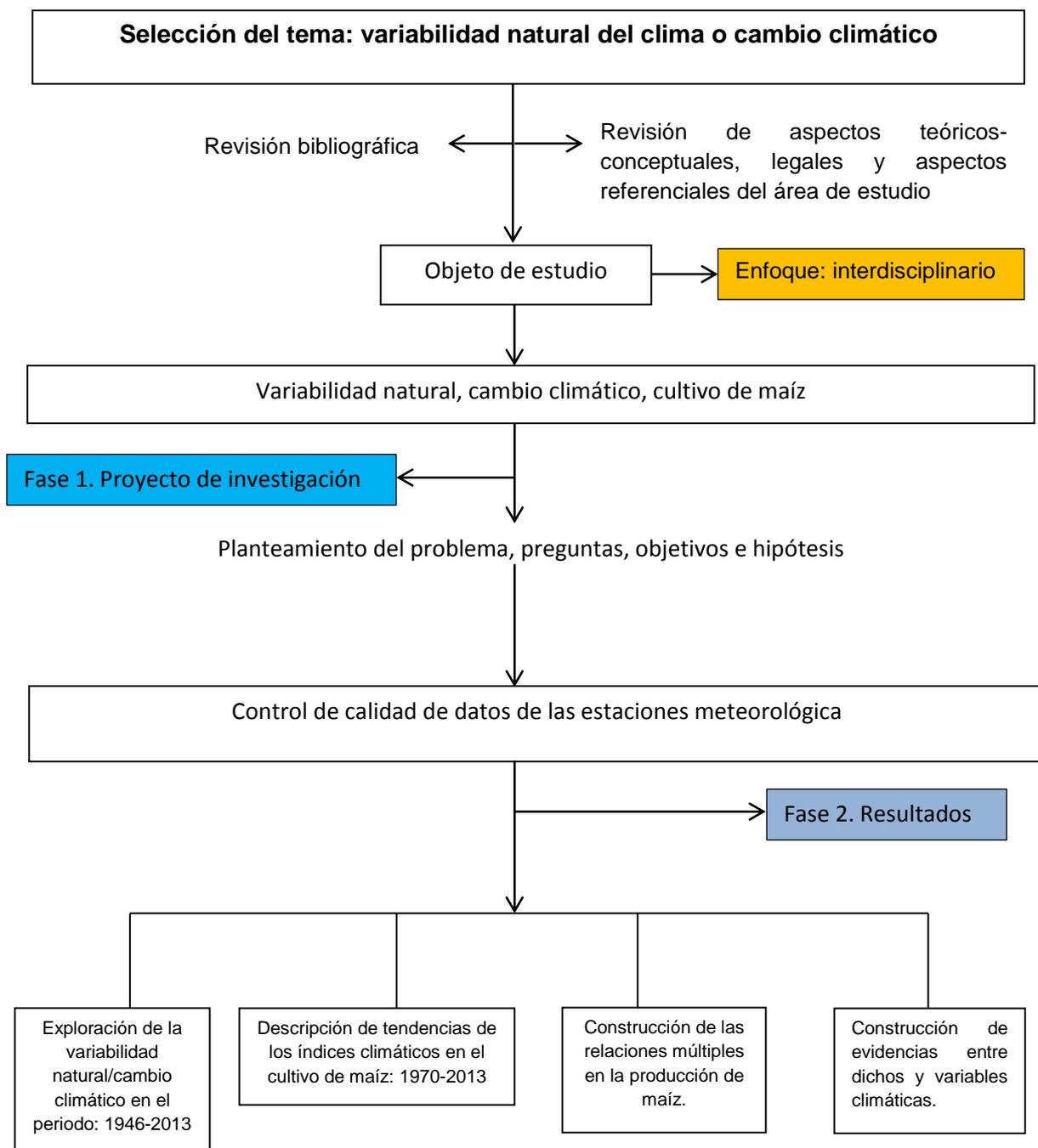
- Días con helada.
- G. Una vez realizado el análisis de las tendencias, se identificaron las fases fenológicas del maíz del sitio de estudio y se relacionaron con las variables de:
- Precipitación
  - Temperatura mínima y
  - Temperatura máxima

También se identificaron años con rendimientos buenos, regulares y malos, dicha información fue posible a partir de entrevistas a informantes clave en una muestra no representativa, con la característica de que los productores de maíz tuvieran más de 30 años de práctica en dicho cultivo.

- H. Con entrevistas no aleatorias, permitieron relacionar el conocimiento empírico transmitido de generación en generación y el conocimiento científico, se conocieron dichos o frases en relación con el clima y actividades.

La metodología general, se presenta en el figura 5.

Los métodos particulares de cada trabajo se describen en cada uno de los capítulos.



**Figura 5. Metodología general.**

## CAPÍTULO 4. TENDENCIAS DE LA VARIABILIDAD NATURAL/CAMBIO CLIMÁTICO EN LA MICRO-REGIÓN DE CIUDAD SERDÁN.

### 4.1. Resumen

La comunidad de expertos a nivel internacional acepta de manera unánime el calentamiento global; en lo que no existe acuerdo es en el cambio del clima. En el presente trabajo se trata de describir la presencia de la variabilidad natural del clima y/o las tendencias del cambio climático en la micro-región de estudio. Se utilizó la metodología propuesta por el **IPCC**, el software **RClmDex** y minería de datos, a las variables de precipitación, días con lluvia mayor a 10 mm, días de verano y días con helada meteorológica, con datos de una sola estación, que cumplió con los requisitos. Los resultados señalan la existencia de una mayor variabilidad durante el periodo 1946-1990 en las variables mencionadas; durante el periodo 1990-2013, se observa lo que se denomina la huella de cambio climático con énfasis en el incremento o decremento en la variable de días de verano. De manera adicional el trabajo demuestra las relativas limitaciones y escasez de datos en la micro-región, para efectuar estudios climatológicos.

### 4.2. Introducción

En la “*Conferencia Mundial Sobre la Ciencia*” con sede en Budapest, Hungría, julio 26 de 1999 se planteó la “Declaración Sobre la Ciencia y el Uso del Saber Científico”.

Se indicó que “La ciencia constituye un poderoso instrumento, para comprender los **sistemas naturales** y **sociales**, que desempeñarán probablemente un papel aún más importante en un futuro inmediato, a medida que se conozca mejor la **complejidad** de las relaciones entre la sociedad y el medio natural” (Elsner y Tsonis, 1992; Hargrove *et al.*, 2001.)

Se aplica la Minería de Datos (**MD**). Cuando la complejidad de los sistemas es relativamente grande, (Broomhead y Gregory 1986). Como lo muestran estudios realizados (Morales *et al.*, 2008; Hoffman *et al.*, 2008).

La **MD** es un proceso que invierte la dinámica del método científico (**MC**). En el **MC**, primero se formula la hipótesis y luego se diseña el experimento para coleccionar los datos que confirmen o refuten la hipótesis (Selvam y Fadnavis, 1998).

Si se hace con la formalidad adecuada, cuidando cuáles son las variables controladas y cuáles experimentales, se obtiene un nuevo conocimiento (Sivertsen, 2005; Sfetsos y Vlachogiannis, 2008).

Por el contrario, en la **MD**, se coleccionan los datos y esperamos extraer hipótesis de ellos. Los datos describen o indican por qué los datos son como son (Kalkstein *et al.*, 1987; Hegger *et al.*, 1999). La **MD** valida la hipótesis inspirada por los datos en los datos mismos, sería numéricamente significativa, pero experimentalmente inválida.

La problemática compleja que enfrentan los agricultores están compuesta por: Variación en el clima (**VC**), Cambio climático (**CC**), y vulnerabilidad a eventos extremos como: sequía, heladas, canícula, inundaciones, ondas de calor, degradación de suelos, plagas, rendimientos bajos, disminución de agua, etc.

Como la **VC** y el **CC** quedan registrados simultáneamente al realizar el monitoreo diario del tiempo en las estaciones hidrometeorológicas, quedan registros de precipitación acumulada en 24 horas, evaporación, temperaturas máxima y mínima, entre otras. Así que en esta investigación, consideraremos ambas componentes de **VC** y **CC**, además, ver si es posible identificar señales en los gráficos del **CC** en las **ST** de Serdán, siguiendo las recomendaciones del **IPCC**, es decir se requieren datos desde 1961 a 1990 que corresponde a la **VC** y de estarse dando el **CC**, debe analizarse el segundo periodo de 1991 a la fecha.

Al respecto existen otros estudios siguiendo las recomendaciones del **IPCC**, (Kadioglu y Sen, 1998; Klonowski, 2002; Turcotte, 2003; Van der Vaart, 1973; Zupanski y Navon, 2007).

El **objetivo** del presente artículo es explorar evidencias de la variabilidad natural y/o cambio climático, a través de las variables de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima durante el periodo de 1946 a 2013.

#### **4.3. Materiales y métodos**

La base de datos (**BD**) está conformada por series de tiempo (**ST**) diarias de las variables: precipitación (**Pcp**) y temperaturas máximas (**Tmáx**) y mínimas (**Tmím**) de estaciones de la región de Ciudad Serdán que cubre periodos variables de observación.

Se aplicó control de calidad de datos, con el software **RClimDex** de acuerdo a las recomendaciones del **IPCC**.

#### **4.4. Resultados y discusión**

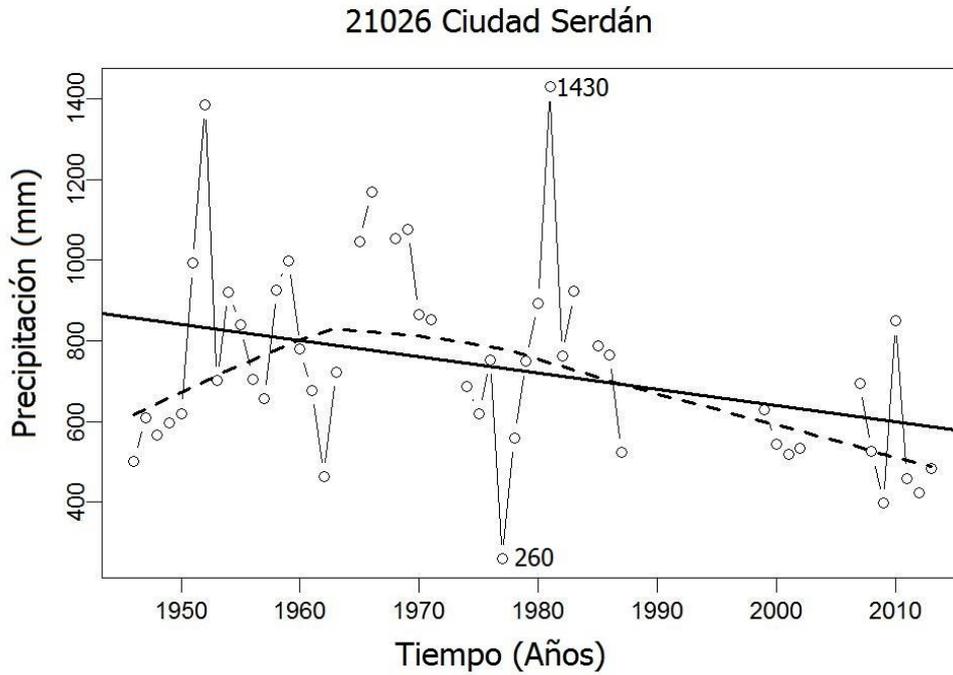
Se seleccionó una base de datos de un conjunto de estaciones meteorológicas cercanas al sitio de estudio como se muestra en la tabla 2. Aunque se tienen datos de las estaciones 3, 4, 5, 6 y 7, no es posible analizar los dos periodos de las recomendaciones del **IPCC**. Con respecto a la estación 2, es posible analizar la variabilidad natural, aunque faltan datos; resulta interesante utilizar los datos como apoyo en ciertos años, cuando falta información. La estación que cumple la serie de datos, para realizar las recomendaciones del **IPCC** corresponde a la estación 21026.

**Tabla 2. Estaciones cercanas al sitio de estudio**

Número de estación	Clave de la estación	Altitud	Periodo de datos	% de datos
1	21026	2,570	1946-2013	79.5
2	21027	2,515	1969-1988	97.9
3	21056	2,570	1967-2001	95.7
4	21072	3,150	1966-2001	83.8
5	21073	2,325	1969-2001	81.2
6	21079	2,570	1979-1995	74.0
7	21095	2,585	1963-1995	71.8

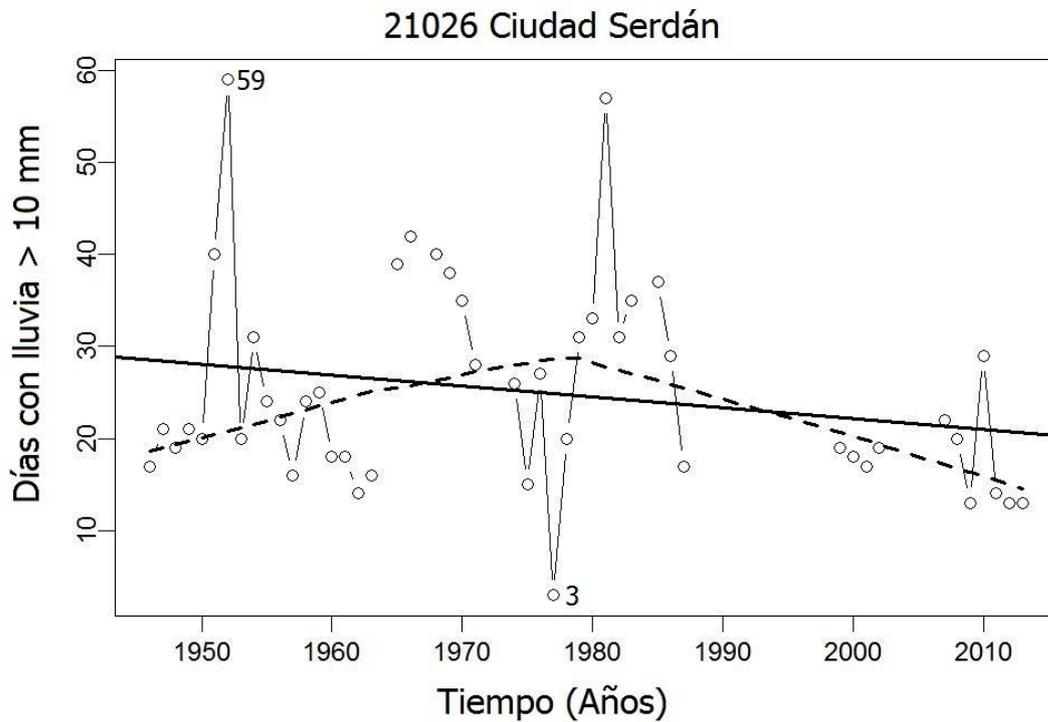
Fuente: **SMN-CONAGUA**

En la figura 6, se muestra el caso de la variabilidad del índice precipitación anual acumulada se observan también cuatro periodos: el primero de 1946-1963, con una duración de 18 años, con una amplitud relativamente pequeña, 600 y 800 mm; el segundo de 1964 a 1986 con una variabilidad relativamente mayor de 260 mm en 1977, en 1981 alcanzó una precipitación anual máxima de 1430 mm, su mayor amplitud de variabilidad; de 1987 a 1998, sin datos; y el cuarto, 1999-2013, presentando una variabilidad con una amplitud menor y con una cantidad de precipitación anual acumulada promedio menor, variabilidad de siete años cuya amplitud se encuentra entre las amplitudes del primer y segundo periodo. Desde el punto de vista de precipitación anual acumulada, el tercer periodo representó mayor riesgo de siniestros por falta de precipitación anual acumulada para la actividad agrícola. Sin embargo, es más importante analizar la distribución pentadal de la precipitación, de acuerdo a la fenología del maíz.



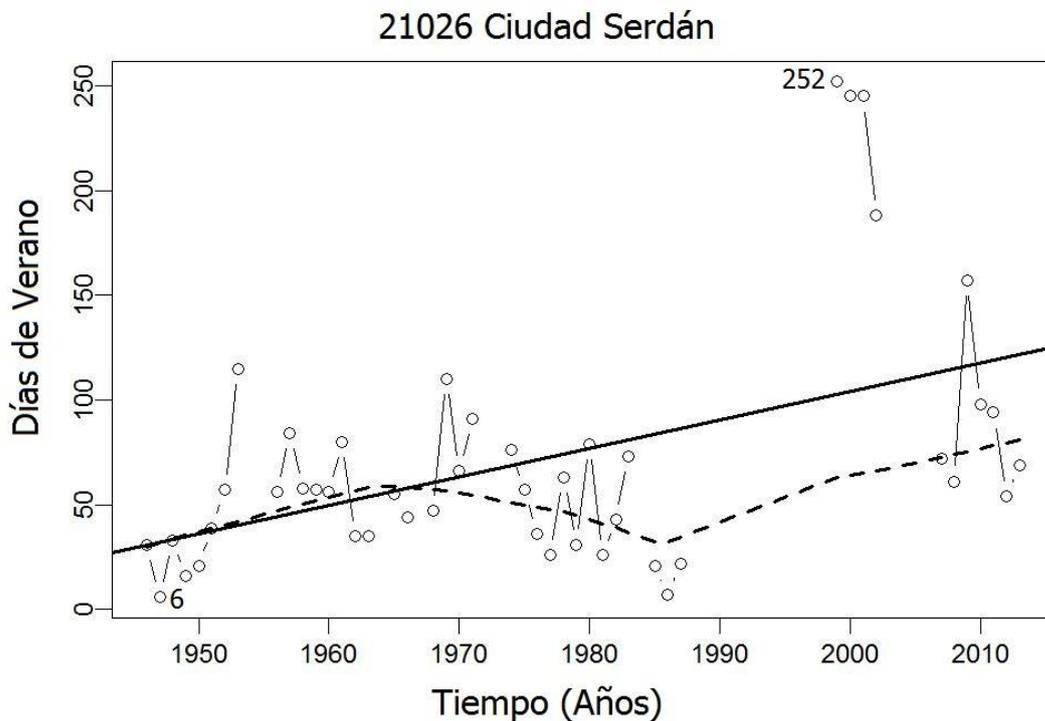
**Figura 6. Variabilidad anual de la precipitación acumulada.**

En la figura 7, se muestra el caso de la variabilidad anual del índice de días con lluvia mayor a 10 mm, nuevamente se observan cuatro periodos: el primero de 1946-1963, con una amplitud relativamente pequeña, excepto el valor máximo de 59; el segundo periodo de 1964 a 1986 iniciando el periodo de variabilidad con valores entre 15-40, tendiendo a la baja hasta alcanzar un mínimo de 3 en 1977, pero en cuatro años alcanzó otro máximo de días con lluvia de 58 mm, su mayor amplitud de variabilidad; el tercero de 1987 a 1998, sin datos; y el cuarto, 1999-2013, presentando una variabilidad con una amplitud parecida al primer periodo.



**Figura 7. Variabilidad del número de días en un año cuando la precipitación es mayor a 10 mm.**

En la figura 8, para el caso de la variabilidad anual del índice de días de verano, es decir cuando la temperatura es mayor a 25 °C. Se observan dos periodos: el primero de 1946-1987, amplitud relativamente pequeña que varía de un mínimo de 6 días, se presentan valores entre 50 a 100 días. En el segundo periodo donde se tienen tres máximos destacando el año 1999 con 252; con una tendencia a disminuir a 50 días. En esta variable, se analiza la serie de tiempo donde sugiere el IPCC identificar la posible señal del CC, es decir a partir de 1991 a la fecha. La figura muestra que a partir de ésta fecha hay una tendencia a incrementarse los días de verano.



**Figura 8. Variabilidad del número de días en un año, cuando la temperatura máxima diaria es mayor a 25°C.**

En la figura 9, se observan cuatro periodos: el primero de 1946-1963, con una variabilidad del índice de días con helada meteorológica, donde pasa la amplitud de un año a otro de 5 a más de 40; el segundo de 1964 a 1986 iniciando el periodo de variabilidad con un valor mínimo de cero, con menor amplitud, con cero días con heladas 10 años en total, y mostrando una amplitud del 50% del periodo anterior; el tercero de 1987 a 1998, sin datos; y el cuarto iniciando con un máximo de 69 días con heladas (1999-2013), presentando una variabilidad con una amplitud no observada anteriormente, al mismo tiempo, se presenta una variabilidad en siete años cuya amplitud se encuentra entre las amplitudes del primer y segundo periodo. En conclusión, desde el punto de vista de presentación de heladas meteorológicas, el segundo periodo representó menor riesgo de siniestros por heladas meteorológicas para la actividad agrícola.

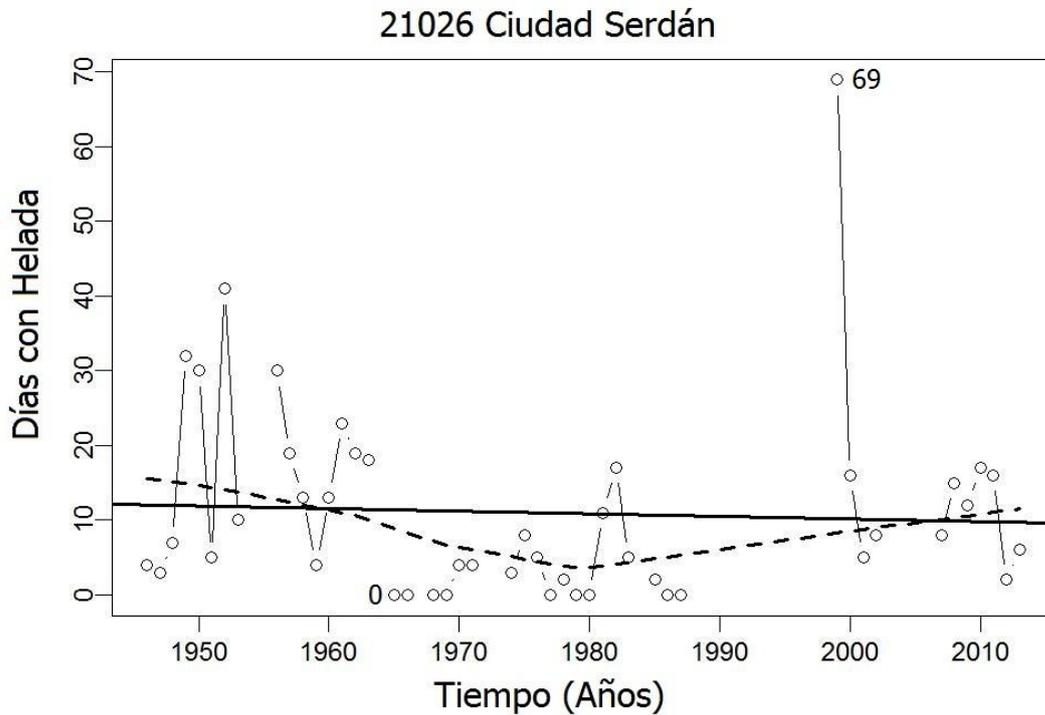


Figura 9. Variabilidad anual del número de días con helada meteorológica.

