

**UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA**

**CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y  
AGROPECUARIAS**

**POSTGRADO INTERINSTITUCIONAL DE CIENCIAS  
AGRICOLAS Y FORESTALES**



***CAMBIO CLIMÁTICO Y SU IMPACTO SOBRE ALGUNOS  
PARAMETROS AGROCLIMÁTICOS Y POTENCIALIDADES  
AGRICOLAS DEL ESTADO DE JALISCO***

***JOSE ARIEL RUIZ CORRAL***

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO**

**PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**DOCTOR EN CIENCIAS AGRICOLAS Y FORESTALES**

**ZAPOPAN, JALISCO**

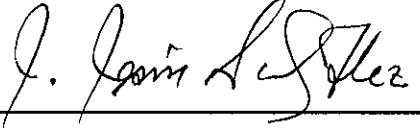
**1998**


Esta tesis fue realizada bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para la obtención del grado de:

**DOCTOR  
EN CIENCIAS AGRICOLAS Y FORESTALES**

**CONSEJO PARTICULAR**

**TUTOR:**   
\_\_\_\_\_  
**Dr. Francisco Javier Flores Mendoza**

**ASESOR:**   
\_\_\_\_\_  
**Dr. José de Jesús Sánchez González**

**ASESOR:**   
\_\_\_\_\_  
**Dr. José Luis Ramírez Díaz**

Zapopan, Jalisco, Noviembre de 1998.

## **AGRADECIMIENTOS**

Un especial agradecimiento a las siguientes personas e instituciones que con su participación y colaboración hicieron posible el buen logro del presente trabajo.

Al Dr. Francisco Javier Flores Mendoza por su dedicación y aportación en la dirección de mi programa doctoral y trabajo de investigación.

Al Dr. José Luis Ramírez Díaz por su colaboración en el trabajo de investigación, sus excelentes ideas y su paciente y empeñosa participación en la revisión del presente documento.

Al Dr. José de Jesús Sánchez González, por su colaboración en el trabajo de investigación, la revisión del presente documento y por impulsarme a luchar para despejar el camino y llegar al final de esta etapa de mi preparación.

Al Dr. J. Alberto Betancourt Vallejo por su desinteresada y entusiasta colaboración en la revisión crítica de este documento, así como por su alentadora participación para la consecución de la presente meta.

Al Dr. José de Jesús Luna Ruiz, por su valiosa participación en las etapas finales del presente programa doctoral.

Al Dr. José Ron Parra, Coordinador del Postgrado de Ciencias Agrícolas y Forestales en la Universidad de Guadalajara, por comportarse más como un amigo que como una autoridad más y por su apoyo en las etapas finales de mi programa doctoral.

Al Dr. Ramón Martínez Parra, al ayudarme a concentrar el esfuerzo de estos últimos meses en la documentación de los resultados de investigación.

A la Sra. Ana María, secretaria de la oficina de despacho del PICAF en la Universidad de Guadalajara, por su siempre amable y alentador trato aún en los tiempos difíciles.

Al C. Ricardo Regalado, por su colaboración en trabajos de digitalización que se requirieron en la presente investigación.

Agradezco a la Universidad de Guadalajara y a la Universidad Autónoma de Nayarit, así como a sus profesores, la oportunidad de formarme como doctor a través del Postgrado Interinstitucional de Ciencias Agrícolas y Forestales. ✓

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, que me brindó la oportunidad de desarrollar el trabajo de investigación, facilitando datos, el uso de equipo y asesoría. ✓

A la ANUIES, por el financiamiento parcial de mis estudios.

