

## Tendencias y variabilidad de índices de cambio climático: enfoque agrícola en dos regiones de México\*

### Trends and variability of climate change indices: agricultural focus, in two regions of Mexico

María de los Ángeles Velasco Hernández<sup>1</sup>, Tomás Morales Acoltzi<sup>2,8</sup>, Néstor Gabriel Estrella Chulim<sup>1</sup>, Ramón Díaz Ramos<sup>1</sup>, José Pedro Juárez Sánchez<sup>1</sup>, Maricela Hernández Vázquez<sup>3</sup> y Rogelio Bernal Morales<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados-Campus Puebla. Carretera Federal México-Puebla km 125.5, Santiago Momoxpan, C. P. 72760, San Pedro Cholula, Puebla. (angeles.velasco.correo.buap.mx; ambientalbuap@yahoo.com.mx; nestrela@colpos.mx; dramon@colpos.mx; pjuarez@colpos.mx). <sup>2</sup>Centro de Ciencias de la Atmósfera-UNAM, Circuito Exterior, C. U. C. P. 04510, México, D. F. <sup>3</sup>Facultad de Agrobiología-Universidad Autónoma de Tlaxcala. Ave. Tlahuicole No. 505A. C. P. 90400. Col. Adolfo López Mateos, Tlaxcala, Tlaxcala. (mariheva@live.com.mx; rbernal07@hotmail.com). <sup>8</sup>Autor para correspondencia: acoltzi@atmosfera.unam.mx.

## 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, en 2014. 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, Tlaxcala; se realizó un análisis de calidad de los datos aplicando el software RClimDex, a 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 calculados 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

## Abstract

The simultaneous impact of natural climate variability and climate change on agricultural activity induces a food security risk. The main objective of this research was to identify trends both increase or decrease in temperature and precipitation, as well as variability in the rates of climate change, with emphasis on agriculture for the corn region of Serdan, in 2014. Due to incomplete information on daily weather data from weather stations in the region, was used as support the “closest” weather station to the study site, located in El Carmen Tequexquitla, Tlaxcala; an analysis of data quality was made using the software RClimDex to two relatively close municipalities. Precipitation (PCP), maximum temperatures (T<sub>max</sub>) and minimum (T<sub>min</sub>) daily scale series, were evaluated from 1970 to 2012. From the 27 calculated indexes 6 were selected, identifying a extreme variability of these associated with the simultaneous impact of natural climate variability and modified by climate change: 1) consecutive dry days (DSC); 2) consecutive wet days (DHC); 3) days with freezing weather (Dhem); 4) total annual precipitation (PTA); 5) equal or greater precipitation than 10mm (PCP10); and 6) temperature at or above 25 °C (T25), exploring the possibility of increased "heat waves".

\* Recibido: diciembre de 2014  
Aceptado: agosto de 2015

(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, un decremento en la precipitación total anual.

**Palabras clave:** RCLimdex, seguridad alimentaria, teleconexión, valores extremos.

## Introducción

El panel intergubernamental sobre el cambio climático Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) en el tercer reporte de evaluación Third Assessment Report (TAR), 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. Asimismo, 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 condiciones de cambio climático (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 (VyA), de los sistemas humanos sobre los que descansa la productividad y bienestar de nuestra sociedad (CEPAL, 2013). El impulso a los estudios de VyA es la tarea que se han propuesto impulsar durante los próximos años, los

The auxiliary station from El Carmen Tequexquitla allowed us to deduce the behavior of climate variability in the region. Also found a relationship of PCP with the event phase of El Niño-Southern Oscillation (ENSO), with the warm phase 1977 and 1998, a decrease in total annual rainfall was also found.

**Keywords:** RCLimdex, food security, teleconnection, outliers.

## Introduction

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) on the Third Assessment Report (TAR) integrated three volumes concluding among other things, that there is a global warming and changes in climate system; also as more robust evidence that most of the observed warming over the last 50 years is attributable to human activity. It also notes that emissions of greenhouse gases will continue to alter the atmosphere and climate will be affected during this century. Moreover, there is an increased confidence on models ability to project future climate. These models point to significant increases in global mean temperature and sea level, in any of the scenarios presented in the IPCC. Finally, it is concluded that climate change (CC) from anthropogenic origin, persists for several centuries under climate change conditions (IPCC, 2001a).

In general, for developing countries is expected an important reduction in crop yields, a significant decrease in water availability, an increase in the number of people exposed to diseases like malaria and cholera, as well as an increased risk of floods caused by torrential rains and rise of sea levels (IPCC, 2001b). One of the big challenges in the current research is to conduct vulnerability studies in order to design strategies for adaptation (VyA), from human systems on which rests the productivity and welfare of our society (CEPAL, 2013). The impulse to perform VyA studies is the task that has been proposed to promote in the coming years, the countries involved in the conference of the parties: to link National Communications call to the results develop in this field.