#### 4.5. Conclusiones

Se identificó una oscilación, en la variabilidad del clima, del orden de cuarenta años, durante el periodo 1950 al 1990. Hubo índices que sugieren ya una señal de **CC**, al menos en los últimos veinte años.

Existe mayor variabilidad durante el periodo 1946-1990 en las variables de precipitación, no así en las variables de temperatura. La variable de días con helada presenta la mayor variabilidad, durante el último periodo 1990-2013, se observa lo que se denomina la huella de cambio climático con énfasis en la variable de días de verano. De manera adicional el trabajo demuestra las relativas limitaciones y escasez de datos en la micro-región, para efectuar estudios climatológicos, por lo que se presenta gran complejidad al registrar simultáneamente variabilidad natural del clima y el cambio climático, por la falta

de continuidad en los registros al menos en los últimos veinte años. Se deberá aplicar la misma metodología a otras series de tiempo de las mismas variables, precipitación, temperatura máxima y mínima para corroborar estos.

#### **4.6. Literatura citada**

Broomhead D.S. and Gregory P. K. 1986. Extracting Qualitative Dynamics from Experimental Data, *Physica D*,20,217-236.

Elsner, J.B. and Tsonis, A.A. 1992. Nonlinear Prediction, Chaos, and Noise. *Bulletin American Meteorological Society*, Vol. 73, No. 1, January.

Hargrove, W. W., F. M. Hoffman, and Sterling. T. 2001. The Do-It-Yourself Supercomputer. *Scientific American*, 265(2):72–79.

Hegger, R., Holger, K., Schreiber T. 1999. Practical implementation of nonlinear time series methods: The TISEAN package. *Chaos* Vol. 9, No. 2, 413-435.

Hoffman F.t M., William W. Hargroveb, W.W., Millsa, R. T., Salil Mahajanc, S.D. J., Ericksona, and Oglesbyd, R. J. 2008. Multivariate Spatio-Temporal Clustering (MSTC) as a Data Mining Tool for Environmental Applications. *iEMSs*. International Congress on Environmental Modelling and Software. Integrating Sciences and Information Technology for Environmental Assessment and Decision Making. 4th Biennial Meeting of *iEMSs*, <http://www.iemss.org/iemss2008/index.php?n=Main>. Proceedings M. Sánchez-Marrè, J. Béjar, J. Comas, A. Rizzoli and G. Guariso (Eds.) International Environmental Modelling and Software Society (*iEMSs*), 1774-1781.

Instituto Nacional de Ecología. INE. 2010. Vázquez A. J.L. (comp). Guía para el cálculo y uso de índices de cambio climático en México.

Kadioglu M. and Sen Z. 1998. Power-law Relationship in Describing Temporal and Spatial Precipitation Pattern in Turkey *Theor. Appl. Climatol.* 59, 93-106.

- Kalkstein, L.S., G. Tan, and Skindlov, J.A. 1987. A comparison of three clustering procedures for use in synoptic climatological classification. *Journal of Climatology & Applied Meteorology*, 19, 717-730.
- Klonowski W. 2002. Chaotic dynamics applied to signal complexity in phase space and in time domain. *Chaos, solitons and fractals*, 14, 1379-1387.
- Morales, A.T., Medel, R. A., Morales, A. F. J., Cortés P. E., Morales, C. X. 2008. Data Mining vs. Mathematical Modelling: Nonlinear Dynamics and Chaos Theory. *iEMSs . International Congress on Environmental Modelling and Software. Integrating Sciences and Information Technology for Environmental Assessment and Decision Making. 4th Biennial Meeting of iEMSs*, <http://www.iemss.org/iemss2008/index.php?n=Main>. Proceedings M. Sánchez-Marrè, J. Béjar, J. Comas, A. Rizzoli and G. Guariso (Eds.) International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs). 1963-1964.
- Selvam, A.M., and Fadnavis, S. 1998. Signatures of a universal spectrum for atmospheric interannual variability in some disparate climatic regimes, *Meteor. Atmos. Phys.*, 66(1- 2), 87-112.
- Sfetsos A., Vlachogiannis D. 2008. A data mining approach to discover weather patterns contributing to PM10 exceedances. *iEMSs*, 1727-1733. *International Congress on Environmental Modelling and Software. Integrating Sciences and Information Technology for Environmental Assessment and Decision Making. 4th Biennial Meeting of iEMSs*, <http://www.iemss.org/iemss2008/index.php?n=Main>. Proceedings M. Sánchez-Marrè, J. Béjar, J. Comas, A. Rizzoli and G. Guariso (Eds.) International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs).
- Sivertsen, T.H. 2005. Discussing the scientific method and a documentation system of meteorological and biological parameters. *Phys. Chem. Earth*. 30:35-43
- Turcotte, D.L. 2003. "The Relationship of fractals in Geophysics to "New Science". *Chaos, Solutions & Fractals*, Vol. 27, Issue 1, 210-217.

Van der Vaart, H.R. 1973. A comparative investigation of certain difference equations and related differential equations: Implications for model building. *Bull. of Math. Biol.*, 35, 195-21.

Zupanski, M., and Navon, I.M. 2007. Predictability, observations, and uncertainties in the geosciences. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 88, 1431–1433.

## **CAPÍTULO 5. TENDENCIAS Y VARIABILIDAD DE ÍNDICES DE CAMBIO CLIMÁTICO RELACIONADOS CON LA AGRICULTURA, EN LA MICRO REGIÓN DE SERDÁN, PUEBLA Y EL CARMEN TEQUEXQUITLA, TLAXCALA.**

### **5.1. Resumen**

El impacto simultáneo de la variabilidad natural del clima y el cambio climático sobre la actividad agrícola induce un riesgo en la seguridad alimentaria. El objetivo principal en este trabajo de investigación fue identificar tendencias tanto de incremento o decremento en temperatura y precipitación, así como variabilidad en los índices de cambio climático, con énfasis en la agricultura para la región maicera de Serdán. Debido a la información incompleta de datos diarios de estaciones meteorológicas para dicha región, se utilizó como apoyo la estación meteorológica “cercana” al sitio de estudio, ubicada en El Carmen Tequexquitla, Tlax.; se realizó un análisis de calidad de los datos, se aplicó el software **RClimDex** a la información de estaciones meteorológicas de los dos municipios, relativamente cercanos. Las series de precipitación (**PCP**), temperaturas máximas (**T<sub>máx</sub>**) y mínimas (**T<sub>mín</sub>**) a escala diaria, fueron evaluadas para el periodo 1970 a 2012. De los 27 índices proporcionados por el software se seleccionaron 6, identificando una variabilidad extrema de éstos asociada al impacto simultáneo de la variabilidad natural del clima y modificado por el cambio climático: 1. Días secos consecutivos (**DSC**), 2. Días húmedos consecutivos (**DHC**), 3. Días con heladas meteorológicas (**DHeM**), 4. Precipitación total anual (**PTA**), 5. Precipitación igual o mayor a 10mm (**PCP10**) y 6. Temperatura igual o mayor a 25°C (**T25**), explorando la posibilidad de un incremento de “ondas de calor”. La estación auxiliar de El Carmen Tequexquitla, nos permitió deducir el comportamiento de la variabilidad del clima en la región. También se encontró relación de la **PCP** con la fase del evento de **EL NIÑO**-Oscilación del Sur (**ENOS**), con la fase cálida 1977 y 1998, además de un decremento en la precipitación total anual.

## 5.2. Introducción

El panel intergubernamental sobre el cambio climático (**IPCC**, Intergovernmental Panel on Climate Change) en el Tercer Reporte de Evaluación (**TAR**, Third Assessment Report), integró tres volúmenes en donde concluye, entre otros puntos, que existe un calentamiento global y cambios en el sistema climático; así como evidencias más robustas, de que la mayor parte del calentamiento observado, en los últimos 50 años, es atribuible a la acción humana.

Así mismo señala que las emisiones de gases de efecto invernadero, continuarán alterando la atmósfera y que el clima será afectado durante este siglo. Por otra parte, hay un aumento en la confianza de la habilidad de los modelos para proyectar el clima futuro. Dichos modelos señalan importantes aumentos en la temperatura media global y en el nivel del mar, en cualquiera de los escenarios planteados en el **IPCC**.

Finalmente, se concluye que el cambio climático (**CC**) de origen antropogénico, persista por varios siglos (**IPCC**, 2001a).

En general, para los países en desarrollo se espera una: *reducción importante en los rendimientos de sus cultivos, un decremento significativo en su disponibilidad de agua, un aumento en el número de personas expuestas a enfermedades como el paludismo y el cólera, así como un incremento en el riesgo de inundaciones, producto de lluvias torrenciales y en el aumento del nivel del mar* (**IPCC**, 2001b).

Uno de los grandes retos en las investigaciones actuales, es la realización de estudios de vulnerabilidad que permitan diseñar estrategias de adaptación (**V&A**), de los sistemas humanos sobre los que descansa la productividad y bienestar de nuestra sociedad (**CEPAL**, 2013).

El impulso a los estudios de **V&A** es la tarea que se han propuesto impulsar durante los próximos años, los países comprometidos en la Conferencia de las Partes: ligar las llamadas Comunicaciones Nacionales a los resultados que desarrollen en este campo.

Los estudios actuales de **V&A**, relacionados con la agricultura, parten de considerar que esta actividad es extremadamente vulnerable en los países en desarrollo, ya que se encuentra doblemente expuesta (O'Brien y Leichenko 2000): es vulnerable a los fuertes cambios socioeconómicos que se dan dentro del proceso de la globalización económica y es, además, altamente sensible a las variaciones climáticas, como se observó durante los grandes eventos climáticos que acontecieron en la década de los noventa, particularmente, durante el fuerte evento de **EL NIÑO** de 1997-1998.

Si bien para Latinoamérica se postulan variaciones en los rangos posibles de temperatura y precipitación en condiciones de **CC**, existe confianza en que son las condiciones de **ENOS** las responsables de la variabilidad climática en la región (**IPCC**, 2001b).

Por tanto, variaciones en el clima que implicaran un aumento en el número o la intensidad de este evento constituirían un escenario de **CC** bastante adverso a las actividades productivas de la región.

Durante el Estudio de País, los escenarios regionales construidos a partir de técnicas estadísticas (Magaña *et al.*, 1997) mostraron estas condiciones para varios modelos de circulación general (**GCMs**, General Circulation Models). Aunque el **TAR** no fue concluyente en cuanto a estos aspectos del **ENOS**, si establece la probabilidad de que se alargue la duración del mismo (entre 12 a 18 meses).

En ese caso, pudo presentarse para México dos veranos con sequía, o dos inviernos con bajas temperaturas y lluvias torrenciales.

Además, algunos estudios relacionan a **EL NIÑO** con la mayor presencia de huracanes en el Pacífico; estos meteoros han sido la fuente de grandes desastres en Latinoamérica, particularmente, en Centroamérica y México, ya que las inundaciones y deslizamientos de tierra provocan grandes pérdidas de vidas humanas y de infraestructura que pueden retrasar el desarrollo regional aun por décadas, de acuerdo a la nueva interpretación de **CC**, en la Reunión de **Río + 20**. Donde se consideró al **CC** como un problema para el desarrollo regional y no como un problema ambiental.

Entre las conclusiones de investigaciones recientes sobre Latinoamérica y el cambio climático (Magrin *et al.*, 2007), destacan un incremento a la vulnerabilidad a eventos extremos, en donde el sitio de estudio de este trabajo contribuye a mostrar impactos a escala regional.

Por lo que es necesario generar conocimiento que permita retroalimentar las actividades agrícolas conocidas como “de temporal”, y a su vez mejore la actividad económica. Dicha región está comprendida en la localidad de Ciudad Serdán que junto con la estación de apoyo situada en El Carmen Tequextitla, comparten una micro cuenca hidrológica (Velasco *et al.*, 2013).

### 5.3. Materiales y métodos

El interés de elegir esta zona, fue por su alta producción de maíz, debido a que es un agrosistema altamente productivo de acuerdo a Ramírez (2013) y por la alta presencia de siniestros a través del tiempo y, principalmente, por los registrados en los últimos años.

Se calcularon índices de **CC** a partir de las series de datos observados de temperatura y precipitación, de acuerdo con la metodología de la “Guía para el cálculo y uso de índices de cambio climático en México” (INE, 2010). La base de datos (**BD**) de esta investigación, corresponde a los registros de dos estaciones meteorológicas con las series de tiempo (**ST**) de **PCP**, **T<sub>máx</sub>** y **T<sub>mín</sub>**, a escala diaria, para el periodo 1970 a 2012. A continuación se realizará una breve descripción, desde el punto de vista geográfico, del municipio donde se encuentra la estación meteorológica y que conforma la región de estudio. La localidad de Ciudad Serdán está situada en el municipio de Chalchicomula de Sesma, Puebla. Es considerado como uno de los más importantes de la zona oriente del Estado; el municipio es parte de un **valle** en el centro del estado, Colinda al norte con San Juan Atenco, Aljojuca y Tlachichuca, al sur con Esperanza, al este con Atzitzintla, al oeste con Palmar de Bravo y Quecholac. Con una **altitud** de **2526 msnm**. Su extensión es de 364 km<sup>2</sup> (coordenadas geográficas latitud norte,  $\phi = 18^\circ 59' 20''$  y longitud oeste,  $\psi = 97^\circ 26' 48''$ ). El territorio tiene valles, llanuras y montaña. El principal cultivo es

el maíz, seguido del frijol, haba; la naturaleza vegetal es amplia y se forma por arbustos, nopales, hierbas, algas, hongos, helechos y musgos; en las montañas el clima es frío y en los valles es templado. El Citlaltépetl o Pico de Orizaba es la elevación más importante y la principal zona boscosa, además de tener una pradera de alta montaña (INEGI, 2009). Figura 10.



**Figura 10. Sitio de estudio.**

**Fuente: Google Earth 2014.**

El municipio de El Carmen Tequexquitla se localiza en el estado de Tlaxcala y se encuentra entre las coordenadas geográficas latitud norte  $\phi = 19^{\circ} 19' 28''$  y longitud oeste  $\psi = 97^{\circ} 39' 21''$ . Está situado a una altura promedio de 2,380 msnm. El Carmen Tequexquitla proviene de las palabras de la lengua náhuatl; "La Primera", Tequexquitl, significa "Salitre" y la última, "Tla", denota "Abundancia". Así Tequexquitla quiere decir "Lugar de Tequezquite o Tequezquitla". La mayor parte del territorio del municipio, colinda con el estado de Puebla. En efecto, el municipio tiene fronteras con Puebla por tres puntos cardinales: norte, sur y oriente; asimismo establece linderos al poniente con el municipio de Cuapixtla.

Las unidades de producción rural ocupan una superficie de 2,952 ha, espacio que representa el 1.2% de la superficie total del estado. De tal extensión 1,989

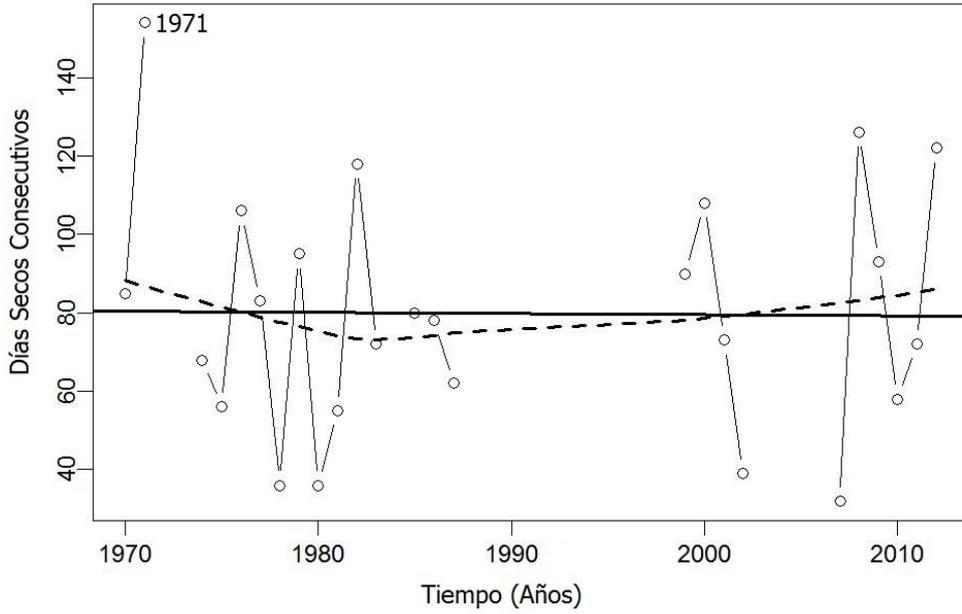
ha, el 67.4% constituyen la superficie de labor, o sea las tierras dedicadas a cultivos anuales o de ciclo corto, frutales y plantaciones (INAFED, 2010).

Con respecto a la metodología, se aplicó el software **RClimDex**. Está diseñado para propiciar una interface amigable para calcular 27 índices de extremos climáticos, recomendados por el Equipo de Expertos de **CC/CLIVAR**: Commission on Climatology/Climate Variability and Predictability, así como otros índices de temperatura y precipitación, por su gran importancia (Hernández *et al.*, 2014), con límites definidos por el usuario.

#### **5.4. Resultados y discusión**

En la figura 11, se muestra el análisis de las **ST** de precipitación diaria, de las estaciones meteorológicas de El Carmen Tequexquitla (**ECT**) y Ciudad Serdán (**CS**), para el periodo 1970-2012, presentando el comportamiento de los Días Secos Consecutivos (**DSC**), considerando dos tendencias: Lineal (-----) y No-Lineal (- - - -).

21026 Ciudad Serdán



29007 El Carmen Tequexquitla

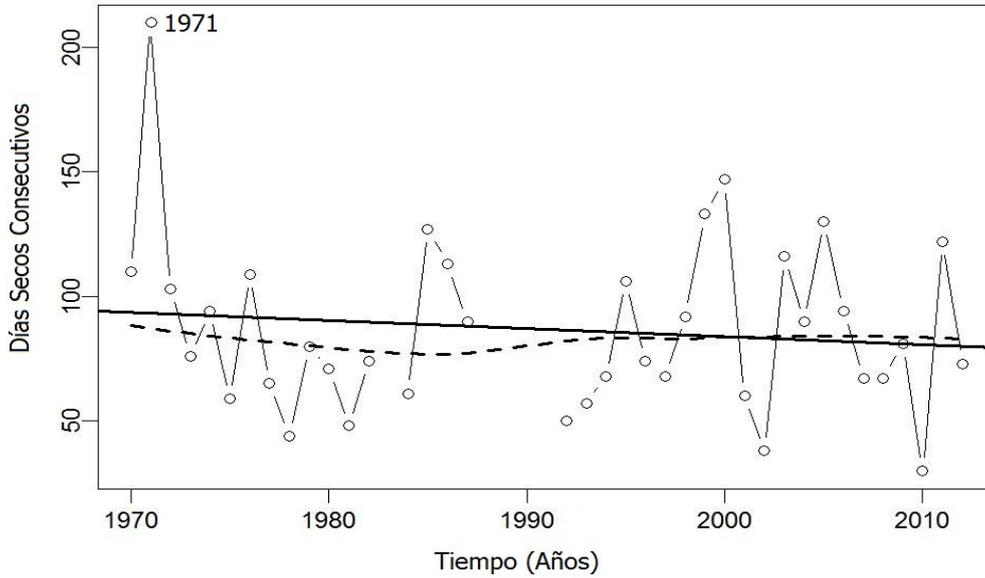
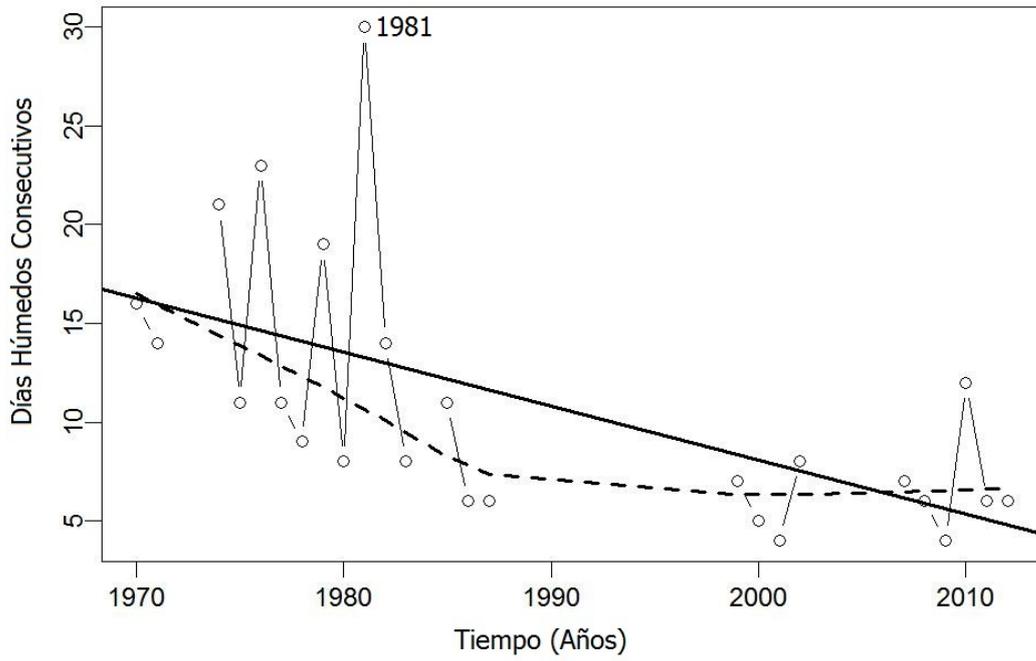


Figura 11. Variabilidad anual de los días secos consecutivos para dos estaciones.

Ambas estaciones, registraron un máximo de **DSC** en sus respectivas escalas, para 1971, indicándonos que ese año, al menos para la región, fue seco. Se observa que la tendencia en los **DSC** para la estación **ECT**, ubicada en el estado de Tlaxcala, muestra una tendencia descendente lineal, sin embargo, para **CS**, en Puebla, se observa una tendencia ascendente no lineal, por otro lado, la interpretación de la primera estación es más robusta por la cantidad de datos. Dicha variable y su complemento, días húmedos consecutivos (**DHC**) son de vital importancia, debido a que los cultivos se someterían a etapas de estrés hídrico o a periodos húmedos. También se identifica variabilidad anual decadal con amplitud menor para los 70's e inicio de los 80's, para la estación **ECT**.