## DEDICATORIA

*A mis padres y a Dios, que me han hecho coincidir con este tiempo y este espacio, en el que he tenido una vida común pero llena de oportunidades y caminos por explorar.*

*A mi esposa Patricia, con quien he compartido las buenas y las malas épocas, y, a quien le debo gran parte de lo que he logrado como persona y profesionalista. Por ello, este documento pretende ser un pequeño tributo a su constante actitud de amor, apoyo y comprensión. Con ella he cosechado los mejores frutos de la vida, mis hijos José Ariel y Bertha Carolina, quienes me colman de alegría, amor e inspiración; a ellos también les dedico este trabajo.*

*A mis hermanos, Gustavo, Julieta, Bertha Alicia, Silvia, Alma, Rosy, Carlos y muy especialmente a Jesús Elodia, en quien siempre he encontrado apoyo y cariño y de quien heredé la convicción de luchar y el empeño en el trabajo, como medio para la consecución de metas personales.*

*A mis compañeros y amigos del PICAF, con quienes conformé un grupo de experimentación en el campo de la formación profesional y con quienes compartí las primeras etapas de evolución de un postgrado que tiene sus mejores días por venir.*

## CONTENIDO

	Página
RESUMEN	01
ABSTRACT	04
INTRODUCCION	07
PARTE I. VARIACION TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA TEMPERATURA PROMEDIO ANUAL Y ESTACIONAL EN JALISCO.	14
Resumen	15
Introducción	16
Materiales y Métodos	19
Resultados y Discusión	22
Conclusiones	32
Literatura citada	33
PARTE II. VARIACION TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA PRECIPITACION PROMEDIO ANUAL Y ESTACIONAL EN JALISCO.	36
Resumen	37
Introducción	39
Materiales y Métodos	42
Resultados y Discusión	46
Conclusiones	56
Literatura citada	57
PARTE III. CAMBIO CLIMATICO Y SU IMPACTO SOBRE ALGUNOS PARAMETROS AGROCLIMATICOS Y AREAS POTENCIALES DE MAIZ EN EL ESTADO DE JALISCO.	61
Resumen	62
Introducción	63
Materiales y Métodos	66
Resultados y Discusión	71
Conclusiones	82
Literatura citada	84
CONCLUSIONES GENERALES	88

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue cuantificar la variación temporal y espacial de la temperatura y precipitación durante el período 1947-1996, así como el impacto de estas variaciones sobre el agroclima y la superficie potencial para el cultivo del maíz en el estado de Jalisco.

El estudio se realizó bajo una escala anual y estacional, considerando dos estaciones; el período mayo-octubre y el período noviembre-abril, los cuales corresponden aproximadamente en nuestro país, a los ciclos agrícolas primavera-verano (P-V) y otoño-invierno (O-I), respectivamente.

Se utilizó información mensual de 42 estaciones para el caso de la temperatura y 61 estaciones para el caso de la precipitación. Previo al análisis, la información climática fue sometida a pruebas destinadas a detectar datos fuera de rango. Estas pruebas fueron fundamentalmente análisis gráficos de discontinuidad y análisis comparativos de estaciones vecinas. Se detectaron datos faltantes en las series, así como datos inconsistentes; estos últimos se eliminaron y ambos (faltantes e inconsistentes) fueron estimados con información de 1 a 3 estaciones vecinas mediante el método de la diferencia promedio.

Para cuantificar la variación climática en tiempo, se corrieron análisis de correlación entre las variables climáticas y el tiempo, expresado en años; esto con el propósito de detectar cambios térmicos y pluviales significativos. Cuando se obtuvieron coeficientes de correlación elevados y estadísticamente significativos, se procedió a la obtención de modelos de regresión lineal para cuantificar niveles de cambio climático con respecto a tiempo.

La variación climática en espacio, se cuantificó mediante análisis para determinar la distribución geográfica de los cambios climáticos. Para esto fue

necesario utilizar el sistema de información geográfica (SIG) IDRISI, el cual hizo posible la generación de imágenes estatales para diferentes escenarios de tiempo y niveles de cambio climático.

Con el propósito de evaluar el impacto de los cambios climáticos sobre el agroclima del estado y la superficie potencial para el cultivo del maíz, se calcularon puntual (estaciones meteorológicas) y espacialmente (imágenes estatales) la estación de crecimiento (EC) y su capacidad térmica (CT) en términos de grados-día de desarrollo (GDD) para dos escenarios retrospectivos: 1947-1971 y 1972-1996, cuyos resultados se compararon entre sí. Para el cálculo de la estación de crecimiento se utilizaron probabilidades mensuales de lluvia. La superficie potencial para maíz se definió como aquellas áreas en las que el requerimiento térmico (RT, expresado en GDD) para el período siembra-madurez fisiológica es cubierto por la CT de la EC. Se utilizó el requerimiento térmico promedio (considerando varios ambientes) para maíces de cuatro grupos de madurez: precoz, intermedio-precoz, intermedio e intermedio-tardío, los cuales se consideran aptos para diferentes regiones del estado de Jalisco.