Current VyA studies, related to agriculture, start from considering that this activity is extremely vulnerable in developing countries, since it is doubly exposed (O'Brien and Leichenko, 2000): it is vulnerable to strong socio-economic changes that occur in the process of economic globalization

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 VyA, 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 General Circulation Models (GCMs).

Aunque el TAR no fue concluyente en cuanto a estos aspectos del ENOS, sí 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 de desarrollo regional y no como un problema ambiental.

Entre las conclusiones de investigaciones recientes sobre Latinoamérica y el cambio climático (Magrin *et al.*, 2007), destaca 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

and is also highly sensitive to climatic variations, as observed during major weather events that occurred in the nineties, particularly during the strong event El Niño in 1997-1998. For Latin American are considered variations in the possible ranges of temperature and precipitation under CC conditions, there is confidence that ENSO conditions are responsible for climate variability in the region (IPCC, 2001b). Therefore, variations in climate that involve an increase in the number or intensity of this event would be very adverse CC scenarios to productive activities in the region. During Country Study, regional scenarios constructed from statistical techniques (Magaña *et al.*, 1997) showed these conditions for several General Circulation Models (GCMs).

Although TAR was inconclusive as to these aspects from ENSO, it does establish the probability that the duration of it is lengthened (between 12-18 months). In that case, Mexico could stand for two summers with drought, or two winters with low temperatures and heavy rains. In addition, some studies relate El niño with increased presence of hurricanes in the Pacific; these meteors have been the source of major disasters in Latin America, particularly in Central America and Mexico, as floods and landslides caused heavy losses of human lives and infrastructure that can delay regional development by decades, according to the new interpretation of CC, at the meeting of Río + 20; where CC was considered as a problem of regional development and not as an environmental problem.

Among the findings of recent research on Latin America and climate change (Magrin *et al.*, 2007), highlights increased vulnerability to extreme events, where the study site of this work helps to show impacts at regional level. So it is necessary to generate knowledge allowing to feedback agricultural empirical activities known as "rainfed", and in turn improve economic activity. This region falls within the town of Ciudad Serdan which together with the support station located in El Carmen Tequextitla share a micro watershed (Velasco *et al.*, 2013).

## Materials and methods

The interest in choosing this area was due to its high technology adoption in maize production, because it is a highly productive agricultural system according to Ramirez (2013) and high presence of disasters over time and mainly for those registered in recent years.

agrícolas empíricas 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).

## Materiales y métodos

El interés de elegir esta zona, fue por su alta adopción de tecnología en 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, éste 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 2 526 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 1.

CC indices were calculated from temperature data series and precipitation, according to the methodology from "guidance for the calculation and use of climate change indices in Mexico" (INE, 2010). The database (BD) of this research corresponds to the records of two meteorological stations with time series (ST) of PCP, T<sub>max</sub> and T<sub>min</sub>, on daily scale, for the period from 1970 to 2012. Next a brief description from the geographical point of view, of the municipality where the weather station is and forming part of the study region.

Ciudad Serdán is located in the municipality of Chalchicomula de Sesma, Puebla, this is considered as one of the most important in the eastern part of the state; the municipality is part of a valley in the center of the state, bordered on the north by San Juan Atenco, Aljojuca and Tlachichuca, to the south with Esperanza, east with Atzitzintla, west with Palmar de Bravo and Quecholac; with an altitude of 2 526 masl. Its area is 364 km<sup>2</sup> (geographic coordinates north latitude,  $\phi = 18^{\circ} 59' 20''$  and west longitude,  $\psi = 97^{\circ} 26' 48''$ ).

The territory has valleys, plains and mountains. The main crop is maize, followed by beans, with wide vegetation, formed by shrubs, cactus, grasses, algae, fungi, ferns and mosses, in the mountains the weather is cold and the valleys are temperate. The Citlaltépetl or Pico de Orizaba is the most important elevation and the main forest area, in addition of counting with high mountain meadow (INEGI, 2009), Figure 1.



**Figura 1. Variabilidad anual de los días secos consecutivos.**  
**Figure 1. Annual Variability of consecutive dry days.**

The municipality of El Carmen Tequextitla is located in the state of Tlaxcala and is among the geographic coordinates north latitude  $\phi = 19^{\circ} 19' 28''$  and west longitude  $\psi = 97^{\circ} 39' 21''$ ; with an average altitude of 2 380 masl. El Carmen



El municipio de El Carmen Tequexquitla se localiza en el estado de Tlaxcala y se encuentra entre las coordenadas geográficas latitud norte  $\varphi = 19^\circ 19' 28''$  y longitud oeste  $\psi = 97^\circ 39' 21''$ . Está situado a una altura promedio de 2380 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 Tequezquital". 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 Cuapiaxtla.