En la figura 12, se muestra el análisis de las **ST** de precipitación de las estaciones meteorológicas de **ECT** y **CS** para el periodo 1970-2012, presentando el comportamiento de los Días Húmedos Consecutivos (**DHC**), considerando las dos tendencias: Lineal (-----) y No-Lineal (- - - -).

21026 Ciudad Serdán



29007 El Carmen Tequexquitla

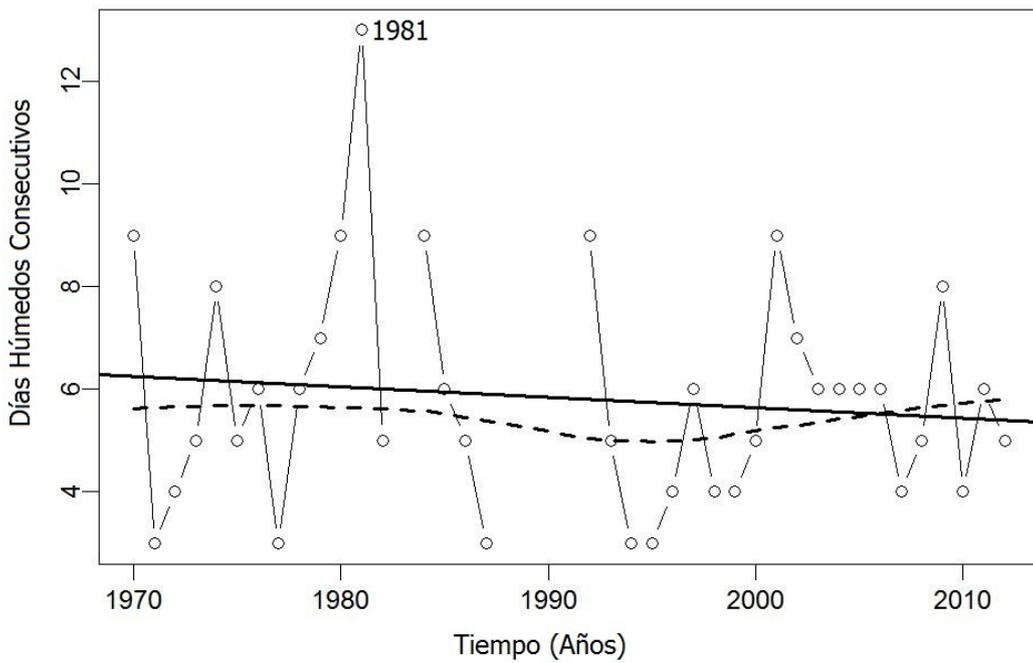
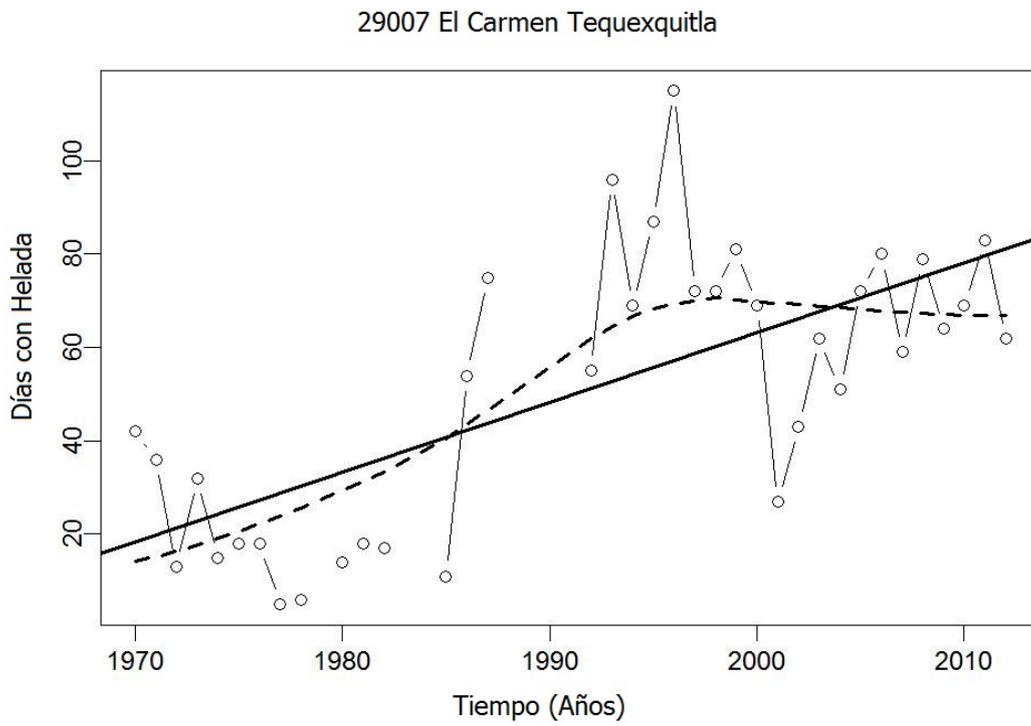
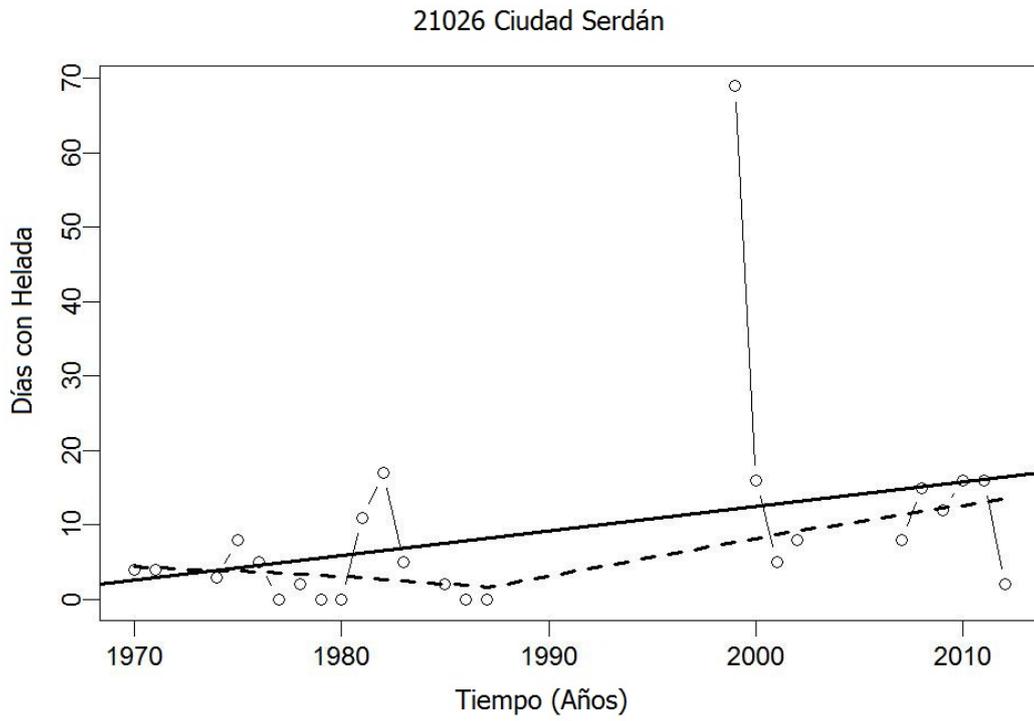


Figura 12. Variabilidad anual de los días húmedos consecutivos para dos estaciones.

Se observa una ligera tendencia descendente en los **DHC** en **ECT** de 6.3 a 5.8 aproximadamente, en comparación con la **CS** se muestra una tendencia descendente considerable en la década de los años 70's y mediados de los 80's, se percibe que los **DHC** fueron buenos, pero, la tendencia no lineal decae hasta 6. La humedad representa una variable que es importante en la época de siembra y del tipo de cultivo del productor. También ambas estaciones presentaron un máximo en los **DHC** en sus respectivas escalas para 1981, indicándonos que ese año al menos para la región fue un año lluvioso, al compartir un mismo evento de gran escala generando condiciones favorables de lluvia.

En la figura 13, se muestra el análisis de las **ST** de temperatura diaria de las estaciones meteorológicas de **ECT** y **CS** para el periodo 1970-2012, presentando el comportamiento del número anual de Días con Helada Meteorológica  $T < 0^{\circ}\text{C}$ , es decir, no son Heladas Agronómicas (**DHeM**), considerando ambas tendencias: Lineal (-----) y No-Lineal (- - - -).



**Figura 13. Variabilidad anual del número de días con helada meteorológica.**

Se observa que las tendencias para ambas estaciones son ascendentes, para **DHeM** la tendencia tiene un incremento considerable de valores de 20 **DHeM**, manteniéndose hasta los años 80's y a principios de los años 90's aumentando hasta 80 para **ECT**.

Por lo que se refiere a **CS**, también la tendencia es positiva, sin embargo, el número de heladas es mucho menor, teniendo un máximo valor de 20 **DHeM**. Se nota que en el año 2000 hay un dato de 68 **DHeM**, a pesar de la ausencia de datos no se puede mostrar si el dato es atípico.

En el caso de que las heladas meteorológicas alcancen  $-4.0^{\circ}\text{C}$  o aún menos para los cultivos, el congelamiento del agua en las plantas es mortal, ya que al dilatarse los cristales de hielo perforan las membranas celulares.

Las heladas pueden provocar la muerte parcial o total como en la etapa de la inflorescencia, la caída de las hojas o frutos, la muerte de yemas, etc., además, un envejecimiento precoz del tejido fotosintético por necrosis celular y un retardo en el desarrollo de los órganos de la planta.

Se sabe que el desarrollo de cultivos está asociado con el periodo libre de heladas.

Las fechas de inicio y fin de éstas, además, de la fecha de inicio de lluvias definen la etapa potencial de siembras y cosechas.

De tal forma que un análisis del periodo libre de heladas con diferentes probabilidades de ocurrencia, será de gran importancia para la planificación y el éxito potencial de los cultivos.

Las heladas tempranas o tardías llegan a ser catastróficas para el desarrollo de los cultivos, dependiendo de la fase vegetativa del cultivo.

En la Figura 14 y 15 se muestra el análisis de las **ST** de precipitación, de las estaciones meteorológicas de **ECT** y **CS**, respectivamente, además de las condiciones del **ENOS**, consultado de la **NOAA** (National Oceanic and Atmospheric Administration), para el periodo 1970-2012, presentando el comportamiento de la precipitación total anual (**PTA**), considerando las dos tendencias: Lineal (-----) y No-Lineal (- - - -).

21026 Ciudad Serdán

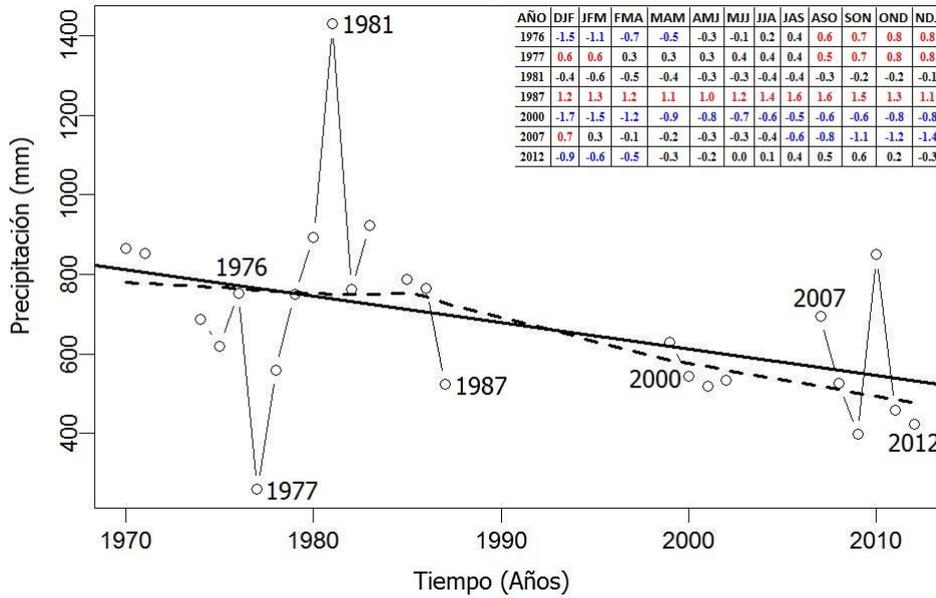


Figura 14. Variabilidad anual de la precipitación acumulada para CS.

29007 El Carmen Tequexitla

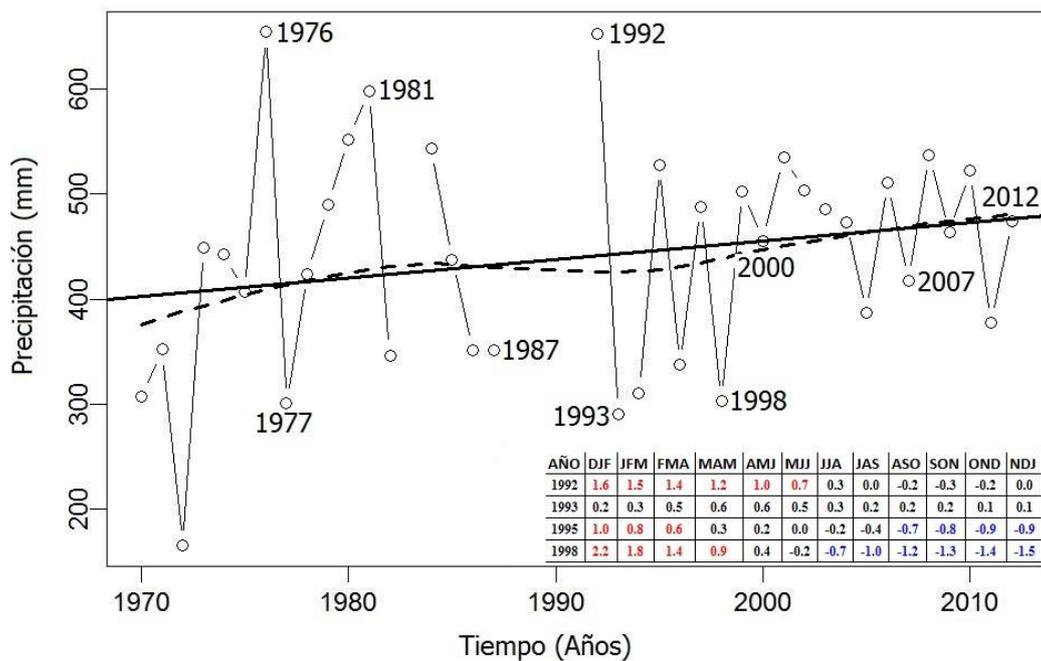


Figura 15. Variabilidad anual de la precipitación acumulada para ECT.

Se observa que **ECT**, muestra una ligera tendencia ascendente de la variación de la precipitación anual, que varía de 400 mm a 450 mm, y para la **CS** se nota que en las décadas de los años 70's, 80's y principios de los 90's, muestra una **PTA** favorable, nótese la diferente escala entre figuras.

No obstante, a principios de los años 90's ha disminuido aproximadamente a la mitad de 980 mm a 430 mm.

Debemos recordar que para los cultivos, no toda la precipitación que cae en un lugar es almacenada en la zona de raíces.

Por lo que es de interés conocer una parte de esa precipitación llamada "precipitación efectiva".

Otro factor que se identificó en la variable de **PTA**, en base a la realización de una encuesta a productores de maíz del municipio de Chalchicomula de Sesma, mencionan que en los años 70's y 80's, tuvieron los mejores rendimientos en la producción del maíz.

En la figura 14, se observa que en estas décadas la lluvia fue favorable, con excepción de los años 1977 y 1987, resaltando los estados Neutro en la zona **NIÑO3**.

A partir del año 1990, la **PTA** decrece. Apoyándonos en la estación cercana **ECT**, se muestra la figura 15, donde se observan los años que faltan en la estación de **CS** con una variabilidad menor durante la década de los 90's y con una tendencia de la **PTA** a incrementarse hasta el 2012.

Sin embargo para **CS**, aunque hubo variabilidad con respecto a los eventos de años **NIÑA** y años **NEUTROS**, destacan los años **NIÑO**, con una tendencia de la **PTA** a disminuir (1977 y 1987).

Para la estación de **CS**, con respecto a la última década 2000-2010 y hasta el año 2012, se presentan eventos de años **NIÑA** y años **NEUTRO**, lo cuales se han considerado propicios para la lluvia, no obstante, la tendencia para la estación de **CS** es la disminución de la **PTA**.

Otros años que se identificaron con relación a **EL NIÑO** fueron: En el año de 1976 para **ECT**, con 4 meses de **NIÑA-NEUTRO-NIÑA**, se muestra un aumento en la **PTA** y ocurre lo contrario para **CS**. En 1977 hay una coincidencia de ambas estaciones de una tendencia a disminuir.

En 1981 también existe un aumento de **PTA** que coincide para ambas estaciones con un año **NEUTRO**. En 1987 hay una disminución que coincide con un evento de **NIÑO**. Se observa que en la década de los 90's para la estación de **CS** no hay datos.

Se muestra una menor amplitud destacando los años: 1992,1993, 1995 y 1998, con eventos en la mayoría de **NIÑO**, **NEUTRO** y con escasos eventos de años **NIÑA**.

En el año 2000 coincide con una tendencia a disminuir en ambas estaciones en **NIÑA**. En el año 2007 destacan los meses **NEUTRO** en donde no coinciden con las tendencias en ambas estaciones. En el año 2012 con 9 meses de años **NEUTRO**, se muestra un aumento de la **PTA**, para **ECT**, lo contrario para **CS**. Los datos observados en la zona del **NIÑO3** se muestran en la tabla 3.

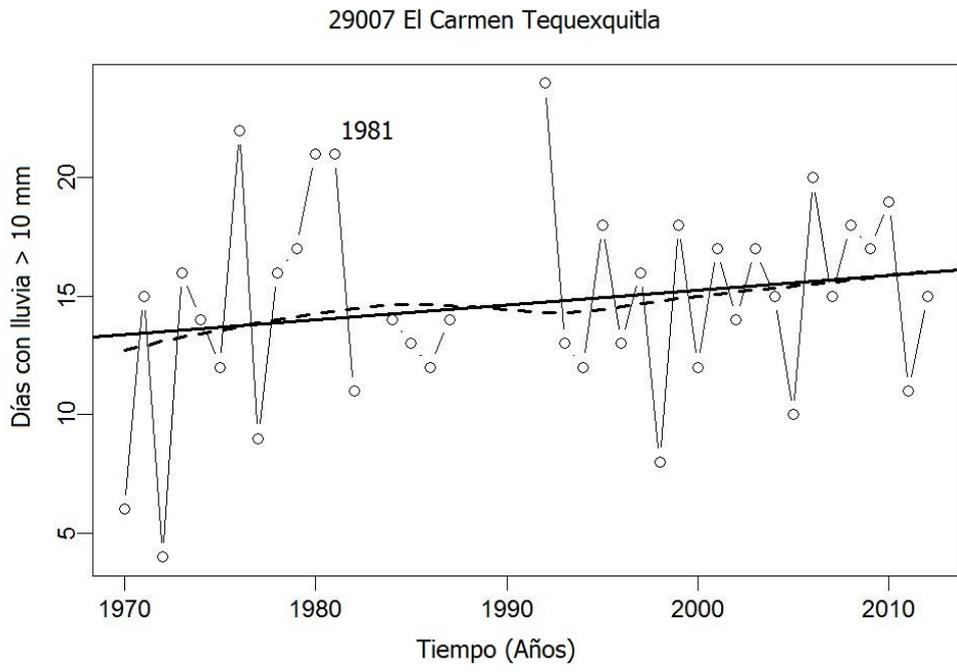
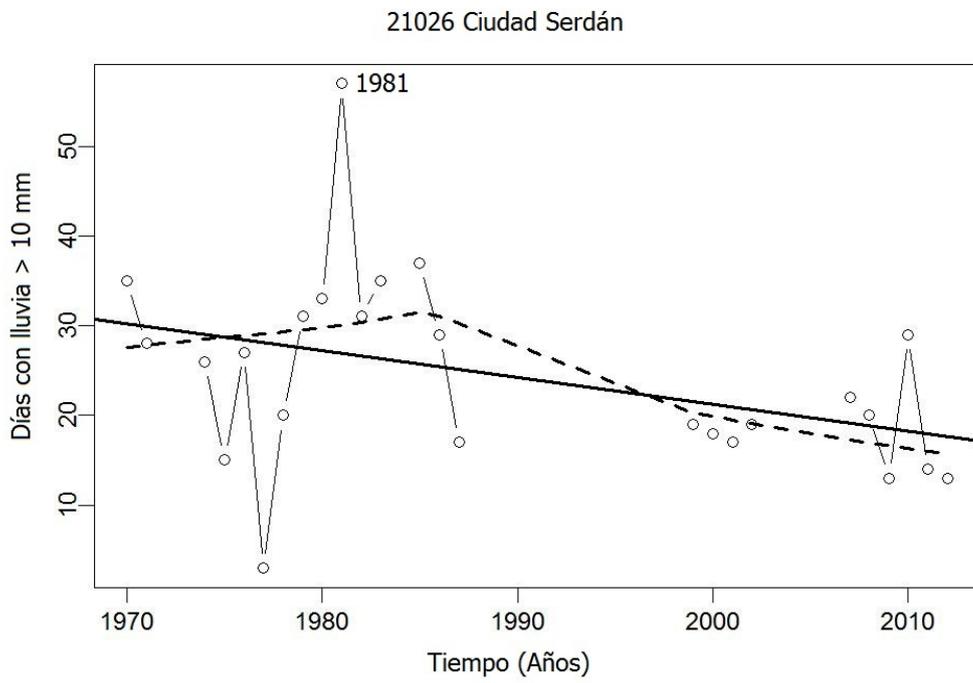
**Tabla 3. Variabilidad ENOS de años identificados**

<b>AÑO</b>	<b>DEF</b>	<b>EFM</b>	<b>FMA</b>	<b>MAM</b>	<b>AMJ</b>	<b>MJJ</b>	<b>JJA</b>	<b>JAS</b>	<b>ASO</b>	<b>SON</b>	<b>OND</b>	<b>NDE</b>
1976	-1.5	-1.1	-0.7	-0.5	-0.3	-0.1	0.2	0.4	0.6	0.7	0.8	0.8
1977	0.6	0.6	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5	0.7	0.8	0.8
1981	-0.4	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1
1987	1.2	1.3	1.2	1.1	1.0	1.2	1.4	1.6	1.6	1.5	1.3	1.1
1992	1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	0.7	0.3	0.0	-0.2	-0.3	-0.2	0.0
1993	0.2	0.3	0.5	0.6	0.6	0.5	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
1995	1.0	0.8	0.6	0.3	0.2	0.0	-0.2	-0.4	-0.7	-0.8	-0.9	-0.9
1998	2.2	1.8	1.4	0.9	0.4	-0.2	-0.7	-1.0	-1.2	-1.3	-1.4	-1.5
2000	-1.7	-1.5	-1.2	-0.9	-0.8	-0.7	-0.6	-0.5	-0.6	-0.6	-0.8	-0.8
2007	0.7	0.3	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.6	-0.8	-1.1	-1.2	-1.4
2012	-0.9	-0.6	-0.5	-0.3	-0.2	0.0	0.1	0.4	0.5	0.6	0.2	-0.3

Fuente: NOAA, 2014.