Los resultados mostraron que durante los últimos 50 años, se han registrado cambios más visibles y significativos en temperatura que en precipitación. En relación a los cambios térmicos, estos están constituidos tanto por tendencias de calentamiento como de enfriamiento. La tendencia de calentamiento va de +0.5 a +1°C y se localiza en las zonas Oeste, Centro y Sureste del estado, mientras que la tendencia de enfriamiento va de -0.6 a -1°C, distribuyéndose en el Norte, Noreste, Sierra de Tapalpa y Ribera de Chapala. Solamente la región Costa del estado no manifestó cambios térmicos significativos. Los cambios térmicos mostraron un carácter estacional, asociándose en el caso de tendencia de enfriamiento más con el período primavera-verano y, en el caso de tendencia de calentamiento, más con el período otoño-invierno.



En cuanto a la precipitación, el estado de Jalisco experimentó una disminución promedio de 33.22 mm del período 1947-1971 al período 1972-1996. Sin embargo los cambios pluviales (lluvia anual) estadísticamente significativos sólo se registraron en aproximadamente el 6% de la superficie estatal, significando un cambio de entre 10 y 20% de la precipitación promedio anual. De este 6%, el 5% correspondió a una tendencia de disminución de la precipitación y sólo el 1% a una tendencia de incremento de la lluvia anual. La disminución de precipitación se registró en la mitad Oeste del estado y la tendencia de incremento en la porción Este. Los cambios en la precipitación promedio anual guardaron una estrecha relación con cambios en la precipitación del período mayo-octubre.

Se observó una reducción promedio actual de 6 días en la duración de la estación de crecimiento (DEC) producto de un retraso promedio de 2 días en el inicio de la EC (IEC) y de un adelanto promedio de 4 días en la finalización de la EC (FEC). Esta reducción de la EC estuvo asociada con una disminución de la precipitación probabilística de los meses de junio, septiembre y octubre. La reducción de la DEC se tradujo en una disminución de la CT de la EC, lo cual afectó las áreas potenciales para el cultivo de maíz de la siguiente manera: la superficie apta para maíces de ciclo intermedio-tardío y precoz se redujo 24 y 49%, respectivamente, mientras que la superficie apta para maíz de ciclo intermedio e intermedio-precoz se incrementó en 44 y 73%, respectivamente. Se concluye que durante los últimos 50 años se han verificado cambios en los patrones climáticos, los cuales han impactado negativamente sobre el agroclima y la superficie potencial para el cultivo del maíz en el estado de Jalisco.

## ABSTRACT

The objective of this investigation was to quantify the temporal and spatial variation of temperature and precipitation during 1947-1996, as well as to evaluate the impact of such variation on the agroclimate and potential areas for maize crop in Jalisco, Mexico.

The study was carried out at annual and seasonal scales, considering two seasons: may-october and november-april, which approximately represent the spring-summer and fall-winter agricultural cycles in Mexico.

Monthly climatic data were used, considering 42 and 61 meteorological stations to evaluate temperature and precipitation, respectively. Tests consisting in discontinuity graphic analysis and comparisons between neighbor stations were applied to the data prior to the analysis. Lacking of data was detected at the climatic series of the stations as well as not consistent data; both of them were estimated with information of 1-3 neighbor stations using the average difference method.

In order to quantify the climatic variation in time and to determine significative thermal and pluvial changes, correlation analysis were performed among climatic variables and time considered as years. Linear regression equations were calculated when the correlation values were high and significative, proceeding then to calculate climatic change levels as a function of years.

Spatial distribution of climatic changes was estimated using the geographical information system (GIS) IDRISI, through which, state images of climatic changes and time scenarios were generated.