Las unidades de producción rural ocupan una superficie de 2 952 ha, espacio que representa 1.2% de la superficie total del estado. De tal extensión 1 989 ha, 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 Commission on Climatology- Climate Variability and Predictability (CC-CLIVAR) así como otros índices de temperatura y precipitación, por su gran importancia (Hernández *et al.*, 2014), con límites definidos por el usuario.

## Resultados y discusión

En la Figura 2, 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 (- - - - -).

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 observó 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 observaron ambas tendencias ascendentes, lineal y 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,

Tequexquitla, the word comes from Nahuatl language; "the first" Tequexquitl, means "Saltpeter" and the last, "Tla" denotes "Abundance", so Tequexquitla means "place of Tequezquite or Tequezquital". Most of the municipality, neighbors with the state of Puebla. Indeed, the municipality has borders with Puebla by three cardinal points: north, south and east; also it establishes boundaries to the west with the municipality of Cuapiaxtla.

Rural production units cover an area of 2,952 ha, space representing 1.2% of the total area of the state. From this extension 1 989 ha, 67.4% constitutes the land under annual or short-cycle crops, orchards and plantations (INAFED, 2010).

Regarding to methodology, the software RCLimDex was applied. It is designed to foster a friendly interface to calculate 27 indices of extreme climates, recommended by the expert team from Commission on Climatology- Climate Variability and Predictability (CC-CLIVAR) and other temperature and precipitation indices, for their importance (Hernández *et al.*, 2014), with user-defined limits.

## Results and discussion

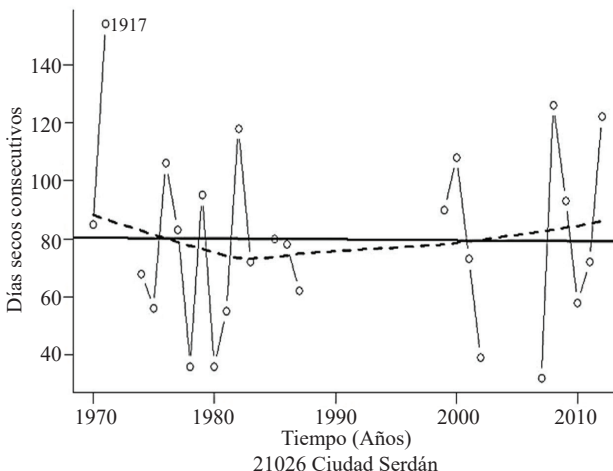
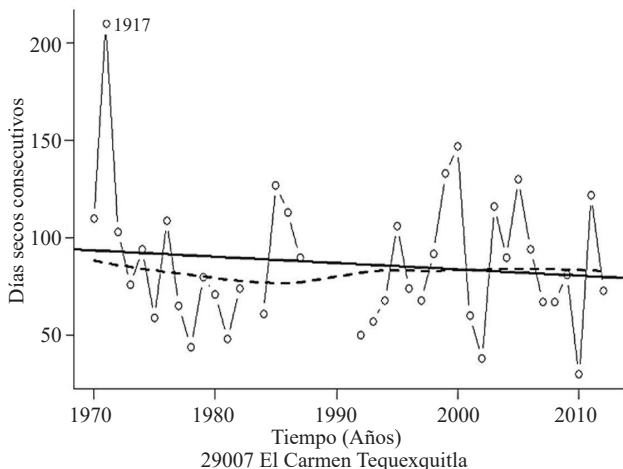
Figure 2, shows the ST analysis of daily rainfall, from the weather stations of El Carmen Tequexquitla (ECT) and Ciudad Serdán (CS) for the period 1970-2012, presenting the behavior of the consecutive dry days (DSC), considering two trends: linear (-----) and nonlinear (- - - - -).

Both stations, recorded a maximum DSC in their respective scales, for 1971, indicating that this year, at least for the region it was dry. The trend observed in DSC for ECT station, located in Tlaxcala, shows a linear decreasing trend, however, for CS, in Puebla, both rising trends, linear and non-linear, on the other hand, interpreting the first station is more robust for the amount of data. This variable and its complement, consecutive wet days (DHC) are vital, because the crops would undergo stages of water stress or wet periods. Decade variability is also identified with lower amplitude, for the 70's and early 80's, for ECT station.