En la figura 16, se muestra el análisis de las **ST** de precipitación diaria, de las estaciones meteorológicas de **ECT** y Ciudad Serdán **CS**, para el periodo 1970-2012, presentando el comportamiento del número de días en un año en que la

precipitación es mayor o igual a 10 mm (**PCP10**), considerando las dos tendencias: Lineal (-----) y No-Lineal (- - - -).



**Figura 16. Variabilidad del número de días en un año, cuando la precipitación es mayor a 10 mm.**

Se muestra que la estación **ECT**, tiene una tendencia ligeramente ascendente, nótese la diferencia de escalas, la cual se ha mantenido a lo largo del tiempo, con un aumento promedio de 13 a 17 eventos con una **PCP10**.

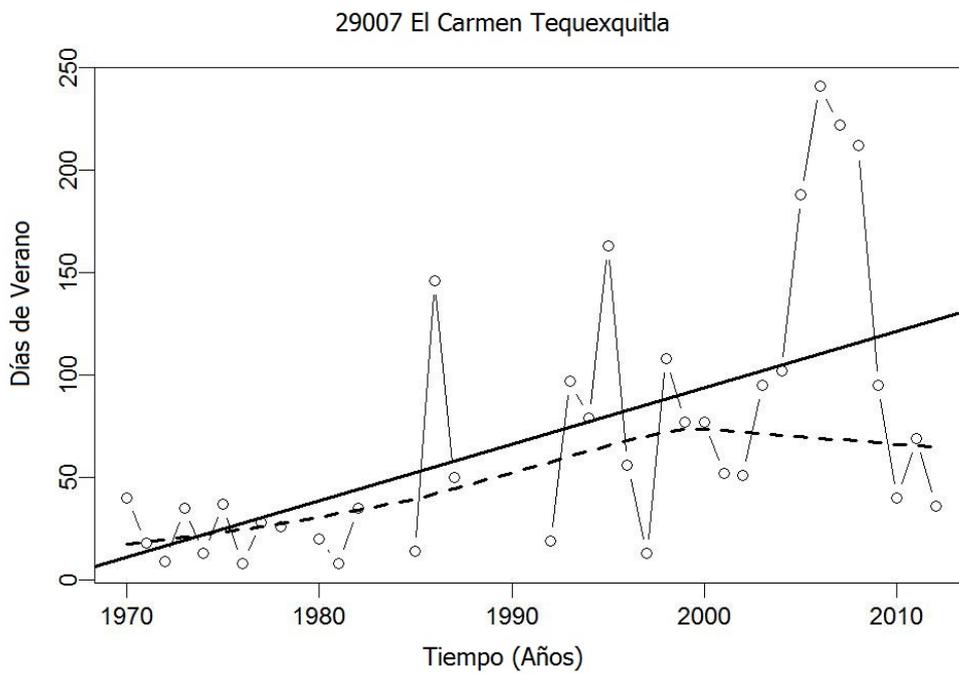
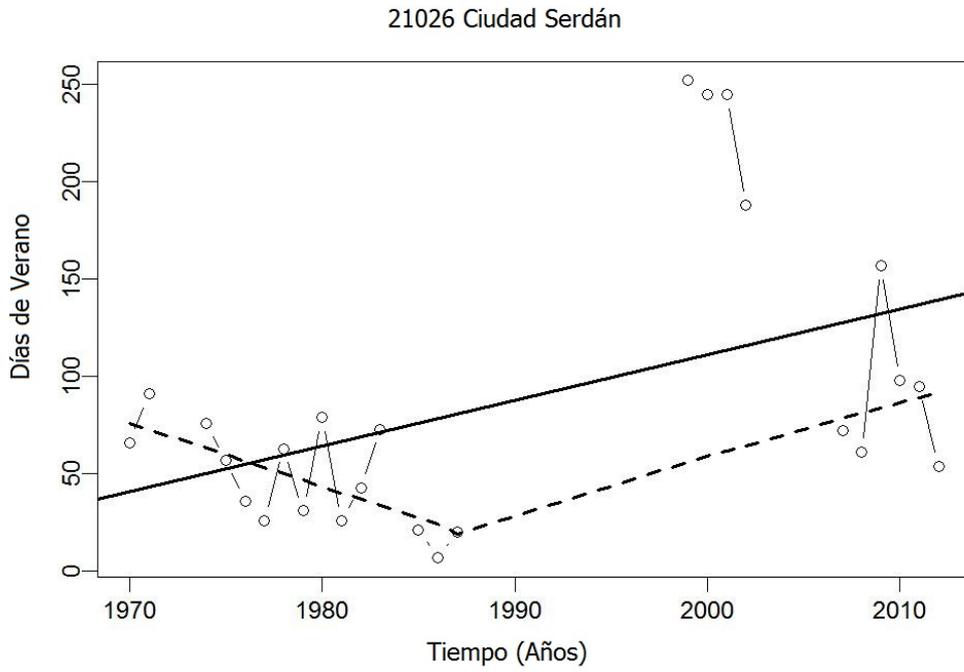
Para la estación de **CS**, se observa una tendencia contraria que varía de 30 hasta 15 ocurrencias con ese límite.

Para los cultivos es una medida para estimar la mínima evapotranspiración del cultivo y lograr rendimientos altos, además de estables y asegurar la máxima calidad de producto cosechable.

Uno de los valores máximos de la **PCP10** para la estación **ECT** también se presenta para la estación de **CS** en sus respectivas escalas.

El cual está relacionado al mismo evento a gran escala identificado para los máximos en los **DHC** para 1981.

En la figura 17, se muestra el análisis de las **ST** de la **T<sub>máx</sub>** diaria, de las estaciones meteorológicas de **ECT** y **CS**, para el periodo 1970-2012, presentando el comportamiento de días de verano, es decir, el número de días en un año cuando la temperatura máxima diaria es mayor a 25°C (**T25**), considerando las dos tendencias: Lineal (-----) y No-Lineal (- - - -).



**Figura 17. Variabilidad del número de días en un año, cuando la temperatura máxima diaria es mayor a 25°C.**

Ambas estaciones **ECT** y **CS** muestran, en la década de los 70's, una variabilidad de amplitud relativamente pequeña; también se observan tendencias de incrementos a través del tiempo de días con **T25**; para la estación **ECT** se identifican incrementos de 50 días **T25** en la tendencia lineal, cada 15 años.

Por otra parte, resalta en **CS** que existe escasez de datos, sin embargo, se muestra que a principios del año 2000 se presentan datos, que varían de 180 a 250 días con **T25**.

Los principales efectos en las plantas por las altas temperaturas son: menor firmeza y coloración irregular del fruto, cierre potencial de los estomas por alta demanda evapotranspirativa ambiental que genera condiciones de estrés hídrico a la planta, destrucción de tejidos enzimáticos, entre otros.

## **5.5. Conclusiones**

Las variables que coincidieron en ambos municipios, **ECT** y **CS**, con tendencias ascendentes fueron: **DSC**, **DHeM**, y **T25**. La variable de **DHC** para la estación de **CS**, existe una situación crítica en la tendencia lineal y no lineal descendente.

Con respecto a la precipitación se muestra un dato interesante para la estación **ECT** se tienen 400 mm con tendencia ascendente, lo contrario, para **CS** donde se tiene la tendencia descendente hasta 400 mm.

Si bien, todas las variables son vitales para el desarrollo de un cultivo las heladas son consideradas decisivas, sin importar la etapa de crecimiento de un cultivo.

Considerando esto, el municipio de Cd. Serdán es menos vulnerable a las heladas, comparado con el municipio **ECT**.

El estudio de las tendencias lineales y no lineales que se analizaron muestran la importancia que tienen para los productores y tomadores de decisiones el tipo de cultivo para que se adapte a las condiciones adversas de la variabilidad del clima.

Cabe destacar que ambos municipios comparten la cuenca hidrológica, esto es importante para entender el comportamiento del número de heladas una de las principales variables que se estudiaron en este proyecto. Analizar el comportamiento anual de días secos consecutivos en forma complementaria con los días húmedos consecutivos, además de identificar sus tendencias lineal como no-lineal nos permitió conocer la variabilidad intraanual e interanual, así como decadal, generando información y, por lo tanto, conocimiento que puede ser aprovechado en beneficio para obtener mejores rendimientos, al considerar y utilizar por un lado las tendencias anuales y, por otro, las decadales.

Se logró evaluar la potencial intercomparación entre dos series de tiempo con registros relativamente diferentes, pudiendo inferir comportamientos o dinámicas de las variables cuando una estación no cuente con suficientes datos.

Las **ST** están dominadas preferentemente por los forzantes locales, en el caso de **ECT** está un lago que funge como un termorregulador y puede ser el causante de que se presenten dos épocas frías, una en la época del invierno y otra mientras se recupera la temperatura del lago que puede durar incluso meses dependiendo del clima, y para **CS** se tiene un impacto directo de la brisa de montaña asociado al volcán Citlaltepec dando una firma local, sin embargo, desde el punto de vista regional comparten forzantes de gran escala como son los océanos y el posible cambio climático, manifestándose en forma diferenciada.

Se considera que no todas las respuestas en el proceso agrícola se encuentran en el clima, también habría que tener en consideración que la vulnerabilidad agrícola está íntimamente relacionada con la degradación del suelo, la descapitalización y el envejecimiento de los productores de temporal.

También existen otras relaciones como el tipo de agrosistema, política agrícola, entre otras.

La investigación representa un enfoque a escala local y contribuye en la gestión de los tomadores de decisiones en las variables críticas de un cultivo.

## 5.6. Literatura citada

- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. CEPAL. 2013. Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina (LC/W.563), Santiago de Chile.
- Hernández R. M. de L., Castellón G. J. J., Morales A.T. 2014. "Estudios Sociales Sobre Agua, Actualidades y Perspectivas" Vol. I, Doc. 26. Universidad de Guanajuato, Colpos, REDISSA. Salvatierra, Guanajuato. ISBN: 978-607-441-286-4
- Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal INAFED. 2010. Consultado el 02 de marzo de 2015 en: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM29tlaxcala/municipios/29007a.html>
- Instituto Nacional de Ecología. INE. 2010. Vázquez A. J.L. (comp). Guía para el cálculo y uso de índices de cambio climático en México.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. INEGI. 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Chalchicomula de Sesma, Puebla.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. 2001a. Working Group I. Newsletter No. 8. WMO, UNEP. Consultado en <http://www.ipcc.ch>, el 23 de agosto de 2013.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. 2001b. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policy Makers. Working Group II.
- Magaña, V., C. Conde, O. Sánchez and C. Gay. 1997. Assessment of current and future regional climate scenarios. *Climate Research* 9: 107-114.
- Magrin, G., C. Gay G., D. Cruz, C. J.C. Giménez, A.R. Moreno, G.J. Nagy, C. N. and Villamizar, A. 2007. Latin America. Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 581-615.

National Oceanic and Atmospheric Administration. NOAA. 2014. Consultado el 25 de septiembre de 2014, disponible en: [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)

O'Brien, K. y Leichenko R. 2000. Double exposure: assessing the impacts of climate change within the context of economic globalization. *Global Environmental Change* 10: 221-232.

Ramírez H. M. 2013. Tesis de maestría. Política agrícola y heladas en el medio rural. Caso de los productores de maíz en Tlachichuca, Puebla. 78 pp.

Velasco H. M. de los A., Morales, A. T., Estrella Ch. N. G. 2013. "Aplicación del Enfoque de Minería de Datos en la Variabilidad del Clima en el Municipio de Ciudad Serdán, Puebla, México" *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo* ISSN 2007-2619. No. 10, Enero-junio. 13 Págs.

## **CAPÍTULO 6. RELACIONES MÚLTIPLES ENTRE VARIABLES CLIMATOLÓGICAS, FENOLOGÍA DEL MAÍZ, EL NIÑO Y TELECONEXIONES PARA DISTINTOS NIVELES DE PRODUCCIÓN EN EL VALLE DE SERDÁN, PUEBLA (1980-2013).**

### **6.1. Resumen**

Las tendencias de los índices climáticos en series de tiempo históricas, representan diferentes amplitudes de variabilidad natural o cambio climático, relacionados con la agricultura. Sin embargo, resulta interesante conocer la distribución de la precipitación a otra escala. Se aplicaron entrevistas a informantes claves, con experiencia de más de 30 años en la siembra del maíz, a fin de seleccionar casos de años con niveles diferentes de producción y periodos de siembra. El objetivo es construir relaciones múltiples de la distribución de la lluvia a escala pentadal. Se utilizó un programa con el software matlab, en diferentes niveles de rendimientos en el cultivo de maíz y su afectación con rendimientos del maíz en los años buenos, regulares, un año malo y su correlación con los huracanes y el **ENOS (EL NIÑO Oscilación del Sur)**. Los resultados muestran que la distribución de la lluvia es el principal factor para el desarrollo del maíz y el tipo de evento del **ENOS**, está relacionado con la abundancia y escasez de la distribución de la precipitación, la presencia de la teleconexión; corresponde con los huracanes en los valores máximos de la precipitación.

### **6.2. Introducción**

A partir de evidencias de la influencia de la alta variabilidad/cambio climático en múltiples actividades humanas, cada vez se hace necesario entender las maneras, los tiempos y los niveles o grados en las cuales se manifiestan esas influencias del clima en la sociedad. Por su importancia socioeconómica, por su dependencia del clima y por su condicionamiento de manera directa, la agricultura en general y la de temporal orientada a producir granos básicos

requiere de un entendimiento cabal a fin de promover y adoptar medidas para su adaptación, dado el alto riesgo y vulnerabilidad de la actividad.

En estos aspectos Chmielewski (2004), durante el periodo de 1961 al 2000, observó cambios de temperatura en invierno, adelanto de la fecha de inicio de la primavera y aumento en la temperatura promedio.

Dichos cambios ocasionan modificaciones en las etapas fenológicas en varios días por cada década.

Se acepta que el aumento de temperaturas (por el calentamiento global) tiene efectos en la fenología, según las diferentes especies puesto que se requieren completar ciertos requerimientos de calor para completar las fases de la fenología, hasta la floración y fructificación (Porter, 2005; Ramos, 2010).

En la región de Toluca, México, un aumento en la temperatura modificará negativamente las fases fenológicas del maíz, afectando la fase de la floración; la escasez o abundancia de agua afectarán la fenología, la floración, el desarrollo de plagas y enfermedades que impactarán negativamente en la producción (Granados y Sarabia, 2013).

Una disminución en la precipitación y un aumento en la temperatura podría ocasionar el cambio de siembras de marzo con maíces criollos de ciclo largo (220 días), a siembras de junio con maíces de ciclo corto de 140 días en Michoacán (Ramírez, 2013).

Por otra parte, Ramírez (2015), encontraron en poblaciones criollas de maíz ante efectos de cambio climático, la posibilidad de una reducción en 20 días de la floración femenina, el cambio de la fecha de siembra de abril a junio y disminuciones del área foliar (29%) y del rendimiento (46%).

Se postula también que las variaciones de precipitación y temperatura para Latinoamérica, serán más grandes que las actuales; así mismo las condiciones del **ENOS**, son las responsables de esa mayor variabilidad (IPCC, 2001).

**EL NIÑO** y sus efectos tienen un carácter polémico; por ejemplo se le asocia con afectaciones y grandes desastres a nivel Centroamérica y México (inundaciones, deslaves, pérdidas materiales y vidas); también se le asocia con efectos benéficos en los sistemas de irrigación controlados y sus fuentes de aprovechamiento de agua (Magaña, 2004).

Se señala que si bien el tercer reporte emitido por el **IPCC** (2007), no es concluyente respecto al **ENOS**; si establece la probabilidad de que se alargue la duración del mismo de 12 a 18 meses. Se señala, aunque sin fundamento que el **ENOS** pudiera ser más frecuente e intenso.

Independientemente de la situación real y sus polémicas se abre la posibilidad de estudiar la variabilidad regional del clima del pasado, a la luz de condiciones de **EL NIÑO**; por ejemplo los años de 1997 y 1998.

A otros niveles existen procesos que relacionan la variabilidad del clima mediante mecanismos físicos de teleconexión entre las temperaturas anómalas de la superficie del mar en el Atlántico subtropical y la variabilidad climática en la región Euro-Atlántica (De Fonseca y Mendoza, 2004).

Sánchez *et. al.* (2004), demostraron evidencias de teleconexiones en el Atlántico Tropical Superior.

En este contexto y antecedentes es que se plantea esta investigación cuyo marco general es el cambio climático y sus relaciones con la agricultura y en particular con la producción de maíz en condiciones de temporal. El objetivo es construir las múltiples relaciones que existen entre niveles de producción de maíz, variables climatológicas asociadas a la agricultura, fenología del cultivo y eventos extraregionales pertinentes para el valle de Serdán, durante el periodo 1980-2013. Se utiliza como método central, la selección de años en casos típicos y atípicos.

### **6.3. Materiales y métodos**

Con la idea de lograr el objetivo señalado líneas arriba, se aplicó el procedimiento siguiente de manera secuenciada. En una primera etapa se aplicaron entrevistas a informantes claves, con experiencia de más de 30 años en la siembra del maíz, a fin de captar y seleccionar casos de años con niveles diferentes de producción y periodos de siembra. En una segunda fase se realizó una consulta a expertos a fin de precisar las etapas de la fenología del maíz y su duración promedio; esta consulta se realizó a investigadores con experiencia en la región, así como a agricultores. Dicha información se complementó con datos de los umbrales de temperatura mínima y máxima.

La base de datos (**BD**) está conformada por (**ST**) diarias de las variables: precipitación (**Pcp**) y temperaturas máximas (**Tmáx**) y mínimas (**Tmím**) de la estación meteorológica llamada “Ciudad Serdán”, debido a que se tenían datos de algunos años que se identificaron, se utilizó la estación “La Trinidad”.

Dentro de la variabilidad del clima terrestre, sobresale una escala asociada a un calentamiento con intensidades débiles y fuertes en las anomalías de la temperatura de la superficie del mar en el océano pacífico tropical del este, conocido como **EL NIÑO**, sin embargo, existe la fase complementaria de enfriamiento, conocida como **LA NIÑA**.

Debido a que los pescadores del Perú, notaron que éste calentamiento se presenta sistemáticamente a finales de año, cuando se celebra el nacimiento del NIÑO Jesús, le nombraron a este evento **EL NIÑO**.

Los científicos nombraron a la fase contraria **LA NIÑA**.

Desde luego que se presentan una fase de transición, conocida como **NEUTRO**. Desde el punto de vista oceanográfico, se conoce como **ENOS**. La tabla 4 presenta los valores de los años anteriores y posteriores que se identificaron en el presente capítulo. En la parte superior de encuentra el promedio de los tres meses del año.

Los colores que se observan corresponden a:

EL NIÑO: color rojo

LA NIÑA: color azul

NEUTRO: color negro

**Tabla 4. Anomalías de la temperatura del Océano Pacífico Tropical del Este**

AÑO	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDE
1979	-0.1	0.1	0.2	0.3	0.2	0	0	0.2	0.3	0.5	0.5	0.6
1980	0.5	0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.1	0	0	-0.1
1981	-0.4	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1
1982	-0.1	0	0.1	0.3	<b>0.5</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>1</b>	<b>1.5</b>	<b>1.9</b>	<b>2.1</b>	<b>2.2</b>
1983	<b>2.2</b>	<b>1.9</b>	<b>1.5</b>	<b>1.2</b>	<b>0.9</b>	<b>0.6</b>	0.2	-0.2	<b>-0.5</b>	<b>-0.8</b>	<b>-0.9</b>	<b>-0.8</b>
1984	<b>-0.5</b>	-0.3	-0.3	-0.4	-0.5	-0.5	-0.3	-0.2	-0.3	<b>-0.6</b>	<b>-0.9</b>	<b>-1.1</b>
1986	-0.5	-0.4	-0.2	-0.2	-0.1	0	0.3	<b>0.5</b>	<b>0.7</b>	<b>0.9</b>	<b>1.1</b>	<b>1.2</b>
1987	<b>1.2</b>	<b>1.3</b>	<b>1.2</b>	<b>1.1</b>	<b>1</b>	<b>1.2</b>	<b>1.4</b>	<b>1.6</b>	<b>1.6</b>	<b>1.5</b>	<b>1.3</b>	<b>1.1</b>
1988	<b>0.8</b>	<b>0.5</b>	0.1	-0.2	<b>-0.8</b>	<b>-1.2</b>	<b>-1.3</b>	<b>-1.2</b>	<b>-1.3</b>	<b>-1.6</b>	<b>-1.9</b>	<b>-1.9</b>
1991	0.3	0.2	0.2	0.3	<b>0.5</b>	<b>0.7</b>	<b>0.8</b>	<b>0.7</b>	<b>0.7</b>	<b>0.8</b>	<b>1.2</b>	<b>1.4</b>
1992	<b>1.6</b>	<b>1.5</b>	<b>1.4</b>	<b>1.2</b>	<b>1</b>	<b>0.7</b>	0.3	0	-0.2	-0.3	-0.2	0
1993	0.2	0.3	0.5	0.6	0.6	0.5	0.3	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1
2010	<b>1.6</b>	<b>1.3</b>	<b>1</b>	<b>0.6</b>	0.1	-0.4	<b>-0.9</b>	<b>-1.2</b>	<b>-1.4</b>	<b>-1.5</b>	<b>-1.5</b>	<b>-1.5</b>
2011	<b>-1.4</b>	<b>-1.2</b>	<b>-0.9</b>	<b>-0.6</b>	-0.3	-0.2	-0.2	-0.4	<b>-0.6</b>	<b>-0.8</b>	<b>-1</b>	<b>-1</b>
2012	<b>-0.9</b>	<b>-0.6</b>	<b>-0.5</b>	-0.3	-0.2	0	0.1	0.4	0.5	0.6	0.2	-0.3
2013	-0.6	-0.6	-0.4	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.3	-0.4
2014	-0.6	-0.6	-0.5	-0.1	0.1	0.1	0	0	0.2	0.5	0.7	0.7

Fuente: **NOAA**, 2014.