With the purpose of evaluating the impact of the climatic changes upon the regional agroclimate and the potential areas of maize crop, the growing season and its thermal capacity (CT), expressed as growing degree days, were calculated in punctual (meteorological stations) and spatial (state images) ways, for two time scenarios: From 1947 to 1971 and from 1972 to 1996. The results were compared. Monthly rainfall probabilities were used to calculate the beginning, end and duration of growing season. The potential areas for maize crop were defined as regions where the thermal time (RT) from sowing to maturity for maize was completed within the growing season; on other words, the regions where CT is equal or superior to RT. The RT was characterized for maize of four maturity groups: early, early-intermediate, intermediate and late-intermediate cultivars; all of them considered adequate for cultivation in Jalisco, Mexico.

Results showed that during the last 50 years, the thermal changes have been more apparent and significative than those for precipitation. Thermal changes had warming as well as cooling tendency. A warming ranging from +0.5 to 1.0°C was detected at western, central and southeastern zones of Jalisco, while a cooling ranging from -0.6 to -1°C was found at northern, northeastern of the state, plus Sierra de Tapalpa and riparian areas of the Chapala Lake. No significative thermal changes were detected in the coastal region. In addition, the thermal changes showed a seasonal character, with cooling occurring mainly during the period spring-summer and warming located mainly in the period fall-winter.

The precipitation decreased 33.22 mm as a state average from 1947-1971 to 1972-1996. However, the precipitation changes were significative only in approximately 6% of the regional surface and their magnitude were between 10 and 20% of the annual average precipitation. From this 6%, 5% corresponding to a decreasing trend and 1% to an increment trend. The diminishing precipitation was distributed along the western side, while the enhancing increment was located along the eastern side of the state. The changes in annual precipitation were highly related to precipitation changes during the period may-october.

The growing season was reduced 6 days from 1947-71 to 1972-96 as a result of a 2 and 4 days shortening at the beginning and at the end of this period, respectively. The reduction of the growing season was associated to a diminution of probabilistic precipitation of june, september and october. A shortened growing season also caused a reduction of its thermal capacity, which modified the potential surface for maize cultivation as follows: the potential surface for intermediate-late and early cultivars decreased 24 and 49%, respectively, while the potential surface for intermediate and early-intermediate cultivars increased 44 and 73%, respectively. It was concluded that during the last 50 years the regional climatic patterns have changed and have had a negative impact upon the agroclimate and potential surface for maize cultivation in Jalisco.

## INTRODUCCION

En las últimas décadas, el cambio climático se ha convertido en uno de los temas de mayor preocupación tanto para la comunidad científica como para la población en general. Dos aspectos llaman la atención de la investigación respecto a este tópico; el primero relacionado con la cuantificación de tendencias y niveles de cambio climático y, el segundo referido a los impactos de dichos cambios sobre los ecosistemas y los sistemas de producción. La cuantificación de tendencias climáticas ha llevado a la necesidad de considerar dos conceptos relacionados con este fenómeno: el concepto cambio climático, definido como una tendencia sostenida a largo plazo y el término variación climática que implica fluctuaciones cíclicas con períodos de tiempo que pueden variar de acuerdo con la variable climática en cuestión. Atendiendo a estas dos definiciones, algunos investigadores han opinado que no se debe hablar de cambios climáticos mientras no se disponga de una serie de datos climáticos suficientemente extensa como para detectar tendencias a largo plazo. Sin embargo, los datos climatológicos más antiguos en el mundo no van más allá de 300 años. Esto ha dado origen a la búsqueda de otros métodos para conocer el pasado climático, entre ellos las investigaciones paleoclimáticas (Daniel, 1980) y el acercamiento geotérmico de la reconstrucción del clima (Deming, 1995; Harris, 1997). Los hallazgos en este tipo de estudios han mostrado la presencia de variaciones climáticas cíclicas a largo y corto plazo, las primeras relacionadas principalmente con causas naturales y las segundas con causas antropogénicas.

Dentro de las causas naturales están:

- a) **Variaciones solares:** El sol provee la fuente de energía para todos los fenómenos biofísicos sobre la tierra y el balance global entre la luz solar incidente y la fuga de radiación de onda larga determina el clima. Pequeñas variaciones de 1 a 2 % en la radiación solar tienen el potencial para causar

cambios climáticos tan significativos como los que se relacionan con el sobrecalentamiento causado por el efecto invernadero (Robock *et al.*, 1993).