Figure 3, shows ST analysis of daily precipitation, from ECT and CS weather stations for the period 1970-2012, showing the behavior of consecutive wet days (DHC), considering both trends: Linear (-----) and nonlinear (- - - - -).

debido a que los cultivos se someterían a etapas de estrés hídrico o a periodos húmedos. También se identifica variabilidad decadal con amplitud menor, para los 70's e inicio de los 80's, para la estación ECT.

A slight downward trend in DHC from ECT, of 6.3 to 5.8 approximately, compared with CS there is a significant downward trend in the decade from the 70's and mid 80's, it is perceived that DHC were good but the nonlinear trend declines

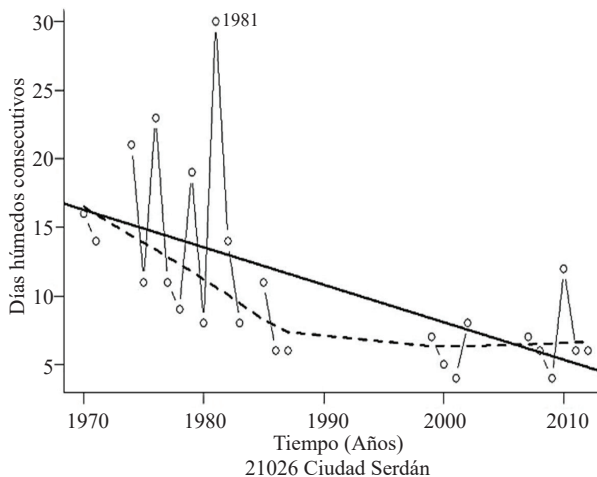
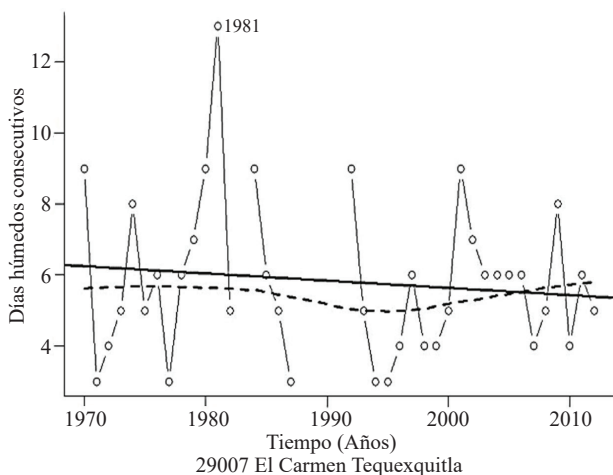


**Figura 2. Localización geográfica de los municipios de estudio.** Google Earth (2014).

**Figure 2. Geographical location of the municipalities under study.** Google Earth (2014).

En la Figura 3, se muestra el análisis de las ST de precipitación diaria, 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 (- - - -).

to 6. The moisture is a variable that is important in the planting season and crop type; both stations showed a maximum in DHC in their respective scales, for 1981, indicating that this year, at least for the region, was rainy, sharing the same large-scale event generating favorable rainfall conditions.



**Figura 3. Variabilidad anual de los días húmedos consecutivos.**

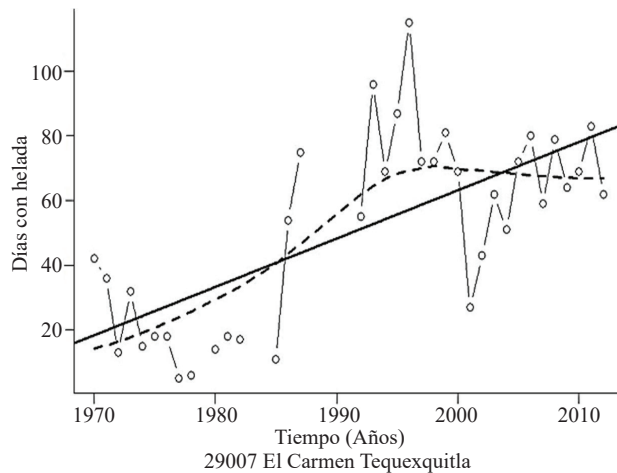
**Figure 3. Annual variability of consecutive wet days.**

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

Figure 4, shows ST analysis of daily precipitation, from ECT and CS weather stations for the period 1970-2012, showing the behavior of the annual number of days with freezing weather,  $T < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; i.e. these are not agronomic frost (DheM), considering both trends: linear (-----) and nonlinear (- - - -).

que es importante en la época de siembra y del tipo de cultivo del productor. También ambas estaciones presentaron un máximo en los DHeM 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 4, se muestra el análisis de las ST de precipitación 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,  $T < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; es decir, no son heladas agronómicas, (DHeM), considerando ambas tendencias: lineal (-----) y no-lineal (- - - -).