Se aplicó un programa de Matlab versión 5, la cual permitió obtener graficas relacionadas con variables en el cultivo de maíz.

#### 6.4. Resultados y discusión

Una de las estrategias de este proyecto, ante la falta de datos en las **ST** de las estaciones meteorológicas, fue considerar otra estación cercana al sitio de estudio y encontrar información. Se realizó la comparación de dos estaciones para el año 1980. Las **entrevistas** realizadas permitieron identificar los datos que se muestran en la tabla 5.

**Tabla 5. Información identificada en las entrevistas**

<b>Año</b>	<b>Estación</b>	<b>Ubicación de la estación (Municipio)</b>	<b>Fecha de siembra</b>	<b>Fecha de cosecha</b>
<b>1980</b>	21056 "La Trinidad"	Chilchotla*	15 de marzo-25 de marzo	Noviembre
<b>1980</b>	21026 "Serdán"	Chalchicomula de Sesma	15 de marzo-25 de marzo	Noviembre
<b>1992</b>	21026 "Serdán"	Chalchicomula de Sesma	23 de feb-15 de marzo	Noviembre
<b>2013</b>	21026 "Serdán"	Chalchicomula de Sesma	23 de feb-15 de marzo	Octubre
<b>1983</b>	21056 "La Trinidad"	Chilchotla*	23 de feb-15 de marzo	Noviembre
<b>1987</b>	21056 "La Trinidad"	Chilchotla*	8 de marzo-30 marzo	Octubre
<b>2011</b>	21026 "Serdán"	Chalchicomula de Sesma	23 de feb-a 15 de marzo	Septiembre

\*Municipio ubicado a 25 km al sur del municipio de Tlachichuca

Los resultados que se obtuvieron de las etapas de crecimiento del maíz, correspondieron a 6 etapas generales, se identifican con números en las figuras de la 18-24.

Etapas 0. Germinación: 1-5 días.

Etapas 1. Crecimiento: 6-30 días

Etapas 2. Desarrollo vegetativo: 30-85 días.

Etapas 3. Floración y polinización: 85-120 días.

Etapas 4. Llenado de grano: 121-160 días.

Etapas 5. Madurez fisiológica: 161-180 días.

La escala temporal que se muestra en las gráficas corresponde a la lluvia acumulada en cinco días (pentadas), debido a que se aprecia mejor la intermitencia de la precipitación. La tabla 6, muestra las variables climáticas y el rendimiento de los años que se analizaron.

**Tabla 6. Resultados de años, rendimiento y variables climáticas**

<b>Año</b>	<b>Calidad del rendimiento</b>	<b>Promedio del rendimiento (t/ha)</b>	<b>Precipitación (mm)</b>	<b>Promedio de la temperatura máxima (°C)</b>	<b>Promedio de la temperatura mínima (°C)</b>
<b>1980</b>	Bueno	4.0-4.5	1303	16.9	4.9
<b>1980</b>	Bueno	4.0-4.5	894	22.0	6.8
<b>1992</b>	Bueno	4.0-4.5	1474	17.4	5.5
<b>2013</b>	Bueno	3.5	483	22.4	7.1
<b>1983</b>	Regular	2.0-2.5	739	18.7	6.6
<b>1987</b>	Regular	2.0-3.0	425	18.6	5.2
<b>2011</b>	Malo	1.5	459	23.4	6.3

La tabla número 6 muestra que de los seis años seleccionados, tres fueron considerados como buenos, 2 regulares y uno malo. Los rendimientos variaron de 1.5 t/ha-4.5 t/ha. Así mismo se observa una amplia variación de la precipitación desde 425 mm hasta 1474 mm (una variación de 3.5 veces). Los promedios de temperaturas máximas y mínimas mantienen poca variación absoluta.

En las **figuras 18 y 19**, se observa, que para la estación La Trinidad, representada por (**E1**), se observa una óptima distribución de la lluvia durante el año, con una tendencia de menos a más y un promedio de 1303 mm. Para la estación Serdán, representada por (**E2**), también se observa una buena distribución de la lluvia, sin embargo llovió menos con un promedio de 894.

Se observa la presencia de heladas agronómicas en ambas estaciones al principio y final del año.

Para la **E2** la temperatura mínima, estuvo por arriba del umbral de la temperatura mínima base del maíz (7°C), durante el mayor tiempo del ciclo fenológico del maíz.

En la **E1**, se observa mayor variabilidad de la temperatura con un máximo de 24°C, sin embargo, para **E2** se tiene un máximo de 30°C con una mayor amplitud a mediados del año.

Con respecto a la época de siembra, los productores se vieron beneficiados debido a que tenían humedad residual de la lluvia de enero y febrero (con aproximadamente 20 mm de precipitación).

Sin embargo en ambas estaciones se muestra escasez de lluvia en lapsos de una a dos semanas, las cuales no fueron determinantes en las etapas de crecimiento de maíz.

Por lo que se refiere al evento de en la zona de **EL NIÑO 3.4**, cuyo posible calentamiento asociado se establece a finales de año 1979, fue **NEUTRO**, incluso todo el año 1980, considerado un año **BUENO**, así como el siguiente año 1981 con condiciones neutrales. Buscando pentadas coincidentes en **PCP**, por ejemplo la pentada del 3 al 7 de agosto, está asociada al paso del huracán de la temporada llamado **ALLEN**, con un tiempo de vida de agosto 1 a agosto 11; llama la atención que los máximos de **PCP** tengan la misma pentada, esto parece ser el mismo sistema.

En la pentada acumulada del 22-26 de septiembre se presentó el máximo de **PCP** en ambas estaciones, con precipitación de 120 a 160 mm, debido a la tormenta tropical **HERMINE** con un tiempo de vida de septiembre 20-26, entrando a la República Mexicana el 24 de septiembre, aunque puede haber teleconexión a distancia, también es de notarse, que este sistema tropical afectó la teleconexión con las costas del sur de Veracruz.

Se podría considerar que dichas condiciones son ideales para lograr los mejores rendimientos, asociados a una buena distribución de la precipitación.

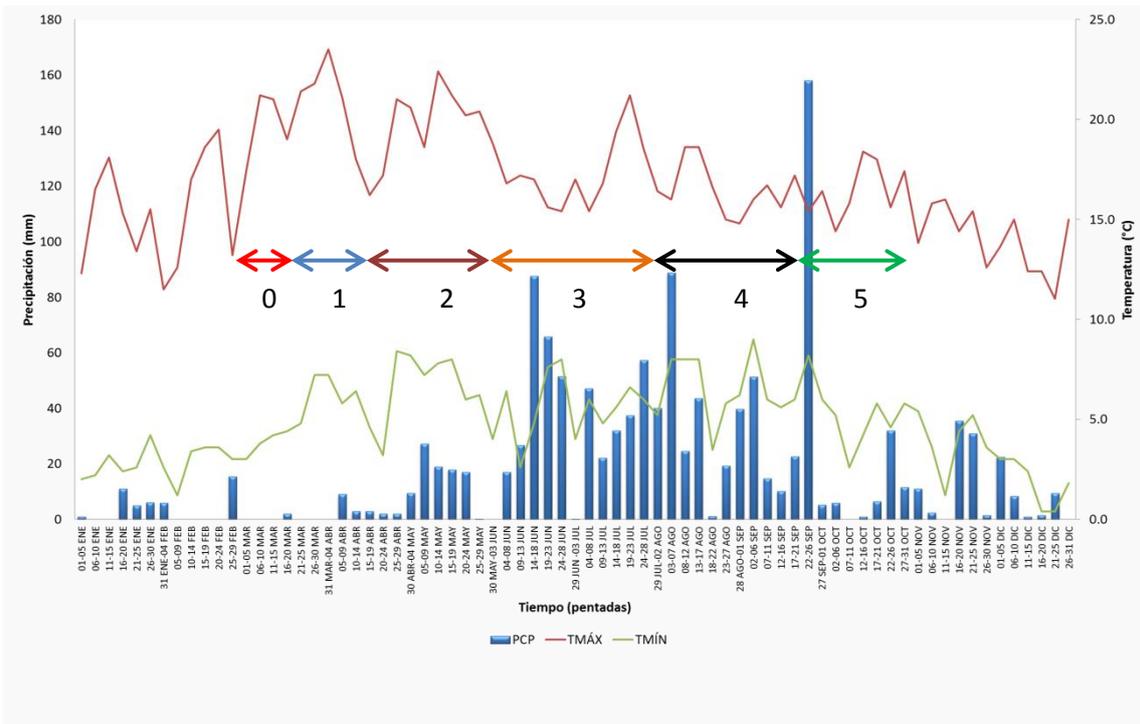


Figura 18. Comportamiento de las variables del clima y su relación con la fenología del maíz para el año 1980, (E1).

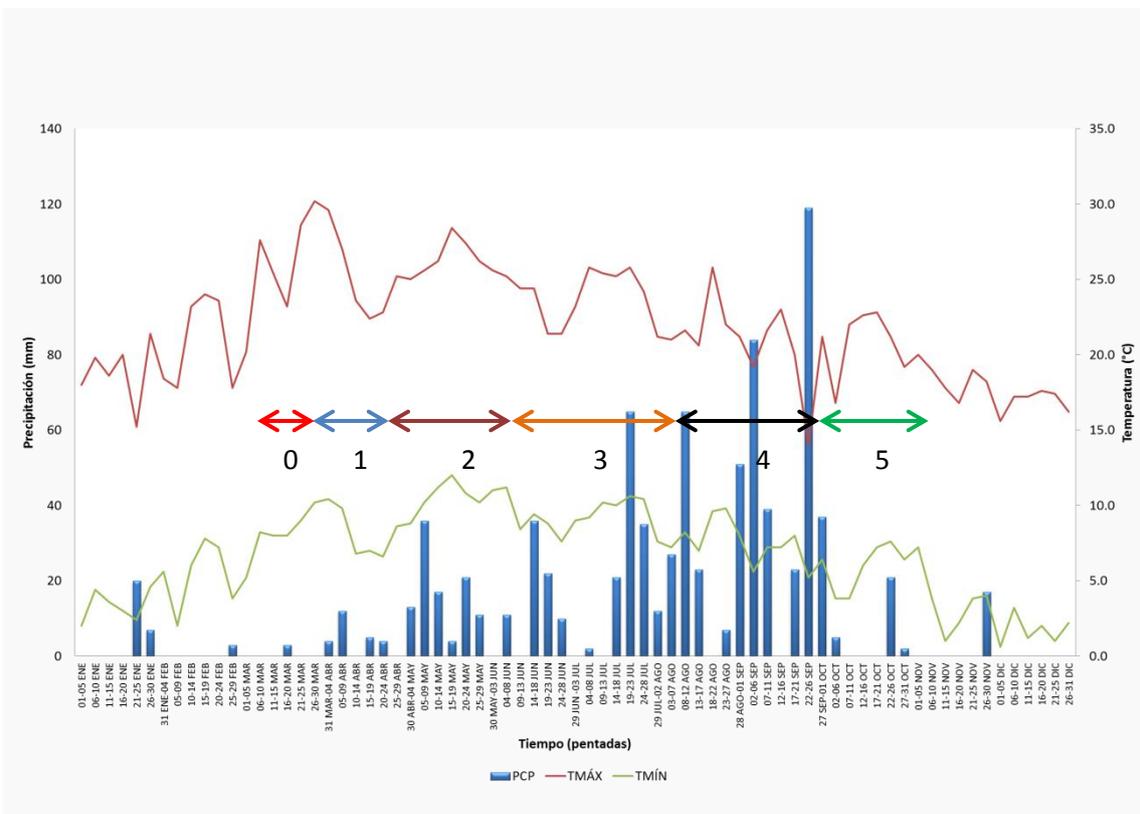
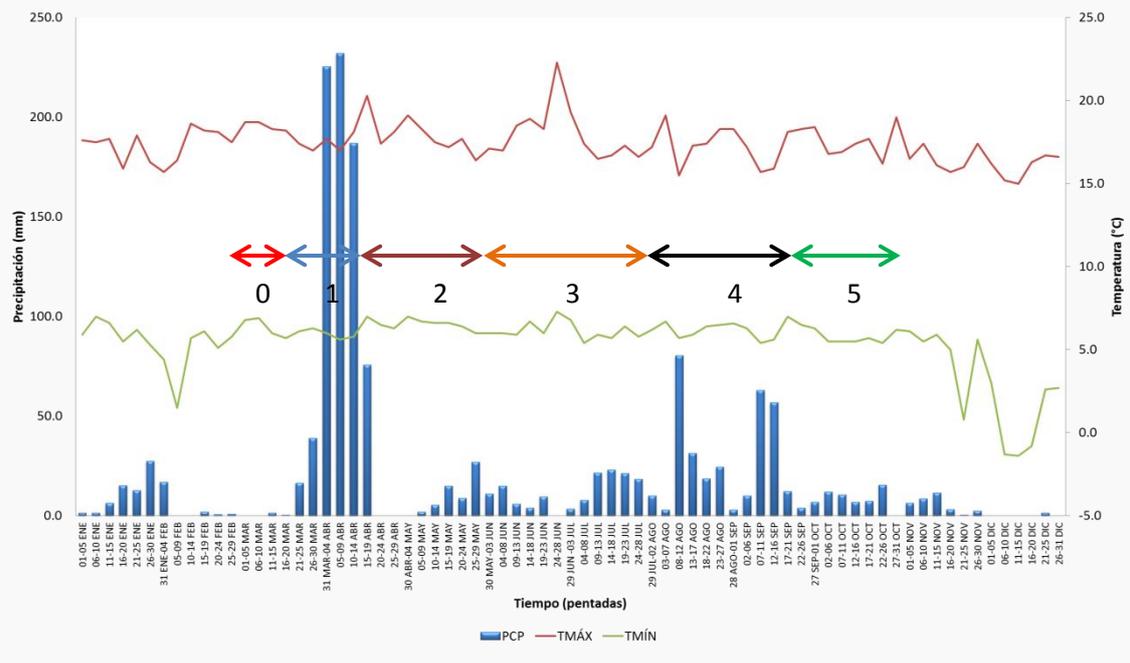


Figura 19. Comportamiento de las variables del clima y su relación con la fenología del maíz para el año 1980, (E2).

La **figura 20**, permite observar que durante el mes de enero la precipitación propició que los productores empezaran la época de siembra incluso en la parte de la montaña o en las partes altas que siembran durante febrero y principios de marzo.

A fines de marzo y abril, se tuvieron precipitaciones cercanas a 220 mm de lluvia, beneficiando las etapas de crecimiento vegetativo y floración. Así mismo, la temperatura máxima mantuvo un promedio durante el año de 18°C, con excepción del mes de junio, cuando se alcanzó una temperatura de 23°C.

Con respecto al evento de **EI NIÑO**, la tabla 4 muestra seis meses, de **EL NIÑO** y seis meses **NEUTRO**, durante dichos meses, no fue afectado el cultivo del maíz.



**Figura 20. Comportamiento de las variables del clima y su relación con la fenología del maíz para el año 1992, estación "Serdán".**

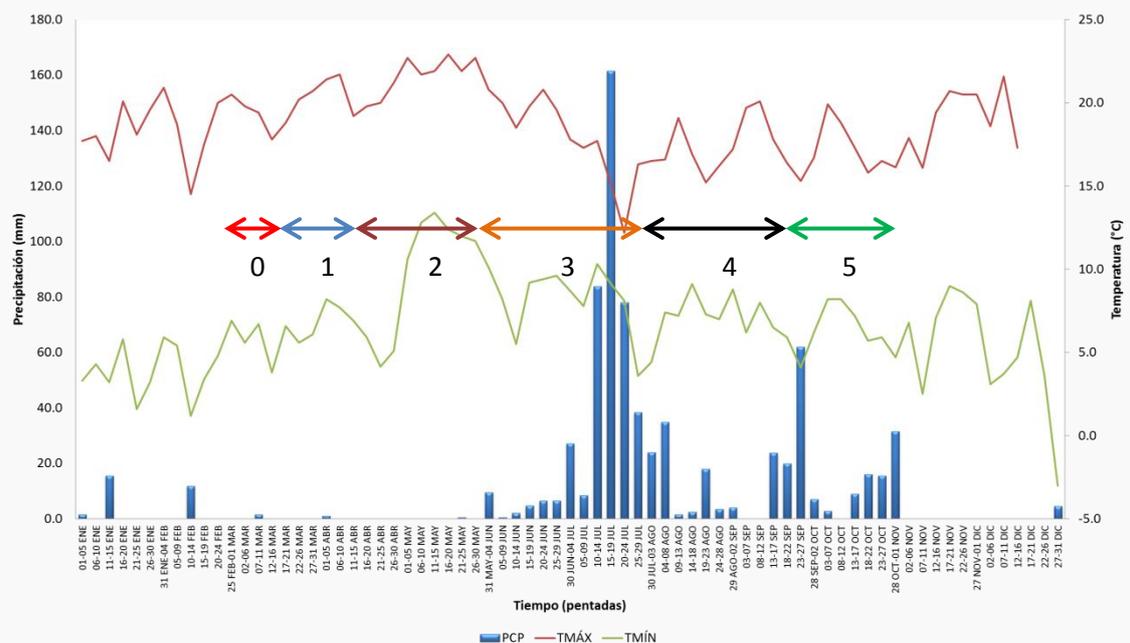
La **figura 21**, permite observar las relaciones de las variables de estudio de la estación "Serdán" para el año 1992. En dicha figura se muestra que durante el mes de enero y febrero llovió aproximadamente 50 mm, por lo que los productores iniciaron la siembra. Las temperaturas mínimas muestran un

promedio de 5.5°C y las temperaturas máximas se observan en el mes de mayo y disminuyen después de julio.

La escasez de lluvia durante los meses de marzo, abril y mayo, afectó la etapa de crecimiento vegetativo del maíz. Aunque en junio, julio y principios de agosto llovió, se considera que no fue suficiente, debido a que se encontraba en la etapa de máxima demanda, (llenado de grano).

El evento de **EL NIÑO**, que se presentó todo el año con una mala distribución de la lluvia.

No se encontraron coincidencias con la **PCP** y los huracanes en el pacifico, y en el año de 1983 fue la temporada de huracanes del Atlántico menos activa en 53 años. Sin embargo, la presencia de **EI NIÑO** con intensidad fuerte, contribuyó a un nivel menor de la actividad de huracanes en el Atlántico.



**Figura 21. Comportamiento de las variables del clima y su relación con la fenología del maíz para el año 1983, estación "La Trinidad".**

La **figura 22**, permite observar el año considerado como regular por los productores con un rendimiento regional promedio de maíz de 2.0-2.5 t/ha. Durante el mes de marzo empezó la época de siembra, aprovechando la poca

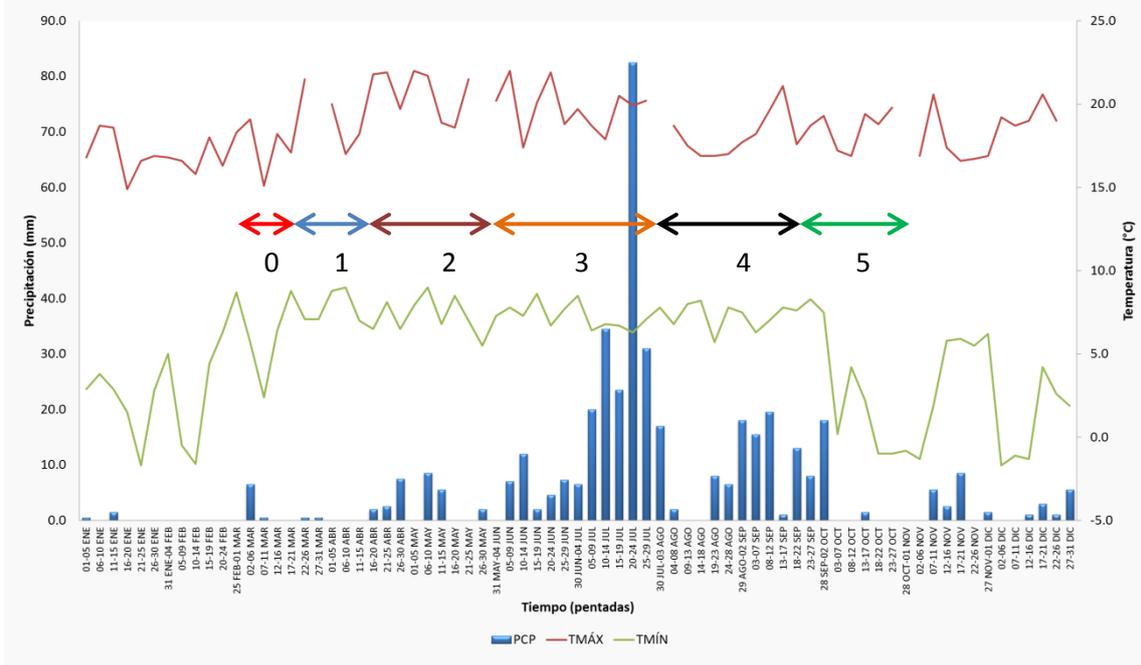
lluvia en este mes. Durante los meses de abril, mayo y junio, llovió en promedio 12 mm. Se observan heladas meteorológicas y agronómicas.

La temperatura máxima promedio es de 18.7°C mostrando una gran variabilidad a mediados del año y disminuye en el mes de agosto.

En la etapa de floración y parte del llenado de grano la distribución de la lluvia que es regular, aunque se vio afectado por el otro evento del clima: “La canícula” a mediados de agosto fue seca, cuando el cultivo alcanzó la etapa de madurez fisiológica.

El año 1983, considerado como **REGULAR**, está relacionado con el evento del **NIÑO**, que empezó desde 1986 y todo el año 1987 y principios de 1988. Fue una de las épocas en la historia de los eventos del **ENOS** que tuvo impactos a nivel mundial.

Los huracanes en este año se presentó con un promedio bajo, no se encontró teleconexión con la distribución de la **PCP**.