**b) Vulcanismo:** Las erupciones volcánicas pueden incrementar significativamente la concentración de aerosoles estratosféricos, disminuyendo la cantidad de luz solar que llega a la superficie, reduciendo con ello la temperatura superficial por varios décimos de grado durante varios años (Schneider y Mass, 1975; Robock , 1984; Bassett y Lin, 1993).

**c) Aerosoles troposféricos:** Causas naturales, tales como incendios forestales y brisas marinas generan aerosoles atmosféricos en la tropósfera. Las concentraciones varían considerablemente en espacio y tiempo, siendo importante para ello también las fuentes locales de aerosoles. Estos aerosoles pueden causar tanto calentamiento como enfriamiento, dependiendo de su concentración , color, tamaño y distribución vertical. Hasta hoy definitivamente no es posible su verdadero papel en la atmósfera y el clima local (Robock *et al.*, 1993). Los aerosoles pueden también efectos indirectos sobre el clima, al cambiar las propiedades ópticas de las nubes (Charlson *et al.*, 1987).

**d) Variaciones internas:** Aun cuando las causas anteriores se mantengan sin variación significativa para causar cambios climáticos, el clima manifiesta alteraciones debido a redistribuciones internas de energía tanto dentro de la atmósfera como entre la atmósfera y el océano y la litósfera. La magnitud completa y escala de tiempo de estas variaciones no se conocen del todo, lo que constituye una dificultad adicional para la interpretación de cambios climáticos (Robock *et al.*, 1993). Se cree que este tipo de variaciones pueden igualar o superar en magnitud a los efectos climáticos causados por el efecto invernadero (Lorenz, 1991). El fenómeno de El Niño/ Oscilación del Sur (ENSO, por sus siglas en inglés) cae dentro de estas variaciones y se ha comprobado que durante eventos El Niño extremos, se pueden emitir grandes cantidades de energía desde el océano y calentar el clima a nivel de superficie

en un período corto de años. Este calentamiento llega a ser superior al sobrecalentamiento causado por el efecto invernadero (Robock *et al.*, 1993).

Dentro de las causas antropogénicas se encuentran:

- e) **Gases efecto invernadero de origen antropogénico:** La concentración de gases efecto invernadero, llamados así por ser muy efectivos para absorber la radiación de onda larga (que incluye la radiación térmica), ha venido en aumento durante las últimas décadas debido a actividades humanas. Dentro de los gases efecto invernadero más importantes están el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>), los clorofluorocarbonos (CFCs), el óxido de nitrógeno (N<sub>2</sub>O) y el vapor de agua estratosférico (H<sub>2</sub>O) (IPCC, 1992), con una contribución relativa de 56, 24, 11, 6 y 4%, respectivamente (Houghton *et al.*, 1990). En el próximo siglo se espera que los efectos radiativo-térmicos de estos gases dominen el cambio climático global, produciendo principalmente un calentamiento atmosférico y superficial (Robock *et al.*, 1993).
  
- f) **Deforestación:** El balance radiativo de la Tierra puede ser alterado por variaciones en las propiedades biofísicas de la superficie. De esta forma las superficies terrestres pueden también causar fuertes influencias sobre el clima. La deforestación no sólo provee una fuente de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> a la atmósfera, sino que también cambia el albedo de la superficie y la tasa de evaporación (IPCC, 1992). Esta puede ser una importante causa de cambios climáticos locales o regionales (WMO-UNEP, 1992).
  
- g) **Invierno nuclear:** Esta es la causa potencial de cambio climático más significativa y contundente y que prácticamente se traduciría en un desastre ambiental. A través de un holocausto nuclear se producirían condiciones atmosféricas de oscuridad y frío inapropiadas para el desarrollo de la vida (Turco *et al.*, 1983).

**h) Aerosoles troposféricos:** Las actividades humanas normales proveen aerosoles a la atmósfera. Estos incluyen emisiones industriales y agrícolas, así como partículas producto de la quema de biomasa. La magnitud y sentido de su influencia sobre el clima no han sido estudiados por completo, pero de acuerdo con Michaels, citado por Robock *et al.*, (1993) este aspecto podría ser una importante fuente de cambios climáticos regionales, pudiendo contrarrestar el efecto de calentamiento que se pronostica para el próximo siglo.