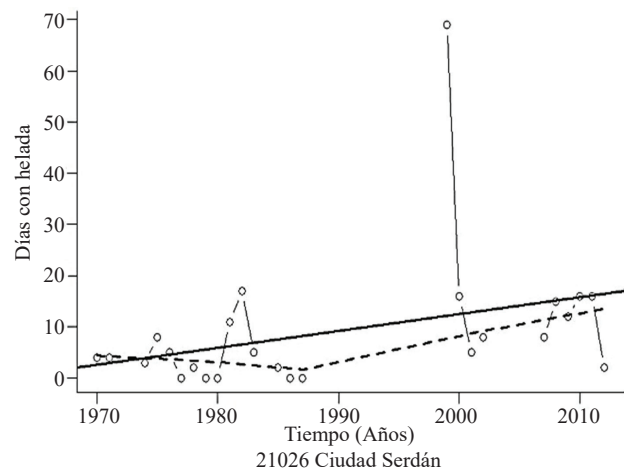
**Figura 4. Variabilidad anual de los días con helada meteorológica.**  
**Figure 4. Annual variability of days with freezing weather.**

Se observó 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. 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  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  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

It was noted that the trends for both stations are rising, for Dhem, the trend is a significant increase in values of 20 DHeM, maintaining it until the 80's and early 90's, rising to 80. Regarding CS, the trend is also positive, however, the number of frost is much lower, having a maximum value of 20 DHeM. It is noted that in 2000, there is a data of 68 DHeM, despite the absence of data it cannot be shown if the data is atypical. In the event that frosts reach  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  or even less for crops, the freezing of water in plants is mortal, as the ice crystals dilate, it pierces cell membranes.

Frost can cause partial or complete death as in the inflorescence stage, falling leaves or fruit, death of buds, etc.; in addition to premature aging of the photosynthetic



tissue by cell necrosis and a delay in the development of plant organs. It is known that crop development is associated with frost-free period. Start and end dates of these, besides the beginning of rainy season define the potential of sowing and harvesting; so that an analysis of the frost-free period with different probabilities of occurrence, will be of great importance for planning and potential crop success. Early or late frosts become catastrophic for the development of crops, depending on the vegetative growth cycle.

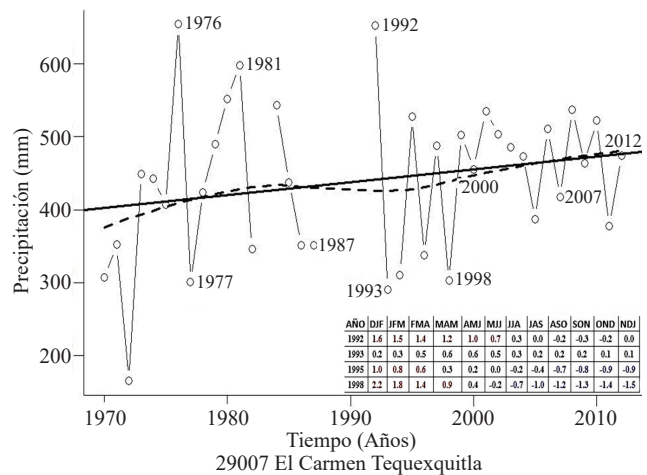
Figure 5a and 5b, shows the analysis of ST daily precipitation, from ECT and CS weather stations, respectively, besides ENSO conditions, consulted from the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) for the period 1970-2012, showing the behavior of the total annual precipitation (PTA), considering two trends: linear (-----) and nonlinear (- - - -).

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 5a y 5b, se muestra el análisis de las ST de precipitación diaria, de las estaciones meteorológicas de ECT y CS, respectivamente, además de las condiciones del ENOS, consultado de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), para el periodo 1970-2012, presentando el comportamiento de la precipitación total anual (PTA), considerando las dos tendencias: lineal (-----) y no-lineal (- - - -).

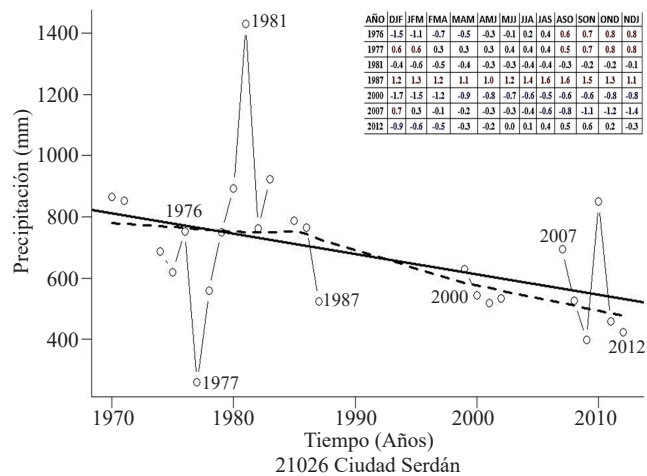
Se observa que ECT, muestra una ligera tendencia ascendente de la variación de la precipitación anual, que varía de 400 mm a 450 mm, y para la CS se nota que en las décadas de los años 70's, 80's y, principios de los 90's, muestra una PTA favorable, nótese la diferente escala entre figuras. No obstante, 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 Ciudad Serdán, mencionan que en los años 70's y 80's, tuvieron los mejores rendimientos en la producción del maíz.