**Figura 22. Comportamiento de las variables del clima y su relación con la fenología del maíz para el año 1987, estación “La Trinidad”.**

La **figura 23**, muestra el año 2011 se considera de acuerdo a los agricultores como uno de los peores años en términos de rendimiento de la región. Para

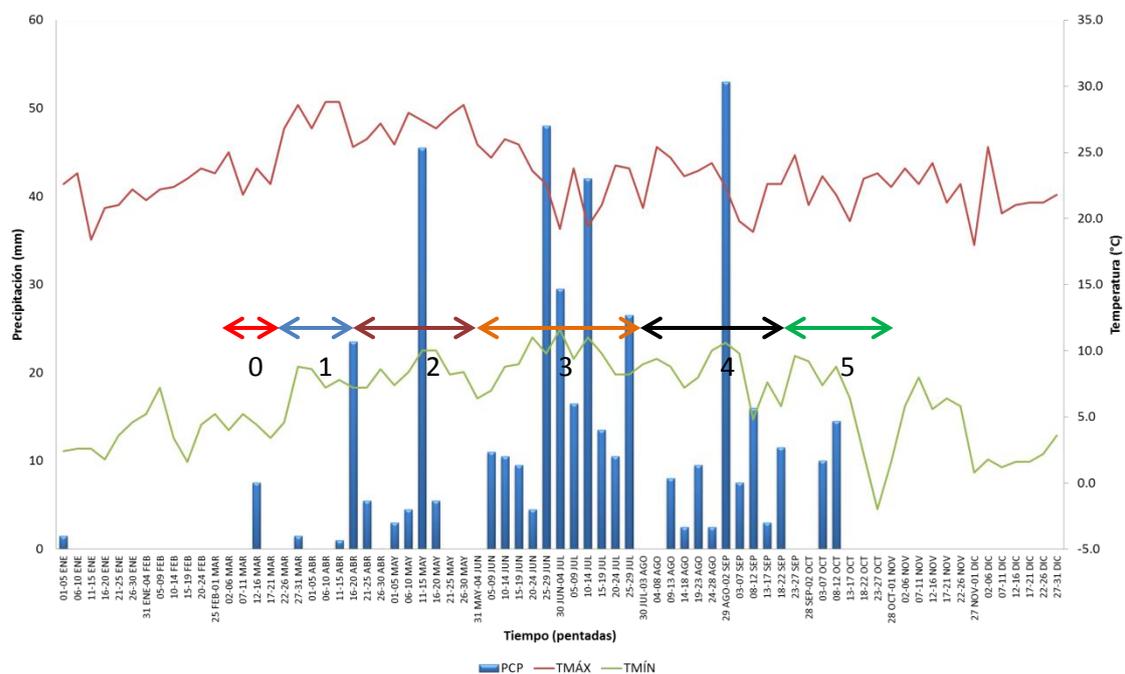
ese año se reportan más de 4,000 hectáreas siniestradas y un promedio de rendimiento de 1.5 t/ha.

Dicha figura muestra que al inicio del año no llovía, hasta mediados de mes de marzo, afectando a los productores que siembran en febrero. Se presentó escasez de lluvia en mayo, junio y octubre. Se presentan heladas meteorológicas y agronómicas al inicio del año durante tres meses y al final del año también con los últimos tres meses.

La temperatura máxima en promedio es de 22°C, mostrando una gran variabilidad a mediados del año. Debido a la mala distribución de la lluvia se muestra que todas las etapas de crecimiento del maíz son afectadas, observándose en cada etapa de crecimiento la falta de precipitación.

Además del evento de la “La canícula” (julio y agosto).

Éste año considerado como **MALO**, está relacionado con el evento de la **NIÑA**, durante los primeros 4 meses al inicio del año y 4 meses al final del año. En el año 2011, la temporada de huracanes en el Atlántico fue moderado, aunque el huracán **ARLENE** pasó por México durante junio 28-julio 1, disipándose en las montañas de la Sierra Madre.



**Figura 23. Comportamiento de las variables del clima y su relación con la fenología del maíz para el año 2011, estación “Serdán”.**

La **figura 24**, permite observar el año 2013 se consideró como un año **BUENO** con un rendimiento promedio de 3.5 t/ha que aunque se muestra una cantidad mínima en la precipitación, durante los primeros tres meses. Se muestra una distribución homogénea en los siguientes meses.

Se muestran heladas meteorológicas y agronómicas en los tres meses al inicio del año y tres meses al final del año.

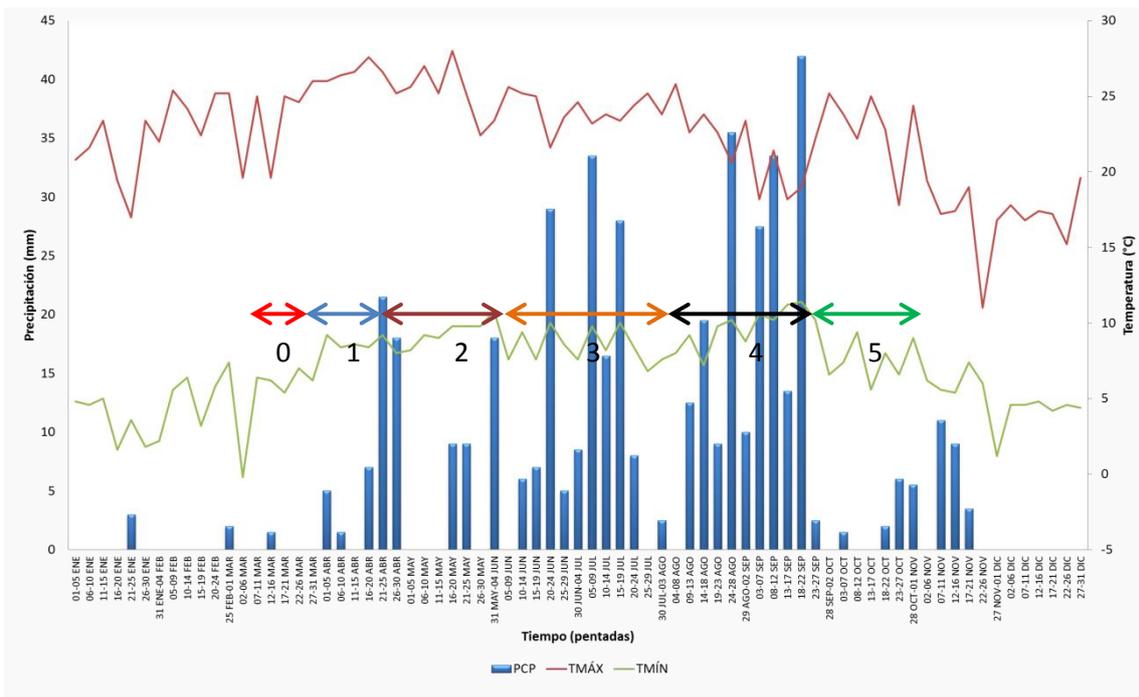
Aunque se presenta el evento de la “Canícula” no fue afectado el cultivo de maíz. La temperatura máxima muestra en promedio 25°C, alcanzando temperaturas máximas de 28°C en los meses de abril y mayo.

Las condiciones de una buena distribución de la lluvia fueron notables logrando los mejores rendimientos.

Aunque se observan “cajones de escasez de la precipitación”, no se vieron afectadas las etapas de crecimiento del maíz.

Este año considerado como **BUENO**, está relacionado con el evento **NEUTRO**, donde no se tienen condiciones de **EL NIÑO** ni de **LA NIÑA**.

No se encontró relación con la temporada de huracanes en el Pacífico y la **PCP** a pesar de la moderada actividad. Tampoco en el Atlántico.



**Figura 24. Comportamiento de las variables del clima y su relación con la fenología del maíz para el año 2013, estación “Serdán”.**

## 6.5. Conclusiones

El objetivo del presente capítulo fue descubrir las relaciones que pueden existir entre las distintas manifestaciones de variables climáticas, la fenología del cultivo, eventos fuera del ámbito de la microrregión y tres niveles de producción de grano del maíz.

Es claro que es difícil asignar valores cuantitativos a esas relaciones, con base a estos resultados, lo que sí se puede, es establecer relaciones de importancia. Una primera variable que se puede minimizar o incluso descartar es la temperatura máxima y su índice correspondiente (Días de verano). Los promedios de esa variable, así como las marchas anuales por pentadas indican que no se alcanzan los umbrales máximos (de 27°C a 37°C, durante varios días y en la etapa de polinización).

Situación muy diferente para presentarse con las temperaturas mínimas (heladas), cuyos efectos son fundamentalmente en aspectos físicos

primeramente y, en segundo lugar, en procesos biológicos. Al respecto se puede mencionar que esta variable es importante por su intensidad, duración y etapa en que se presentan.

En la micro-región parece ser importante su intensidad (heladas agronómicas) y en la etapas en que se presentan (al inicio daños físicos a la semilla o a las plántulas y en las etapas finales, polinización, madurez e incluso cosecha). Siendo un factor limitante los datos y resultados obtenidos que no permiten hacer diferencias en base a los años estudiados.

La tercera variable estudiada la precipitación, confirma los resultados de múltiples estudios en donde se señala que son importantes, su cantidad, su distribución en el tiempo y las variables que se relacionan con su efectividad tales como su intensidad, la capacidad de retención del suelo, la evapotranspiración, la pendiente, entre muchos factores.

Las únicas evidencias que se tienen son:

- 1) Que el umbral máximo de precipitación es de 800 mm con una desviación más o menos de 100 mm para tener buenos rendimientos de maíz.
- 2) Que una distribución homogénea y constante de este umbral durante el ciclo fenológico es fundamental para una buena producción y
- 3) Que variables asociados con la frecuencia de la precipitación son altamente adecuados para obtener niveles altos y regulares de producción regional.

Entre esas variables se pueden suponer que los más importantes son la posición fisiográfica, los suelos profundos y sus texturas arenosas, sus altas capacidades de retención de humedad y su baja evapotranspiración potencial.

En relación a la fenología del maíz, es poco lo que se puede señalar debido a que no se captó información con una amplia variabilidad, para distintas variedades, fechas de siembra o diferentes condiciones. Es interesante poder definir la influencia de la variabilidad climática en la fenología del cultivo o cómo las variedades locales, mediante la participación humana, se han adaptado a través de su fenología a los cambios climáticos, desde luego esos cambios podrán observarse en estudios a largo plazo.

De manera paradójica son las variables que se presentan y observan a nivel mega o extra regional las que mayor aplican e influyen en las variables climáticas y en los niveles de rendimientos para los diferentes tipos de años.

En el caso preciso de **EL NIÑO** y sus variantes (**NIÑA** y **NEUTRO**) y la actividad de los ciclones y huracanes en el Caribe y el Atlántico. En la actualidad hay suficiente evidencia que demuestra que años de **NIÑO** son críticos para la agricultura (Iizumi *et al.*, 2014).

Ésta situación que parece desventajosa, es en realidad una ventaja, ya que este tipo de eventos pueden predecirse con cierta precisión mediante el método de la teleconexión (considerando el llamado efecto mariposa).

Desde éste punto de vista y aprovechando esas teleconexiones tiene mucho sentido la expresión que dice que “pensar globalmente, actuar localmente”, es decir, partir de la comprensión de un todo mayor, entender las relaciones y actuar o no actuar sobre un punto en el que confluyen relaciones fundamentales.

El año de 2015 es un buen ejemplo para aplicar la expresión anterior (inicia con **NIÑO** y baja actividad de ciclones en el Océano Atlántico).

Tomando en cuenta los resultados obtenidos y la discusión anterior no tenemos elementos para no aceptar la hipótesis particular de este trabajo. Lo más razonable sería priorizar las variables en términos de precipitación, temperaturas máximas y mínimas.

Un ejemplo de mega región es el asociado a la presentación de heladas en el Altiplano Mexicano, en forma simultánea, bajo la presencia de un huracán en el Golfo de México. Esto debido a que las grandes espirales del huracán inducen entrada de aire seco y frío del norte. Los productores tienen forma de pronosticar este evento, debido a que generalmente al atardecer se ve un “cielo entre anaranjado y rojizo”. Este conocimiento empírico de los productores, se explica con el transporte por vientos del norte de partículas finas de polvo que quedan suspendidas generando el colorido peculiar, anunciando un descenso de la temperatura.

De este modo la hipótesis plausible de este trabajo se plantearía en términos de:

“Los eventos naturales **EL NIÑO** y los huracanes, están relacionados con variables climáticas, que permiten entender los años buenos, regulares y un año malo en la producción de maíz”.

Así mismo, las conclusiones principales de este trabajo son:

1. Aplicar procesos que permitan cuantificar las relaciones entre las variables y
2. La inclusión de variables mega-regionales para este tipo de estudio.

## **6.6. Literatura citada**

Chmielewski, A. M y Ekko B. 2004. Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961–2000. *Agricultural and Forest Meteorology* (121) 69–78.

De Fonseca, B. R., y Mendoza, E. S. 2004. Dinámica de la columna atmosférica en la teleconexión entre anomalías superficiales oceánicas en el Atlántico subtropical y la variabilidad climática en el sector Euro-Atlántico. *Física de la Tierra*, 16, 49-60.

Granados R. R., y Sarabia R. A. A. 2013. Cambio climático y efectos en la fenología del maíz en el DDR-Toluca. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(3), 435-446.

Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. 2001. *Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policy Makers. Working Group II.*

Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. 2007. *Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge.

Iizumi, T., Luo, J. J., Challinor, A. J., Sakurai, G., Yokozawa, M., Sakuma, H., & Yamagata, T. 2014. Impacts of El Niño Southern Oscillation on the global yields of major crops. *Nature communications*, 5.

- Magaña R. V. (Editor) 2004. Los impactos del niño en México. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, Secretaría de Gobernación. México, 229 p.
- National Oceanic and Atmospheric Administration. NOAA. 2014. Pronóstico para la temporada ciclónica 2009 en el Océano Atlántico. Consultado el 10 de febrero de 2012. Disponible en: [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/outlooks/hurricane\\_Sp.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/outlooks/hurricane_Sp.shtml).
- Porter J.R. 2005. Rising temperatures are likely to reduce crop yields. *Nature* 436,174-1174.
- Ramírez, C. A. M. 2013. Selección de maíces criollos de ciclo corto como estrategia frente al cambio climático en Michoacán. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 17(2), 7-22.
- Ramírez, C. A. M. 2015. Respuesta esperada y efectos colaterales a selección por precocidad en maíz frente al cambio climático. *Biológicas Revista de la DES Ciencias Biológico Agropecuarias Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, 16(2), 36-43.
- Ramos, C. 2010. Efectos del cambio climático en la agricultura, *Agroenfoque*, set, 24(171), pp 38-42.
- Sánchez, I. P., de Fonseca, B. R., & Doval, T. L. 2004. La variabilidad del Atlántico tropical y su teleconexión extra-tropical. *Física de la Tierra*, (16), 37-47.

## **CAPÍTULO 7. RELACIONES ENTRE SABERES: LOS CAMPESINOS Y VARIABLES CLIMÁTICAS EN LA MICRO-REGIÓN DE SERDÁN, PUEBLA.**

### **7.1. Resumen**

La agricultura representa una de las actividades socioeconómicas, debido a que es la fuente de alimentos; uno de los cultivos que destaca en nuestro país es el maíz. A través del tiempo el conocimiento empírico, ha sido transmitido de generación en generación con resultados favorables de acuerdo a diferentes condiciones. En este trabajo se aplicaron entrevistas a informantes claves, con experiencia de más de 30 años en la siembra del maíz, para rescatar dichos populares y relaciones con variables climatológicas en años con rendimientos buenos, regulares y malos. Los resultados muestran que para años de buenos rendimientos en el cultivo de maíz, se aplican o son validados casi todos los dichos, mientras que para años con rendimientos regulares y el año malo, la mayoría de los dichos no se aplicaron. Estas dos situaciones, se pueden explicar en términos de una visión optimista.

### **7.2. Introducción**

En la actualidad, muchos de los saberes campesinos, que antes fueran consideradas inadecuadas o atrasadas, están siendo reconocidas como apropiadas y revolucionadas.

Confrontados con problemas específicos de limitantes ambientales, los pequeños agricultores a lo largo del mundo, han desarrollado sistemas originales de manejo dirigidos a superar estas limitantes.

En general, los agricultores tradicionales han superados las limitantes ambientales de sus sistemas de producción concentrándose en algunos principios y procesos (Knight, 1980). Muchos agricultores a lo largo de todo el mundo han desarrollado calendarios tradicionales para controlar la programación de actividades agrícolas (Christanty *et al.*, 1986).

En el Este de África, muchos agricultores siembran de acuerdo con las fases de la luna, creyendo que hay fases lunares de lluvia, muchos agricultores predicen fluctuaciones climáticas basadas en la fenología de la vegetación local. Por ejemplo, en Java occidental (provincia de Indonesia) el *Gadung sp* (fruto), es un indicador climático porque se espera que la temporada lluviosa empiece poco tiempo después que se inicie el crecimiento de sus hojas.

En la misma región, el pomelo tiene una función parecida; el inicio de la fructificación anuncia la temporada anual de labranza (Christanty *et al.*, 1986). Los términos conocimiento tradicional, conocimiento indígena técnico, conocimiento rural y etnociencia (ciencia de una cultura) han sido usados en forma intercambiable para describir el sistema de conocimiento de un grupo étnico que se ha originado local y naturalmente (Altieri, 1991).

El estudio de los agroecosistemas tradicionales puede proporcionar principios agroecológicos, que son necesarios para desarrollar agroecosistemas más sustentables, tanto en países industrializados como en aquellos en vías de desarrollo (Altieri, 1991).

Por otro lado, no existen dudas que el sustento de miles de comunidades de agricultores familiares, de agricultores/tradicionales y pueblos indígenas, en países en desarrollo, serán afectados seriamente por los cambios climáticos (Morton, 2007).

Las formas de conocimiento tradicionales no existen, como es el caso de la ciencia, separadas de las otras dimensiones de la vida cotidiana, las reflexiones teóricas, metodológicas y los aprendizajes empíricos realizados durante casi tres décadas (Toledo y Barrera, 2008).

En la investigación de Lammel *et. al.* (2008): El pensamiento de los indígenas, el ambiente y el hombre forman parte del mismo sistema, son continuos y muestran características semejantes, señalando "*como hay que respetar a los humanos, hay que respetar las fuerzas de la naturaleza que nos constituyen: el agua está en nosotros, el calor del sol está en nosotros, lo que nos nutre está en nosotros, el aire entre y sale de nuestro cuerpo y el alma se relaciona con el espacio y el tiempo. El clima está en nosotros y nosotros en el clima*".

Para comprender de manera adecuada los saberes tradicionales resulta necesario entender la naturaleza de la sabiduría local, la cual se basa en una compleja interrelación entre las ciencias, los conocimientos las prácticas.

La naturaleza se concibe, valora y representa bajo sus dominios visibles e invisibles.

Las sabidurías tradicionales se basan en las experiencias que se tienen sobre el mundo, sus hechos y significados, y su valoración de acuerdo con el contexto natural y cultural en donde se despliegan.

Así los saberes son una parte o fracción esencial de la sabiduría local.

Dicho conocimiento debe ser contemplado, primero en su íntima aleación con su sistema de creencias y, en segundo término, con sus necesidades y prácticas.

El **objetivo** de este capítulo se basa en construir relaciones entre dichos populares y variables climáticas en años con rendimientos buenos, regulares y un año malo.

### **7.3. Metodología**

Se realizaron entrevistas a informantes claves a productores de maíz, que tuvieran más de 30 años de experiencia en el cultivo. Las preguntas estuvieron dirigidas con el rescate de frases populares o saberes populares del clima con respecto a los dichos o frases populares del clima con respecto al cultivo de maíz. Los dichos fueron relacionados con la marcha anual de las variables climatológicas para años con rendimientos buenos, regulares y un año malo.

### **7.4. Resultados y discusión**

Se identificaron siete dichos:

1. Las secas de marzo son lluvias en mayo, o lo que es lo mismo “seco marzo, lluvioso mayo”.
2. Calor de marzo temprano, es para el campo muy sano
3. Lluvia en abril, granos en mil

4. Agua de mayo, pan para todo el año
5. Si el invierno veranea, el verano invernea
6. En septiembre o seca las fuentes o se lleva los puentes
7. El cordonazo de San Francisco. Se refiere al primer frío del año, el 4 de octubre, es la fecha asignada por las efemérides cristianas para festejar a Francisco de Asís.

A continuación, se relacionan los siete dichos para los años 1980, 1987, 2011 y 2013. Esos dichos se explican en mayor o menor grado con las variables del clima. La **figura 25**, muestra el año de 1980 (año bueno). En marzo se observa ausencia de precipitación y contribución de lluvia en mayo, durante las seis pentadas, resaltando la segunda con 36 mm y quinta con 21 mm. Así mismo, durante mayo presentaron temperaturas de 27.6 °C, y con 30.2 °C en las pentadas 2 y 7.

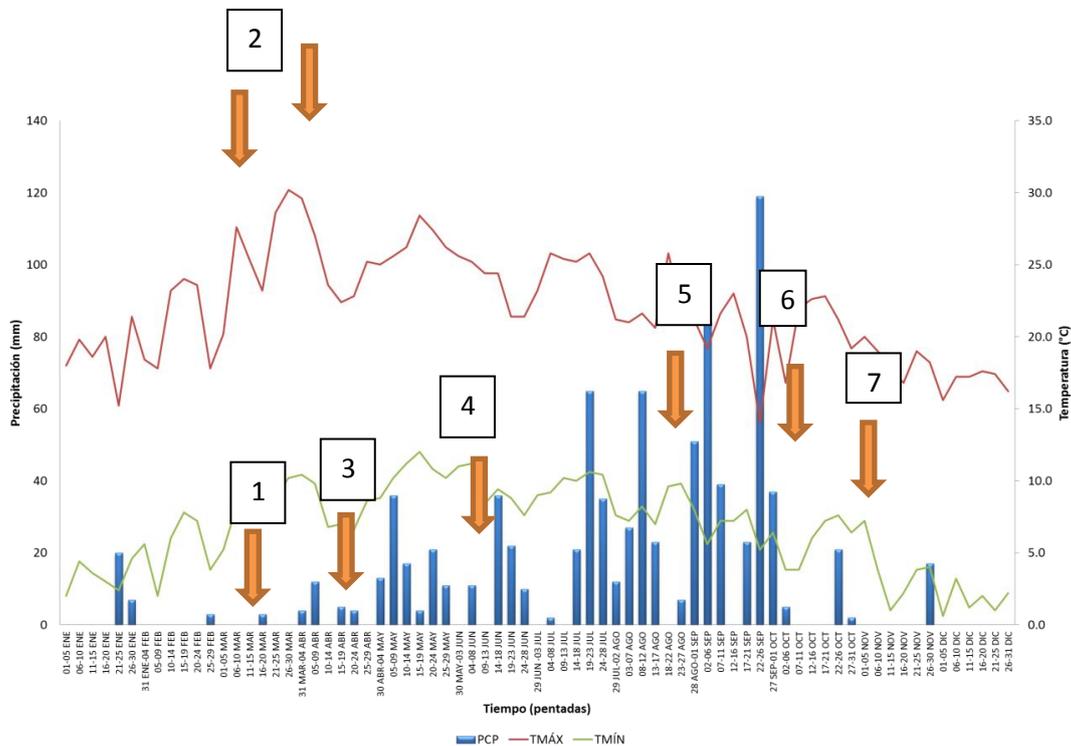
También se presentan seis pentadas de abril, cuatro contribuyeron con lluvia, dos al inicio, 4 mm y 12 mm; dos al final, 5 mm y 4 mm con un total de 16 mm, siendo una distribución de lluvia adecuada para fecha de siembra.