Actualmente se considera que las tendencias climáticas globales son de un calentamiento, el cual se estima que tendrá sus mayores efectos durante el próximo siglo (IPCC, 1992), impactando principalmente la distribución y productividad de los ecosistemas (Cohen y Pastor, 1991). De acuerdo con datos del Instituto Internacional para el Ambiente y Desarrollo (IIED, 1997), la temperatura promedio anual planetaria se ha incrementado  $0.56^{\circ}\text{C}$  durante los últimos 140 años, a una tasa de calentamiento promedio de  $0.04^{\circ}\text{C}$  por década, este calentamiento ha sido atribuido esencialmente al fenómeno efecto invernadero (IPCC, 1992).

Sin embargo, considerando todas las posibles causas de cambio climático y sus interacciones, pueden originar que el fenómeno de calentamiento no sea perceptible en algunas regiones (Idso, 1998) e incluso dar lugar a la presencia de tendencias climáticas distintas al calentamiento (Williams y Balling, 1996). Por esta razón, es necesario que el cambio climático se evalúe no sólo a nivel global, sino a escalas locales y regionales (Williams y Balling, 1996).

En este entorno de estudios regionales, se ubica la presente investigación, la cual encuentra justificación en la carencia de información respecto a variaciones y cambios climáticos y sus efectos a nivel estatal. Los objetivos del estudio fueron cuantificar las variaciones climáticas en tiempo y espacio, ocurridas durante el período 1947-1996 en el estado de Jalisco y el impacto de dichas variaciones sobre la superficie potencial para el cultivo del maíz. En el presente documento se



plasman los resultados de la investigación en tres partes, la primera de ellas dedicada a cuantificar y explicar los cambios térmicos que han tenido lugar en el estado; la segunda parte destinada a las variaciones en la precipitación promedio anual y, la tercera parte enfocada a medir el efecto de las variaciones térmicas y pluviales sobre algunos de los principales parámetros agroclimáticos, tales como las probabilidades de lluvia, la estación de crecimiento y su capacidad térmica. Finalmente en esta tercera parte se evalúa el impacto de estas variaciones agroclimáticas sobre la distribución de áreas potenciales para el cultivo de maíz bajo los diferentes ciclos de madurez que se adaptan al estado de Jalisco. En cada una de estas tres partes, se desglosan las metodologías utilizadas y los resultados y conclusiones obtenidas.

## LITERATURA CITADA

Bassett, G.W. Jr. And Z. Lin. 1993. Breaking global temperature records after Mt. Pinatubo. *Climatic Change*, 25:179-184.

Charlson, R. J. Lovelock, M. Andreae and S. Warren. 1987. Oceanic phytoplankton, atmospheric sulphur, cloud albedo and climate. *Nature*, 326:655-661.

Cohen, Y. And J. Pastor. 1991. The responses of a forest model to serial correlations of global warming. *Ecology* (72):1161-1165.

Daniel, H. 1980. El hombre y la variabilidad climática. OMM No. 543. Ginebra. 32 p.

Deming, D. 1995. Climatic warming in North America: Analysis of borehole temperatures. *Science*, 268:1576-1577.

Harris, R.N. and S.D. Chapman. 1997. Borehole temperatures and a baseline for 20<sup>th</sup>-century global warming estimates. *Science*, 275:1618-1621.

Houghton, J.T., G.J. Jenkins and J.J. Ephraums (eds.). 1990. *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge university Press. 365 p.

Idso, S.B. 1998. CO<sub>2</sub>-induced global warming: a skeptic view of potential climate change. *Climate Research*, 10:69-82.