En la Figura 5b, 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 5b, 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. 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 Neutros, lo cuales se han considerado propicios para la lluvia, no obstante, la tendencia para la estación de CS es la disminución de la PTA.



**Figura 5a. Variabilidad anual de la precipitación total acumulada para ECT.**

**Figure 5a. Annual variability of total precipitation accumulated for ECT.**



**Figura 5b. Variabilidad anual de la precipitación total acumulada para CS.**

**Figure 5b. Annual variability of total precipitation accumulated for CS.**

It is noted that ECT shows a slight ascending trend on variation of annual rainfall, ranging from 400 mm to 450 mm, and for CS is noted that in the decades of the 70's, 80's and early 90's, shows a favorable PTA, note the different scales between figures. However, in the early 90s, it has declined by half, from 980 mm to 430 mm. We must remember that for crops, not all the precipitation that falls in a place is stored in the root zone. So it is of interest to know some of that precipitation called "effective precipitation". Another factor identified in PTA variable, based on a survey made to maize farmers in the municipality of Ciudad Serdan, mention that in the 70's and 80's, had the best yields in corn production.



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 y comparado con las décadas anteriores, se muestra una menor amplitud y mayor variabilidad, 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 el Cuadro 1.

#### Cuadro 1. Variabilidad ENOS de años identificados en el sitio de estudio.

Table 1. ENSO variability from years identified in the study site.

Año	DEF	EFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDE
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, 2015.

En la Figura 6, 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 (- - - -).

Se muestra la estación ECT, con una tendencia ligeramente ascendente, nótese la diferencia de escalas, la cual se ha mantenido a lo largo del tiempo, con una variación de 13 a 17 eventos con una PCP10. Para la estación de CS, se observa

Figure 5b shows that in these decades, rainfall was favorable, except for 1977 and 1987, highlighting the neutral states in the Niño3 area. From 1990, PTA decreases. Based on the nearby weather station ECT; Figure 5b, shows the missing years from CS Station, with less variability during the decade of the 90s and with a tendency of PTA to increase till 2012; however, for CS, although there was variability with respect to events of the Niña and neutral years, highlighting the NIÑO years, with a tendency of PTA to decrease. For CS station, with regard to the last decade 2000-2010 and until 2012, there are Niña years and neutral years events, which have been considered as favorable for rain, however, the trend for the season for CS station is a decrease in PTA.

Other years that were identified in relation to El Niño were: in 1976 for ECT, with 4 months Niña-Neutral-Niña, showing an increase in PTA and the contrary occurs for CS. In 1977 there is a match from both stations of a downward trend. In 1981 there is also an increase of PTA for both stations coinciding with a Neutral year. In 1987 there is a decrease coinciding with an event of the Niño. It is noted that in

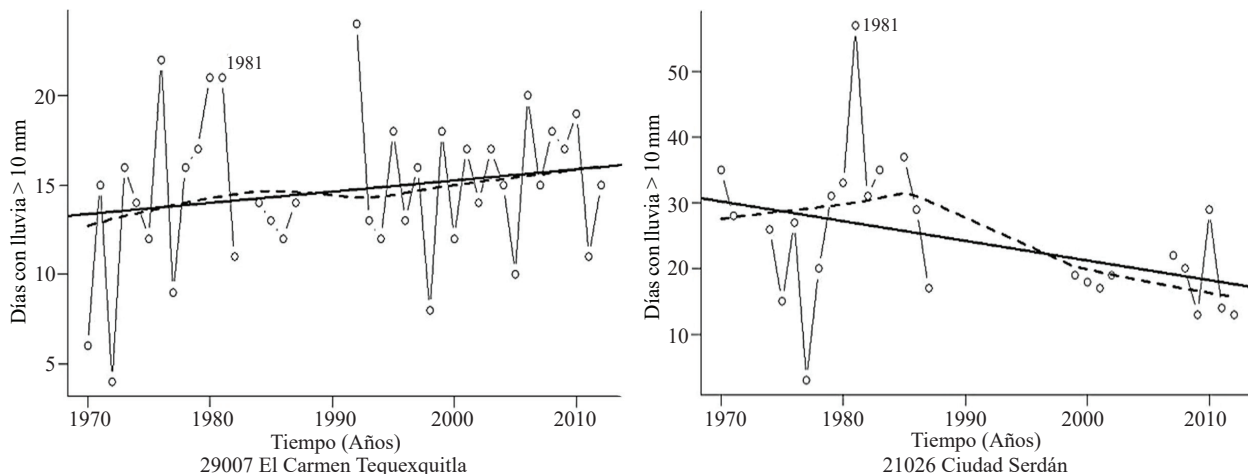
early 90's for CS station, there is no data and compared to previous decades, it shows a lower amplitude and greater variability, highlighting the years 1992, 1993, 1995 and 1998, with most events of the Niño, Neutral and with few years Niña events.