En este caso de estudio mayo tiene una precipitación de más de 120 mm.

Para el verano, Junio-Julio-Agosto, no se presentaron condiciones que mostraran horas frío/heladas. Con respecto al dicho que incluye Agua, ésta siempre mostró una tendencia positiva de acumulación por pentada.

Como consecuencia de una canícula húmeda de tener una “capacidad de campo saturada” que si se presenta lluvia ciclónica ésta escurrirá con poca infiltración, entonces, toda el agua acumulada en la cuenca generará una corriente con posibilidades de “incremento de riesgos” Aguas abajo. Generalmente, los productores esperan las primeras heladas a finales de Septiembre, según el siguiente dicho:

Donde coincide en la pentada del 02 al 06 de octubre, se presentó la primer helada “agronómica” con una temperatura mínima promedio de 3.8°C. Para este año bueno, se cumplen los siete dichos.



**Figura 25. Relaciones entre variables climáticas y dichos populares, ciclo 1980 (año bueno).**

La **figura 26**, muestra el año de 1987 (año regular), se observa, en la primera pentada de marzo del 02-06, 6.5 mm, y un total del mes de 8.0 mm, lo que representa escasez de lluvia. De acuerdo al dicho, se esperaba que en mayo se presentara lluvia, sin embargo no fue así. Únicamente llovió durante mayo un total de 16 mm. Resaltando la segunda y la tercera pentada con 8.5 y 5.5 mm.

El segundo dicho, no se cumple, aunque se presentan dos máximos de temperaturas en la primera fecha del 02-06 de marzo con una temperatura de 19.1 y quinta pentada con 21.5°C.

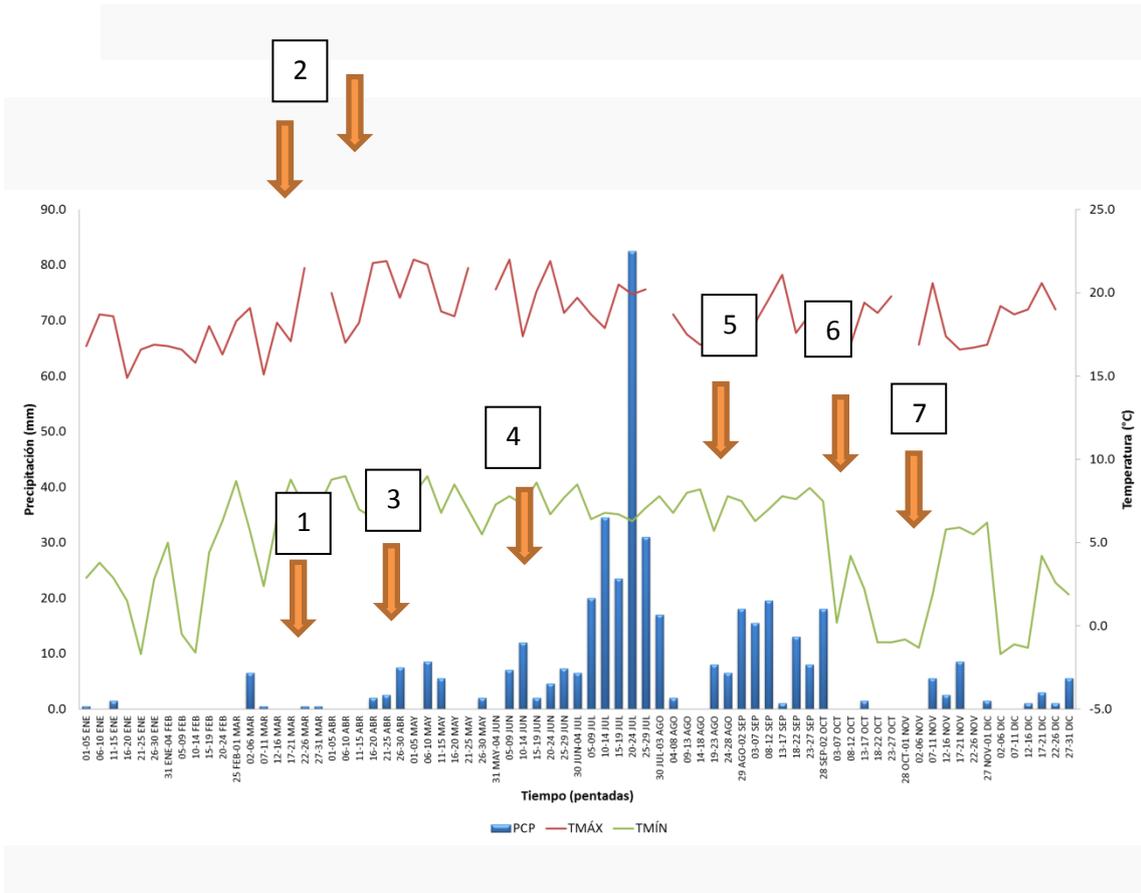
Se muestra escasez de lluvia durante el mes de abril, se observa en la sexta pentada un incremento de 7.5 mm, con un total de mes de 12 mm. En este caso no se cumplió, como se explicó en el primer dicho.

Para el verano, Junio-Julio-Agosto, no se presentaron condiciones que mostraran horas frío/heladas. Con respecto al dicho que incluye Agua, ésta siempre mostró una tendencia positiva de acumulación por pentada. Sin embargo, a partir de la primera pentada del mes de agosto se presenta una disminución de lluvia de 17 mm, con un total de 29.5 mm.

Otro evento que es la canícula o suspensión parcial de la lluvia en pleno verano, en este caso se puede catalogar como una “Canícula seca”

Se presenta una canícula seca, durante el mes de septiembre hay escasez de lluvia con una total de 80.5 mm.

En nuestro caso coincide en la pentada del 03 al 07 de octubre, se presentó la primer helada “agronómica” con una temperatura mínima de 0.2°C.



**Figura 26. Relaciones entre variables climáticas y dichos populares, ciclo 1987 (año regular).**

La **figura 27**, muestra el año 2011(año malo). En marzo se presenta escasez de lluvia, aunque hay un incremento en la tercera y sexta pentada de 7.5 y 1.5 mm respectivamente, con un total de 9 mm. En mayo resalta la fecha del 11-15 de marzo con 45.5 mm y un total de 58.5 mm.

Efectivamente, se presentó un valor extremo en las temperaturas donde resalta la sexta pentada de marzo del 27-31 de marzo con un valor de 28.6°C.

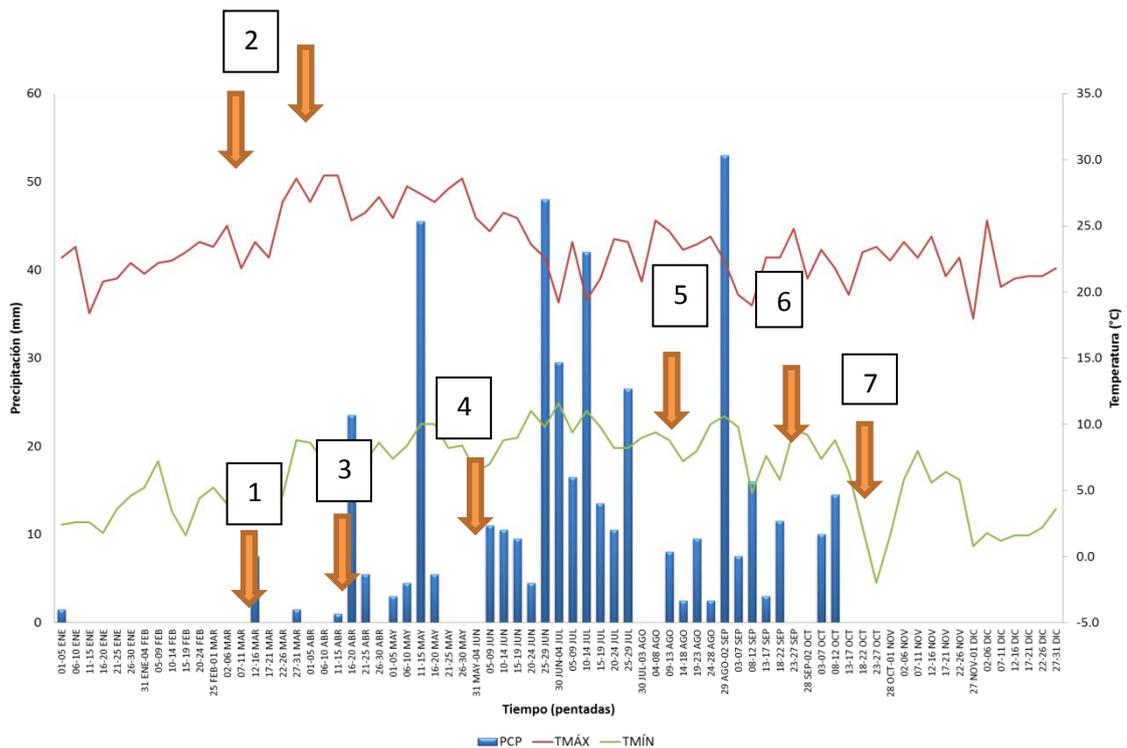
Aunque se observa una distribución uniforme, la precipitación no es relevante. La contribución de la lluvia durante el mes de abril se presenta con un incremento en la cuarta pentada del 16-20 de 23.5 mm.

No se cumple en este caso, debido a que la producción no fue la esperada.

Para el verano, Junio-Julio-Agosto, no se presentaron condiciones que mostraran horas frío/heladas. Se puede observar que durante julio se presenta una disminución de la precipitación, en la fecha del 15-19 y aunque en la sexta pentada la lluvia se incrementó a 26.5 mm, se podría considerar como una canícula seca. Durante agosto también existe ausencia de lluvia en la primera y segunda pentada, con un total de lluvia de 42.5 mm.

En el mes de septiembre resalta un máximo en la precipitación del 29 de agosto al 02 de septiembre de 53 mm, y un total en el mes de 71 mm. El cual está relacionado con el año de mala producción para el cultivo del maíz. Por otra parte, los productores esperan las primeras heladas a finales de septiembre, en este caso se presentaron dos heladas agronómicas en la tercera y quinta pentada es decir del 8-12 y del 18-22 de septiembre con valores de 4.8°C y 5.8°C respectivamente.

En nuestro caso no coincide, aunque se muestra una helada meteorológica en la pentada seis del 23-27 de octubre de -0.2°C.



**Figura 27. Relaciones entre variables climáticas y dichos populares, ciclo 2011 (año malo).**

La **figura 28**, muestra el año 2013 (año bueno). La precipitación total de marzo fue de 3.5 mm, es un valor que representa lluvia escasa. La lluvia que se esperaba en mayo, únicamente contribuyó en la cuarta y quinta pentada, sumando un total de 18 mm.

En efecto, se presentaron dos valores extremos en las temperaturas máximas, la primera del 25 de marzo al 01 de abril de 25.2°C y la segunda del 07-11 de marzo de 25°C. Aunque ambas temperaturas están dentro del promedio del sitio de estudio, el dicho se cumple debido a que corresponde a un año de buen rendimiento para el maíz.

Se muestra la distribución de la precipitación con excepción de la tercera pentada. Resaltando las pentadas: quinta del 21-25 de abril con 21.5 mm y la sexta del 26-30 con 18 mm de abril con un total de 53.0 mm.

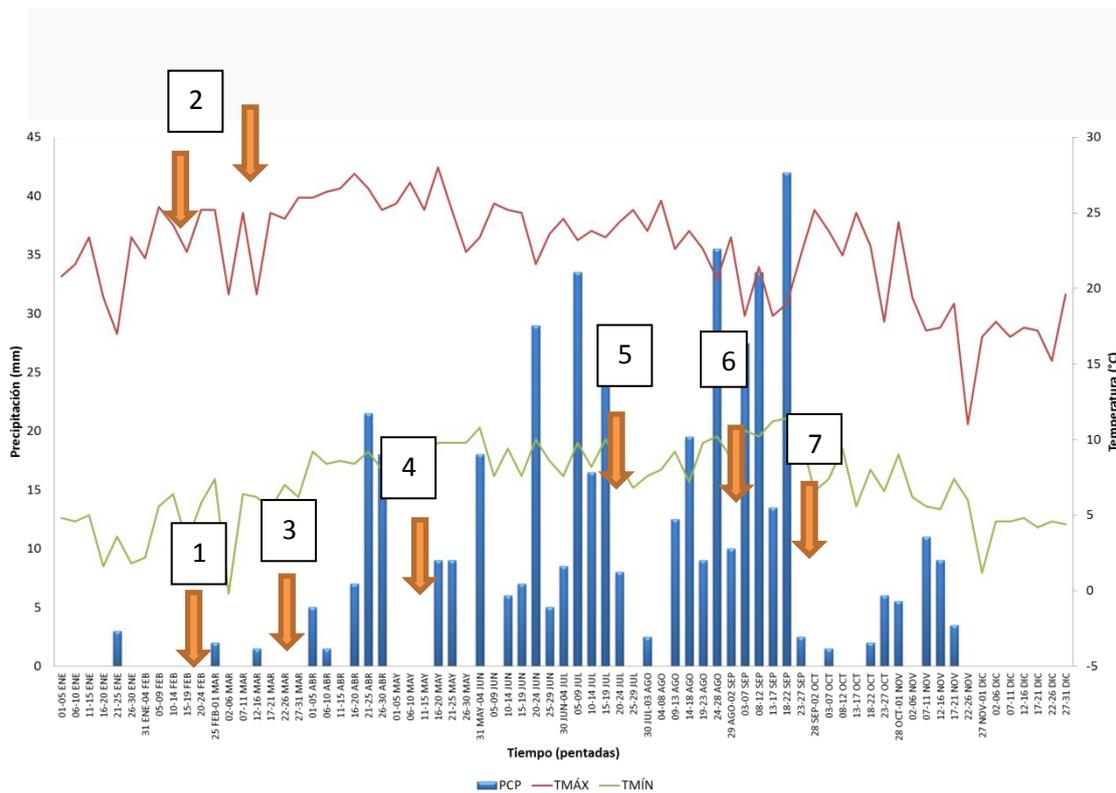
En nuestro caso de estudio, se cumple el dicho, aunque hubo escasez en las primeras tres pentadas.

Para el verano, Junio-Julio-Agosto, no se presentaron condiciones que mostraran horas frío/heladas. Aunque se muestra el valor mínimo de la

temperatura mínima del 05-09 de junio de 4.0°C y de temperatura mínima de 7.6.

Como consecuencia de una canícula húmeda, resalta un máximo durante la quinta pentada de septiembre de 42 mm, con un total de 125 mm.

En éste caso coincide y se muestra un descenso de la temperatura del 28 de septiembre al 02 de octubre de 5°C, considerada como helada “agronómica”



**Figura 28. Relaciones entre variables climáticas y dichos populares, ciclo 2013 (año bueno).**

La tabla 7, muestra los dichos identificados con buenos rendimientos, un año regular y un año malo. Los años con buenos rendimientos se relacionan con el mayor cumplimiento de los dichos a diferencia de los años regulares y el año malo.

**Tabla 7. Resultados de las variables del clima y el rendimiento**

Dicho	1980 (Año bueno)	1987 (Año regular)	2011 (Año malo)	2013 (Año bueno)
1	✓	x	✓	x
2	✓	x	x	✓
3	✓	x	x	✓
4	✓	x	x	✓
5	✓	x	x	x
6	✓	✓	✓	✓
7	✓	✓	x	✓
<b>Cumplimiento</b>	<b>7/7</b>	<b>2/7</b>	<b>2/7</b>	<b>5/7</b>

## 7.5. Conclusiones

Existe una coincidencia parcial del conocimiento de los productores de maíz, en referencia a la variabilidad natural del clima.

El clima es un sistema cambiante en donde la distribución de la precipitación para el sector agrícola representa una de las variables que requiere monitoreo especializado, debido a las diferentes escalas donde se presentan las lluvias.

Es probable que algunos de los dichos que no se cumplieron en este trabajo, se deban a eventos de mayor escala o a la interacción de más de dos procesos.

Los productores de dichas comunidades, afirman que en los 10 años aproximadamente, el clima es incierto y la mayoría de los dichos pueden no cumplirse.

## 7.6. Literatura citada

Altieri, M. A. 1991. ¿Por qué estudiar la agricultura tradicional?. División de Control Biológico -Universidad de California, Berkeley. AGROECOLOGIA Y DESARROLLO. Revista de CLADES. Número Especial 1. Marzo 1991. <http://www.clades.org/r1-art2.htm>

Christanty, L., Abdoellah, O. S., Marten, G. G., & Iskandar, J. 1986. Traditional agroforestry in West Java: the pekarangan (homegarden) and kebun-talun (annual-perennial rotation) cropping systems. *Traditional agriculture in Southeast Asia: a human ecology perspective.*, 132-158.

Knight, C.G. 1980. "Ethnoscience and the African Farmer: Rationale and Strategy", en D. Brokenshaw et al. (eds.), *Indigenous Knowledge Systems and Development*, University Press of America, Lanham, MD, pp. 203-229.

Lammel, A., M. Goloubinoff y E. Katz (eds.). 2008. Aires y lluvias. Antropología del clima en México, México: CIESAS/IRD.

Morton J.F. 2007. The impact of climate change on smallholder and subsistence agriculture. *PNAS* 104: 19697-19704.

Ortiz E. B. y Velasco S. C. 2012. La percepción social del cambio climático "Estudios y orientaciones para la educación ambiental en México". Universidad Iberoamericana, Puebla.

Toledo, V.M. y N. Barrera, B. 2008. La memoria biocultural: la importancia ecológica de las sabidurías tradicionales, Barcelona: Icaria editorial.

## **CAPÍTULO 8. REFLEXIONES, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES.**

### **8.1. Reflexiones**

El trabajo que se presenta en esta investigación contribuye a resolver un problema de conocimiento, responder a las preguntas planteadas, lograr los objetivos señalados; validar, corroborar, verificar, refutar o desaprobar las hipótesis planteadas. Todo eso basado en marcos filosóficos valorativos teóricos-conceptuales, normativos, metodológicos e incluso ideológicos; de entrada una tarea muy difícil de lograr.

Habría que plantear que una primera reflexión, debe ser las limitaciones de tiempo y espacio para hacer una discusión de todos los aspectos involucrados en la misma. A reserva de resaltar la formación disciplinaria, positivista, se priorizará la discusión de elementos teóricos conceptuales, metodológicos y de las hipótesis planteadas.

En términos teóricos-conceptuales, resulta claro que una fase debe ser de construcción del objeto-problema de investigación y otra fase, de la interpretación de evidencias de objeto (datos-información) de estudio.

En este caso resulta clara la necesidad de ajustar o incluso reducir los enfoques para construir el objeto-sujeto-problema de investigación, con énfasis en riesgo y vulnerabilidad, de ampliar y ser más incluyente, pero también selectivo, en los elementos de los marcos interpretativos de los datos e información obtenida.

Parece ser que la parte metódica y de los datos en este tipo de estudio, es la esencia de los mismos. Un supuesto básico, es la existencia de información por lapsos establecidos, que cumplan con las normas de calidad y que hayan sido tomadas en condiciones homogéneas.

Es claro que para el caso que nos compete este requisito, es el que menos se cumple y más que una restricción implica un reto y una oportunidad para mejorar los sistemas de colecta y organización de datos que permita su análisis e interpretación usando mecanismos, herramientas de las muy nombradas TIC's, (Tecnologías de la Información y Comunicación).

En realidad son las hipótesis de trabajo donde se debe fundamentar la discusión de cualquier trabajo de investigación, ya que es en ella o ellas donde se concentran, la mayoría de los puntos fundamentales de cierto tipo de investigaciones.

A partir de este supuesto o premisa es que se hace la discusión general de la tesis.

La hipótesis general de esta investigación se plantea en términos de la existencia de relaciones entre las variables de precipitación, temperaturas máximas y mínimas e índices de la **variabilidad natural/cambio climático** para el cultivo del maíz de temporal, que nos permiten entender interdependencias entre la **sociedad y la naturaleza** en una micro-región.

Esta hipótesis general se trató de validar a través de las hipótesis pertinentes a cada uno de los cuatro artículos que forman la tesis.

En general los resultados obtenidos en cada uno de los trabajos, no hay evidencias para no aceptar las hipótesis; lo que sucede es que las hipótesis queden enriquecidas o matizadas con otras variables. Es esta la situación para las hipótesis del primer artículo y del cuarto.

La hipótesis del presente trabajo de la existencia de evidencias de un periodo de variabilidad natural y en los últimos años de cambio climático.

Los resultados señalan alrededor del año 1990, para el cambio de variabilidad natural a "huellas" del cambio climático. Su adecuación se plantea en términos de la temperatura y precipitación, son las que se presentan con mayor variabilidad; huellas de cambio climático se presentan con mayor intensidad en el incremento de la temperatura máxima y disminución de la precipitación total. Igual situación se presenta para el cuarto artículo (saberes campesinos), donde se plantea la hipótesis de la existencia de evidencias entre las variables climáticas a través de dichos relacionados con el cultivo de maíz e índices climatológicos.

Se plantea en términos de congruencia de años de buena producción de grano del maíz. Para otros años parece no aplicar de manera clara.

Situación un poco diferente se presenta para la hipótesis 2 que se planteó en términos de que existen tendencias para entender posibles afectaciones en el cultivo de maíz en la micro-región de Serdán, Puebla, México.

Los resultados señalan que para el índice de precipitación (días secos consecutivos y días húmedos consecutivos), la tendencia es a disminuir, lo cual son señales o signos contrarios para la producción de maíz.

Para este estudio surgió la oportunidad de analizar otra estación diferente que comparte la influencia de los forzantes regionales y que permiten tendencias similares en los índices climatológicos y variables meta-regionales que son tratados en el trabajo que se reporta en el capítulo número seis de la presente tesis.

De esa manera la hipótesis original planteada, se enriquece en términos de que la variabilidad del clima natural-cambio climático, demuestra sus efectos en los índices de cambio climático hacia su incremento o disminución; esas tendencias se entienden mejor mediante la consideración de eventos o variables metaregionales.

Hipótesis que se retoma en el capítulo siguiente, una situación muy diferente se presenta en relación a la hipótesis del artículo tres y que se presenta en el capítulo siete de la presente tesis. La hipótesis señala que los eventos naturales de **EL NIÑO** y los huracanes, están relacionados con variables climáticas que permiten entender los años buenos, regulares y un año malo en la producción de maíz.