International Institute for Environment and Development (IIED). 1997. *Tiempo: Global warming and the third world*. Issue 23. March 1997. University of East Anglia, Norwich, UK. pp. 26.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1992. Scientific assessment of climate change. WMO-UNEP. Switzerland. 24 p.
- Lorenz, E.N. 1991. Chaos, spontaneous climatic variations and detection of the greenhouse effect. *In: Greenhouse-gas-induced climatic change: A critical appraisal of simulations and observations.* M.E. Schlesinger (ed.). Elsevier Publ. Co. pp 445-455.
- Robock, A. 1984. Climate models simulations of the effects of the El Chichón eruption. *Geofísica Internacional*, 23:403:414.
- Robock, A., R.P. Turco, M.A. Harwell, T.P. Ackerman, R. Andressen, H. Chang and M.V.K. Sivakumar. 1993. Use of general circulation model output in the creation of climate change scenarios for impact analysis. *Climatic Change* 23:293-335.
- Schneider, S.H. and C. Mass. 1975. Volcanic dust, sunspots and temperature trends. *Science*, 190(4216):741-746.
- Turco, R.P., O.B. Toon, T. Ackerman, J.B. Pollack and C. Sagan. 1983. Nuclear winter global consequences of multiple nuclear explosions. *Science*, 222:1283-1292.
- Williams, M.A. and R.C. Balling Jr. 1996. *Interactions of desertification and climate.* WMO-UNEP. Ed. Arnold. Great Britain. 270 p.
- WMO-UNEP. 1992. Increasing tropical forest depletion and desertification. *In: The global climate system, climate system monitoring.* WMO-UNEP-World Climate Data and Monitoring Programme. Italy. pp 91-94.

**PARTE I.**

**VARIACION TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA TEMPERATURA  
PROMEDIO ANUAL Y ESTACIONAL EN JALISCO**

## RESUMEN

El presente estudio se desarrolló con el objetivo de cuantificar la variación temporal y espacial de la temperatura durante el período 1947-1996 en el estado de Jalisco. El trabajo se realizó bajo una escala anual y estacional utilizando información mensual de 42 estaciones meteorológicas localizadas en el interior del estado. Se corrieron análisis de correlación de la temperatura promedio anual y de los períodos mayo-octubre y noviembre-abril contra tiempo (años) para detectar cambios térmicos significativos, en base a los cuales y mediante regresiones lineales se calcularon niveles de cambio en grados celsius. A través del sistema de información geográfica IDRISI, se realizó un análisis espacial para evaluar la distribución geográfica de de los cambios térmicos. Los resultados mostraron tendencias de calentamiento (+0.5 a +1°C) en las zonas Oeste, Centro y Sureste del estado y tendencias de enfriamiento (-0.6 a -1°C) en el Norte, Noreste, Sierra de Tapalpa y Ribera de Chapala; a este respecto, sólo la región costera no manifestó cambios térmicos significativos. Los cambios térmicos mostraron un carácter estacional, asociándose en el caso de tendencia de enfriamiento más con el período primavera-verano y, en el caso de tendencia de calentamiento, más con el período otoño-invierno. Se concluye que la mayor parte del estado de Jalisco ha experimentado un cambio térmico en los últimos 50 años, con tendencias tanto de calentamiento como de enfriamiento, con patrones regionales y estacionales diferenciados entre sí, los cuales no corresponden completamente con las tendencias de calentamiento global.

**Palabras clave:** Cambio Climático, Temperatura, Estudios Regionales, GIS.

## INTRODUCCION

En la actualidad, es aceptada por la comunidad científica la existencia del fenómeno de calentamiento atmosférico global, el cual se considera que tendrá sus mayores efectos durante el próximo siglo (IPCC, 1992), impactando principalmente la distribución y productividad de los ecosistemas (Cohen y Pastor, 1991). Desde finales del siglo XIX hasta nuestros días, la temperatura promedio anual planetaria se ha incrementado a razón de tres a seis décimas de grado, con un patrón de calentamiento no uniforme globalmente; siendo mayor sobre los continentes que sobre los océanos (Karl, 1996). De acuerdo con datos del Instituto Internacional para el Ambiente y Desarrollo (IIED, 1997), el promedio anual planetario de temperatura durante los últimos 140 años, manifiesta una tasa de calentamiento de aproximadamente  $0.04^{\circ}\text{C}$  por década, equivalente a un calentamiento global promedio de  $0.56^{\circ}\text{C}$  durante todo el período. Tal calentamiento ha sido atribuido esencialmente al fenómeno efecto invernadero (IPCC, 1992).