The year 2000 coincided with a downward trend in both stations in Niña. In 2007 highlight the Neutral months no coinciding with the trends in both stations. In 2012 with nine months of Neutral years there is an increase of PTA for ECT, the contrary for CS. The data observed in the area from Niño3 is shown in Table 1.

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.

Figure 6, shows the analysis of ST daily precipitation, from ECT and Ciudad Serdan CS weather Stations, for the period 1970-2012, showing the behavior of the number of days in a year when precipitation is higher or equal to 10 mm (PCP10), considering the two trends: linear (-----) and nonlinear (----).

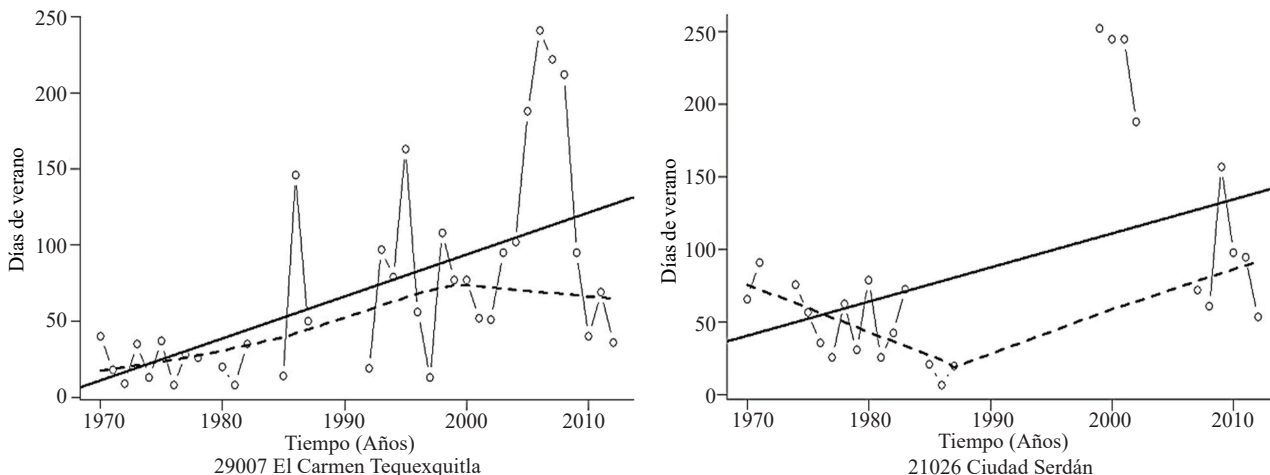
ECT station shows a slightly ascending trend, note the difference in scale, which has been maintained over time, ranging from 13 to 17 events with a PCP10. For CS Station, an opposite



**Figura 6. Número de días en un año, cuando la precipitación es mayor o igual a 10 mm.**  
**Figure 6. Number of days in a year when rainfall is greater than or equal to 10 mm.**

En la Figura 7, 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 (T<sub>25</sub>), considerando las dos tendencias: lineal (-----) y no-lineal (----).

trend is observed ranging from 30 to 15 occurrences with this limit. For crops is a measure to estimate the minimum crop evapotranspiration and achieve high stable yields, and ensure the highest quality of harvestable product. One of the highest values of PCP10 for ECT station is also the same for CS Station, in their respective scales. Which it is related to the same event at large scale identified for the maximums in DHC for 1981.



**Figura 7. Número de días en un año cuando la temperatura máxima diaria es mayor a 25 °C.**  
**Figure 7. Number of days in a year when daily maximum temperature is above 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 decadales de 50 días con T25 en la tendencia lineal, por otra parte, resalta en CS que existe escasez de datos, sin embargo, se muestra que a principios del año 2000, se presentan datos de incrementos de temperatura, que van 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, mayor a 40 °C.

## 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 en 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.

Figure 7, shows ST analysis of the daily Tmax, from ECT and CS weather stations, for the period 1970-2012, presenting the behavior of summer days, i.e., the number of days in a year when the daily maximum temperature is above 25 °C (T25), considering two trends: linear (-----) and nonlinear (- - - -).