Los resultados señalan que los años de **NIÑO** permiten predecir rendimientos críticos para la producción agrícola; no así para años **NIÑA** y **NEUTRO**.

Así mismo, eventos de ciclones y huracanes parecen contribuir de manera prioritaria y central, junto con el **ENOS** para predecir un año malo, como el 2015, que empieza en **NIÑO** y es malo para la agricultura, (ojalá nos equivoquemos).

Por lo que la hipótesis planteada se puede modificar, en términos que son eventos de **EL NIÑO** y los huracanes que tienen relaciones con variables e índices climáticos y los que permiten entender de mejor manera, años buenos, regulares y malos en el cultivo de maíz.

En base a las hipótesis particulares, es que una hipótesis más plausible para esta tesis se propone en términos de que existen relaciones entre la variabilidad natural-cambio climático y variables climáticas-índices de cambio climático, hacía su aumento o disminución en el tiempo y que son pertinentes para el cultivo de maíz de temporal. Estas relaciones rebasan el ámbito de micro-región natural homogénea y se explican mejor mediante el concepto de metaregión.

Considerando la discusión anterior y retomando las conclusiones principales de cada uno de los capítulos 4, 5, 6 y 7 se plantean como centrales las siguientes:

## **8.2. Conclusiones**

1. Existen evidencias en las variables climatológicas que muestran una etapa de variabilidad natural (1946-1990) y otra de cambio climático (1991-2013).
2. La variabilidad natural y cambio climático se manifiestan de diferente manera en las variables e índices de cambio climático, una a valores limitantes y otra hacia valores de óptima expresión en la agricultura (temperatura máxima y precipitación).
3. El uso del software, se basa en minería de datos, que permite identificar tendencias para plantear la hipótesis, en base a datos de manera distinta a la metodología convencional es pertinente estudiar el cambio climático.
4. Las estaciones meteorológicas de la micro-región tienen limitantes para entender de manera conjunta variabilidad natural/cambio climático. La región principal es el número de años que cubren y el número reducido de ellas.
5. La tendencia en los índices de cambio climático se presentan de manera diferencia; en general resalta una tendencia al aumento de temperatura y una disminución en índices benéficos de la precipitación.

6. En situaciones de la falta de información de estaciones micro-regionales, se deberá buscar información de otras estaciones, con uniformidad de forzantes orográficos y de complementariedad temporal (años faltantes).
7. Eventos cíclicos fuera del ámbito micro, meso o macro regional (**ENOS**), parecen ser más pertinentes, que el nivel micro-regional, para entender los eventos del cambio climático. Lo anterior es fundamental para la acción local micro-regional o territorial (pensamiento global, acción local).
8. La conclusión anterior fortalece la idea de establecer relaciones fuera de los ámbitos regionales, mediante el concepto de la metaregión y técnicas de la teleconexión.
9. Existe una alta pertinencia entre saberes populares, eventos y variables climatológicos; esta pertinencia es muy alta para años con buenas condiciones de maíz, para otros años no aplica.
10. La cantidad, distribución, eficiencia de la precipitación y su relación con características del **ENOS**, son de los principales factores responsables de los altos niveles de producción del maíz en el Valle de Serdán (El granero de Puebla).
11. Los resultados obtenidos señalan que la agricultura de la micro-región, está sujeta a amenazas, riesgo y vulnerabilidad, en distinto grado, como lo demuestran índices relacionados con la precipitación total y temperaturas máximas.
12. Una de las conclusiones finales, es que si bien variables e índices climatológicas tienen influencias en los rendimientos anuales no son los únicos, pero si, los más importantes, para los rendimientos obtenidos, otros aspectos son variables, como las políticas públicas, los precios del grano, el abastecimiento, oportunidad y precios de insumos; semillas y fertilizantes, los servicios de extensión, son importantes y habrá que considerarlos en otros estudios.

### 8.3. Recomendaciones

Las recomendaciones que a continuación se formulan, retoman las principales expresiones de este trabajo y de otras experiencias pertinentes al tema.

1. La elaboración de programas de divulgación masiva para dar a conocer información del cambio climático y de las tendencias de sus índices a nivel local.
2. La información a las autoridades locales para poder elaborar planes y programas de mitigación y adaptación al cambio climático.
3. El desarrollo de trabajos de este tipo, tomando como referencias otras actividades o aspectos relacionados con los índices de cambio climático, como la salud humana, transportes, recreación, educación, energía, producción, pecuaria, etc.
4. La priorización de estudios agrícolas; de manera integral, con los índices de cambio climático. Esta integridad contempla la necesidad de enfoques desde las ciencias de la complejidad.
5. La realización de estudios para entender, dada su alta aplicabilidad, las relaciones entre especies y variedades de plantas de las prácticas de producción e índices de cambio climático.
6. La consideración del concepto de región natural para comprender el cambio climático y el de territorio para su mitigación y adaptación.
7. La promoción de una cultura más compleja del uso eficiente del agua, dado que la precipitación total anual, tenderá a disminuir su magnitud con amplios efectos.
8. El fortalecimiento de la cobertura, precisión y oportunidad de las estaciones meteorológicas que le den seguimiento al cambio climático en tiempo real.
9. La utilización de métodos y técnicas que se han desarrollado en otras disciplinas y aplicaciones, tales como los estudios de caso, teleconexiones, fractales, redes, modelos de predicción, entre otros.

- 10.El fortalecimiento del capital social y cultural, a nivel nacional para estudiar este evento. La visión interdisciplinaria es fundamental (ciencias del ambiente, ciencias computacionales, ciencias biológicas, ciencias sociales; al menos) en sus distintas disciplinas.
- 11.Fortalecimiento de la comunicación e información continua y permanente con los grupos de trabajo a nivel micro y macro.
- 12.La revisión de todos los grupos a fin de tener evaluación continua y permanente de la ley de cambio climático, para realizar las adecuaciones en el tiempo, de acuerdo a los cambios que se estén dando.

## BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- Abasolo P. V. E. 2011. Iberofórum. Revista de Ciencias Sociales de la Universidad Iberoamericana. Año VI, No. 11. Enero-Junio de 2011.. pp. 98-120. ISSN: 2007-0675. Universidad Iberoamericana A.C., Ciudad de México.
- Albo, X. 1989. Para comprender las Culturas Rurales de Bolivia, La Paz. Ministerio de Educación y Cultura, CIPCA, UNICEF, pp. 298.
- Altieri, M. A. 1991. ¿Por qué estudiar la agricultura tradicional?. División de Control Biológico -Universidad de California, Berkeley. AGROECOLOGIA Y DESARROLLO. Revista de CLADES. Número Especial 1. Marzo 1991. <http://www.clades.org/r1-art2.htm>
- Altieri, M. y Nicholls C. 2008. Los impactos del cambio climático sobre las comunidades campesinas y de agricultores tradicionales y sus respuestas adaptativas. Agroecología 3: 7-28.
- Altieri, M. y Nicholls, I. C. 2000. Teoría y práctica para una agricultura sustentable. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Amador, J. A., y Alfaro, E. 2009. Métodos de reducción de escala: Aplicaciones al tiempo, clima, variabilidad climática y cambio climático. Revista Iberoamericana de Economía Ecológica (REVIBEC), (11), 39-52.
- Areces, N. 1999. Regiones y fronteras. Apuntes desde la historia. *Andes*, 10, 19-31.
- Broomhead D.S. and Gregory P. K. 1986. Extracting Qualitative Dynamics from Experimental Data, *Physica D*,20,217-236.
- Brundtland, G. H. 1998. Our Common Future, Oxford University. *Press. Oxford.* (*Nuestro futuro común*) Alianza, Madrid.
- Cardona, A. O. D. 2001. *Estimación Holística del Riesgo Sísmico utilizando Sistemas Dinámicos Complejos*. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya Escola Tècnica Superior D'Enginyers de Camins, Canals I Ports. Barcelona.

- Castro, F. 1992. Discurso pronunciado en la Cumbre de la Tierra, *efectuado en Río de Janeiro Brasil, en Granma*, 28, 3.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. CEPAL. 2000. La vulnerabilidad social y sus desafíos: una mirada desde América Latina, escrito por Pizarro H. R.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. CEPAL. 2010. Procedimientos de gestión para el desarrollo sustentable, escrito por Axel Dourojeanni, serie 10 de manuales de las Naciones Unidas.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. CEPAL. 2013. Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina (LC/W.563), Santiago de Chile.
- Chmielewski, A. M y Ekko B. 2004. Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961–2000 Frank-M. *Agricultural and Forest Meteorology* (121) 69–78.
- Christanty, L., Abdoellah, O. S., Marten, G. G., & Iskandar, J. 1986. Traditional agroforestry in West Java: the pekarangan (homegarden) and kebun-talun (annual-perennial rotation) cropping systems. *Traditional agriculture in Southeast Asia: a human ecology perspective*, 132-158.
- Comisión Nacional de Zonas Áridas y Universidad Autónoma de Chapingo. CONAZA/UACH. 2005. *Escenarios climatológicos de la República Mexicana ante el Cambio Climático*. Tomo I.. México.
- Conde, C. 2006. “México y el cambio climático global”. Dirección General de Divulgación de la Ciencia. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Conde A. C., y Saldaña Z. S. 2007. Cambio climático en América Latina y el Caribe: impactos, vulnerabilidad y adaptación. *Ambiente y desarrollo*, 23(2), 23-30.
- De Fonseca, B. R., y Mendoza, E. S. 2004. Dinámica de la columna atmosférica en la teleconexión entre anomalías superficiales oceánicas en el Atlántico subtropical y la variabilidad climática en el sector Euro-Atlántico. *Física de la Tierra*, 16, 49-60.

- Dilley, F.B. 1993. *Climate Change and Agricultural Transformation in the Oaxaca Valley, México*. Thesis (Ph.D. Geography) Pennsylvania State University.
- Elsner, J.B. and Tsonis, A.A. 1992. Nonlinear Prediction, Chaos, and Noise. *Bulletin American Meteorological Society*, Vol. 73, No. 1, January.
- Foladori, G., y Tommasino, H. 2000. El concepto de desarrollo sustentable treinta años después. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 1, 41-56.
- Gabaldón, A. 2006. Desarrollo sustentable. *La salida de América Latina*. Editorial Melvin, Caracas.
- Granados R. R., y Sarabia R. A. A. 2013. Cambio climático y efectos en la fenología del maíz en el DDR-Toluca. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(3), 435-446.
- Hargrove, W. W., F. M. Hoffman, and T. Sterling. 2001. The Do-It-Yourself Supercomputer. *Scientific American*, 265(2):72–79.
- Hegger, R., Holger, K., Schreiber T. 1999. Practical implementation of nonlinear time series methods: The TISEAN package. *Chaos* Vol. 9, No. 2, 413-435.
- Hernández R. M. de L., Castellón G. J. J., Morales A.T. 2014. *Estudios Sociales Sobre Agua, Actualidades y Perspectivas*” Vol. I, Doc. 26. Universidad de Guanajuato, Colpos, REDISSA. Salvatierra, Guanajuato. ISBN: 978-607-441-286-4
- Hoffman F.t M., William W. Hargroveb, W.W., Millsa, R. T., Salil Mahajanc, S.D. J., Ericksona, and Oglesbyd, R. J. 2008. Multivariate Spatio-Temporal Clustering (MSTC) as a Data Mining Tool for Environmental Applications. *iEMSs*,. International Congress on Environmental Modelling and Software. Integrating Sciences and Information Technology for Environmental Assessment and Decision Making. 4th Biennial Meeting of *iEMSs*, <http://www.iemss.org/iemss2008/index.php?n=Main>. Proceedings M. Sánchez-Marrè, J. Béjar, J. Comas, A. Rizzoli and G. Guariso (Eds.)

International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs), 1774-1781.

Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. INAFED. 2010. Consultado el 02 de marzo de 2015 en: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM29tlaxcala/municipios/29007a.html>

Instituto Nacional de Ecología. INE. 2007. Proyecto: Fomento de las Capacidades para la Etapa II de Adaptación al Cambio Climático en Centroamérica, México y Cuba. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe (CATHALAC), Instituto Nacional de Ecología (INE), Centro de Ciencias de la Atmósfera UNAM (CCA-UNAM).

Instituto Nacional de Ecología. INE. 2010. Vázquez A. J.L. (comp). Guía para el cálculo y uso de índices de cambio climático en México.

Instituto Nacional de Ecología. INE. 2010. Vázquez A. J.L. (comp). Guía para el cálculo y uso de índices de cambio climático en México.

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. INEGI. 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Chalchicomula de Sesma, Puebla.

Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC 1990. Climate change: scientific assessment, Cambridge University Press, Cambridge

Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. 2001. *Climate Change: Third Assessment Report*. Working Group II: Impacts, Adaptation and Vulnerability. IPCC, Ginebra.

Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. 2001. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policy Makers. Working Group II.

Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. 2001a. Working Group I. Newsletter No. 8. WMO, UNEP. Consultado en <http://www.ipcc.ch>, el 23 de agosto de 2013.

Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. 2001b. Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policy Makers. Working Group II.

- Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. 2007. Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC. 2007. Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge
- Kadioglu M. and Sen Z. 1998. Power-law Relationship in Describing Temporal and Spatial Precipitation Pattern in Turkey Theor. Appl. Climatol. 59, 93-106.
- Kalkstein, L.S., Tan, G. and Skindlov, J.A. 1987. A comparison of three clustering procedures for use in synoptic climatological classification. Journal of Climatology & Applied Meteorology, 19, 717-730.
- Klonowski W. 2002. Chaotic dynamics applied to signal complexity in phase space and in time domain. Chaos, solitons and fractals, 14, 1379-1387.
- Knight, C.G. 1980. Ethnoscience and the African Farmer: Rationale and Strategy, en D. Brokenshaw et al. (eds.), Indigenous Knowledge Systems and Development, University Press of America, Lanham, MD, pp. 203-229.
- Kollmann, M. I. 2005. Una revisión de los conceptos de " territorios equilibrados" y " región". Procesos de construcción y deconstrucción. Theomai: estudios sobre sociedad, naturaleza y desarrollo, (11), 2.
- Lammel, A., M. Goloubinoff y E. Katz (eds.). 2008. Aires y lluvias. Antropología del clima en México, México: CIESAS/IRD.
- Lavell, A. 1996. Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano. Problemas y conceptos: hacia la definición de una agenda de investigación. Ciudades en riesgo.
- Lébre, L. E., Pinguelli. L.R. y Santos P. A. 2002. La transición hacia el desarrollo sustentable. Perspectivas de América Latina y el Caribe / coordinado por Enrique Leff, Exequiel Ezcurra, Irene Pisanty y Patricia

Romero Lankao. Capítulo 8. Cambio climático y desarrollo energético en América Latina: análisis y perspectivas.

Ley General de Cambio Climático. 2012. Publicado en el DOF el 6 de junio de 2012. Disponible en: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lgcc.htm>.

Lira, L. 2003. La cuestión regional y local en América Latina. CEPAL, serie Gestión Pública, Nro. 44, publicación de las Naciones Unidas, número de venta S.03.II.G.187, Santiago, Chile, noviembre.

Liverman, D. 1990. Drought Impacts in Mexico: Climate, Agriculture, Technology, and Land Tenure in Sonora and Puebla. *Annals of the Association of American Geographers*. Vol. 80. p. 49-72.

Iizumi, T., Luo, J. J., Challinor, A. J., Sakurai, G., Yokozawa, M., Sakuma, H., & Yamagata, T. 2014. Impacts of El Niño Southern Oscillation on the global yields of major crops. *Nature communications*, 5.

López, C.S., Ramírez V.B., Contreras R. J., Juárez S.P., Díaz R. R. y Vargas, L.S. 2010. Caracterización de la microrregión de atención prioritaria oriente de Puebla. Informe presentado en el Colegio de Postgraduados, campus Puebla.

Magaña R. V. (Editor) 2004. Los impactos del niño en México. Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, Secretaría de Gobernación. México, 229 p.

Magaña, R. V. y C. Gay. 2002. Vulnerabilidad y Adaptación Regional ante el Cambio Climático y sus Impactos Ambientales, Sociales y Económicos. *Gaceta Ecológica*, octubre –diciembre, No. 065, Instituto Nacional de Ecología. D.F. México, pp. 7-23.

Magaña, V., C. Conde, O. Sánchez and C. Gay. 1997. Assessment of current and future regional climate scenarios. *Climate Research* 9: 107-114.

Magrin, G., C. Gay G., D. Cruz, C. J.C. Giménez, A.R. Moreno, G.J. Nagy, C. N. and Villamizar, A. 2007. Latin America. Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the

- Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 581-615.
- Martínez, M. F., Bremauntz, A. F., & Osnaya, P. 2004. *Cambio climático: una visión desde México*. Instituto Nacional de Ecología.
- Monterroso R. A. I., Conde A, C., Rosales D. G., Gómez D. J.D. y Gay G.C. 2011. Assessing current and potential rainfed maize suitability under climate change scenarios in México. *Atmósfera*, 24(1), 53-67.
- Morales, A.T., Medel, R. A., Morales, A. F. J., Cortés P. E., Morales, C. X. 2008. Data Mining vs. Mathematical Modelling: Nonlinear Dynamics and Chaos Theory. iEMSs . International Congress on Environmental Modelling and Software. Integrating Sciences and Information Technology for Environmental Assessment and Decision Making. 4th Biennial Meeting of iEMSs, <http://www.iemss.org/iemss2008/index.php?n=Main>. Proceedings M. Sánchez-Marrè, J. Béjar, J. Comas, A. Rizzoli and G. Guariso (Eds.) International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs). 1963-1964.
- Moreno, A. R. y J. Urbina S. 2008. Impactos Sociales del Cambio Climático en México. ISBN:978-968-817-883-6. Libro electrónico disponible en: [http://www.ine.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id\\_pub=572](http://www.ine.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=572). [Acceso el 12 de marzo de 2009].
- Morton J.F. 2007. The impact of climate change on smallholder and subsistence agriculture. *PNAS* 104: 19697-19704.
- National Oceanic and Atmospheric Administration. NOAA. 2014. Pronóstico para la temporada ciclónica 2009 en el Océano Atlántico. Consultado el 10 de febrero de 2012. Disponible en: [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/outlooks/hurricane\\_Sp.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/outlooks/hurricane_Sp.shtml).
- National Oceanic and Atmospheric Administration. NOAA. 2014. Consultado el 25 de septiembre de 2014, disponible en:

[http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml)

- O'Brien, K. y Leichenko R. 2000. Double exposure: assessing the impacts of climate change within the context of economic globalization. *Global Environmental Change* 10: 221-232.
- Ortiz E. B. y Velasco S. C. 2012. La percepción social del cambio climático "Estudios y orientaciones para la educación ambiental en México". Universidad Iberoamericana, Puebla.
- Pierri, N. 2005. Historia del concepto de desarrollo sustentable. Guillermo Foladori y Naina Pierri, coordinadores, ¿Sustentabilidad, 27-81.
- Porter J.R. 2005. Rising temperatures are likely to reduce crop yields. *Nature* 436,174-1174.
- Ramírez H. M. 2013. Tesis de maestría. Política agrícola y heladas en el medio rural. Caso de los productores de maíz en Tlachichuca, Puebla. 78 pp.
- Ramírez, C. A. M. 2013. Selección de maíces criollos de ciclo corto como estrategia frente al cambio climático en Michoacán. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 17(2), 7-22.
- Ramírez, C. A. M. 2015. Respuesta esperada y efectos colaterales a selección por precocidad en maíz frente al cambio climático. *Biológicas Revista de la DES Ciencias Biológico Agropecuarias Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, 16(2), 36-43.
- Ramos, C. 2010. Efectos del cambio climático en la agricultura, *Agroenfoque*, set, 24(171), pp 38-42.
- Río de Janeiro. 1992. Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, celebrada en Río de Janeiro, del 3 al 14 de junio de 1992. Disponible en: <http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/spanish/agenda21sptoc.htm>. Consultado 15-02-2014.
- Rodríguez, V.D. 1999. *Prevención de desastres en la zona Metropolitana de la ciudad de México*. Tesis doctoral. UAM. Págs. 1-72. México, D.F.

- Sánchez, I. P., de Fonseca, B. R., y Doval, T. L. 2004. La variabilidad del Atlántico tropical y su teleconexión extra-tropical. *Física de la Tierra*, (16), 37-47.
- Santos, M. 1997. *Temica, Espap, Tempo. Globaliza@ e meio temico-cientifico infmmbonal*. Siio Paulo, Editora Hucitec.
- Selvam, A.M., and Fadnavis, S. 1998. Signatures of a universal spectrum for atmospheric interannual variability in some disparate climatic regimes, *Meteor. Atmos. Phys.*, 66(1- 2), 87-112.
- Sfetsos A., Vlachogiannis D. 2008. A data mining approach to discover weather patterns contributing to PM10 exceedances. *iEMSs*, 1727-1733. International Congress on Environmental Modelling and Software. Integrating Sciences and Information Technology for Environmental Assessment and Decision Making. 4th Biennial Meeting of iEMSs, <http://www.iemss.org/iemss2008/index.php?n=Main.Proceedings> M. Sánchez-Marrè, J. Béjar, J. Comas, A. Rizzoli and G. Guariso (Eds.) International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs).
- Sivertsen, T.H. 2005. Discussing the scientific method and a documentation system of meteorological and biological parameters. *Phys. Chem. Earth*. 30:35-43
- Taboada G. O. R. 1996. Diversidad de los maíces criollos en el Valle de Serdán, Puebla. Tesis Profesional. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo.
- Toledo, V.M. y Barrera, B. 2008. *La memoria biocultural: la importancia ecológica de la sabidurías tradicionales*, Barcelona: Icaria editorial.
- Trujillo, R. C. M y Marrero Y. 2008. *La estimación de las pérdidas agrícolas en condiciones de riesgo*. [En línea], disponible en <http://www.gestiopolis.com/economia/estimacion-de-perdidas-y-riesgos.htm> [Acceso el 24 de marzo de 2009].
- Turcotte, D.L. 2003. "The Relationship of fractals in Geophysics to "New Science". *Chaos, Solutions & Fractals*, Vol. 27, Issue 1, 210-217.

- Van der Vaart, H.R. 1973. A comparative investigation of certain difference equations and related differential equations: Implications for model building. *Bull. of Math. Biol.*, 35, 195-21.
- Velasco H. M. de los A., Morales, A. T., Estrella Ch. N. G. 2013. “Aplicación del Enfoque de Minería de Datos en la Variabilidad del Clima en el Municipio de Ciudad Serdán, Puebla, México” *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo* ISSN 2007-2619. No. 10, Enero-junio. 13 Págs.
- Zupanski, M., and Navon, I.M. 2007. Predictability, observations, and uncertainties in the geosciences. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 88, 1431–1433.