Both ECT and CS stations show in early 70's, a relatively small amplitude variability; also observed increased trends over time in T25 days; for ECT station decadal increments of 50 days with T25 are identified in a linear trend, moreover, highlighting in CS that data is scarce, however, it shows that in early 2000, data of increase in temperature ranging from 180-250 days with T25 are presented. The main effects on plants by high temperatures are, less firmness and irregular color of the fruit, stomatal closure for high evapotranspiration demand generated by water stress to the plant, enzymatic destruction of tissues, higher than 40 °C.

## Conclusions

Variables coinciding in both municipalities, ECT and CS, with ascending trends were: DSC, DHeM, and T25. DHC variable for CS station, there is a critical situation in the linear and non-linear downward trend. Regarding to precipitation there is an interesting fact for ECT station which has 400 mm with ascending trend, contrary to CS showing a downward trend of 400 mm. While all variables are vital for the development of a crop, frosts are considered decisive, regardless of the growth stage of a crop. Considering this, the municipality of Cd. Serdán is less vulnerable to frost compared with the municipality ECT.

The study of linear and nonlinear trends, that were analyzed show the importance that this have for producers and decision makers on the type of crop to be adapted to adverse conditions of climate variability. Note that both municipalities share a watershed, it is important to understand the behavior of the number of frost, one of the main variables studied in this project. Analyzing the annual behavior of consecutive dry days in a complementary manner with consecutive wet days, and identify their linear and non-linear trends allowed us to know intra-annual and inter-annual variability, as for decadal, generating information and, therefore, knowledge that can be exploited to obtain improved yields, by considering and using annual and decadal trends.

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 rural a escala local y contribuye en la gestión de los tomadores de decisiones en las variables críticas de un cultivo.

## Agradecimientos

La autora principal, agradece a la BUAP su apoyo para realizar los estudios de Doctorado en el Colegio de Postgraduados, Campus Puebla. A los árbitros, que enriquecieron el trabajo con sus valiosos comentarios.

## Literatura citada

- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2013. Respuestas urbanas al cambio climático en América Latina (LC/W.563). Santiago de Chile.
- Hernández, R. M. de L.; Castellón, G. J. J. y Morales-Acoltzi, T. 2014. Estudios sociales sobre agua, actualidades y perspectivas. Universidad de Guanajuato, Colpos, REDISSA. Salvatierra, Guanajuato. I-26.
- INAFED (Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal). 2010. <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM29tlaxcala/municipios/29007a.html>.

It was possible to evaluate the inter-comparison potential between two time series with relatively different records, being able to infer behavior or variable dynamics when a station does not have count with enough data. ST are dominated by local factors, in the case of ECT is a lake that serves as a thermos-regulator and may be the cause of two cold periods, one in the winter time and another one again when the lake recovers its temperature which can last even months depending on the weather, and for CS mountain breeze has a direct impact associated with the Citlaltepec volcano giving a local signature; however, from a regional point of view share large scale factors such as oceans and the possible climate change, manifesting itself in a differentiated way.

It is considered that not all the answers in the agricultural process are in the climate, it is also necessary to take into consideration that agricultural vulnerability is closely related to soil degradation, disinvestment and aging of rainfed producers. There are other relationships as the type of agricultural system, agricultural policy, among others. The research represents a rural approach at local level and contributes to the management of decision-making in critical variables of a crop.

*End of the English version*



- INE (Instituto Nacional de Ecología). 2010. Guía para el cálculo y uso de índices de cambio climático en México. Vázquez, A. J. L. (Comp.).
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática). 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Chalchicomula de Sesma, Puebla.
- IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático) 2001a. Working Group I. News letter No. 8. WMO- UNEP. <http://www.ipcc.ch>.
- IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático). 2001b. Impacts, adaptation and vulnerability. Summary for policy makers. Working group II <http://www.ipcc.ch>.
- Magaña, V.; Conde, O. C. and Sánchez, C. G. 1997. Assessment of current and future regional climate scenarios. *Climate Research* 9:107-114.
- Magrin, G.; Gay, C.; García, D.; Cruz- Choque, J. C.; Giménez, A.; Moreno, G. R.; Nagy, J.; Nobre C. and Villamizar, A. 2007: Latin America. *Climate Change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Parry, M. L.; Canziani, O. F.; Palutikof, J. P. van der Linden, P. J. and Hanson, C. E. (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, UK. 581-615.
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). 2014. [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. and 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 p.
- Velasco, H. M. de los A.; Morales-Acoltzi, T. y Estrella- Chulim, 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*. 619(10):13.