La mayor parte de los estudios sobre este tema concuerdan en afirmar que los cambios climáticos difieren y diferirán entre regiones (Clark *et al*, 1988). Al analizar el cambio climático espacialmente, se encontrará que mientras algunas regiones están experimentando un incremento en la temperatura, otras pasan por un período de enfriamiento. Por ejemplo, desde 1950, en algunas áreas del noreste de Norteamérica y de Europa oriental las temperaturas se han incrementado. En contraparte, se pueden encontrar regiones de China y Sudamérica (Karl, 1996), así como del Medio Oriente con pequeños descensos de temperatura (Nasrallah y Balling, 1993).

No obstante que las fluctuaciones climáticas y sus impactos existen a todas las escalas, desde la local hasta la global, con frecuencia, medirlas y entenderlas resulta más fácil a una escala estatal (Changnon, 1985). En consecuencia, para

estudiar los verdaderos impactos del cambio climático, se requieren escenarios regionales, tanto en la evaluación del pasado como del futuro climático (Robock *et al.*, 1993).

En estudios regionales que han sido desarrollados en diversas partes del mundo, como: Europa, Norteamérica y el Medio Oriente, se han detectado algunas tendencias de calentamiento moderado, consistente en un incremento en las temperaturas mínimas superior al de las temperaturas máximas, reduciendo así el rango térmico diario y un calentamiento atmosférico de carácter estacional durante el año (Karl *et al.*, 1991; Balling e Idso, 1992; Nasrallah y Balling, 1993). También ha sido reportado un mayor calentamiento nocturno que diurno como tendencia global (Karl, 1996) y en áreas más específicas como Guadalajara, donde el fenómeno de calentamiento se encontró tener una alta correlación con variables del crecimiento urbano (Ruiz y Gómez, 1994).

En América tropical en general y en México en particular, los estudios regionales de cambio climático son escasos, en parte debido a la carencia de registros climáticos extensos y confiables (Jáuregui, 1992) y a que generalmente se considera (Clark *et al.*, 1988) que en las áreas con latitudes  $<30^\circ$  se esperarían a futuro cambios climáticos menores y más lentos que los cambios globales del planeta. Sin embargo, estas afirmaciones no consideran la presencia de causas locales y regionales de cambios climáticos como puede ser la deforestación, la cual llega a alcanzar altos índices en algunas zonas de América Latina, siendo México un buen ejemplo de ello. En este sentido, el último inventario forestal reportó que en Jalisco existe una superficie forestal perturbada de 1'285,093 ha, siendo factible de reforestarse un millón de hectáreas (SARH, 1994).

En México existen antecedentes que documentan el problema del efecto invernadero y calentamiento atmosférico, a través de inventarios de emisiones de gases (INE, 1988), la implementación de modelos de circulación general para construir escenarios climáticos futuros (CONAE, 1992) y la cuantificación de

cambios térmicos a escala regional y estatal (Lemus y Gay, 1988). En este último aspecto, se han detectado incrementos de temperatura acordes con las tendencias globales (0.3 a 0.6°C) en zonas rurales del estado de Aguascalientes (Lemus y Gay, 1988) y niveles de calentamiento superiores (entre 1.5 y 2°C) en centros urbanos con altas tasas de crecimiento como la ciudad de México (Jáuregui, 1992) y Guadalajara (Ruiz y Gómez, 1994). Sin embargo, dado que este tipo de estudios aún son escasos y extensas zonas del país permanecen poco estudiadas, se requiere de muchos estudios tanto de carácter regional como local que evalúen el fenómeno de calentamiento bajo las diversas condiciones ambientales que caracterizan al país.

Dentro de los efectos que puede tener el calentamiento atmosférico en áreas rurales, se debe mencionar que se le relaciona como precursor de la desertificación al promover el incremento de las tasas de evapotranspiración (Williams y Balling, 1996). Sin embargo, también se mencionan efectos benéficos como promover el incremento de la estación de crecimiento en regiones de clima frío (EPA, 1998).

Con base en lo anterior, se realizó el presente trabajo, el cual tuvo como objetivo cuantificar los cambios térmicos y su distribución espacial, durante los últimos 50 años en el estado de Jalisco.

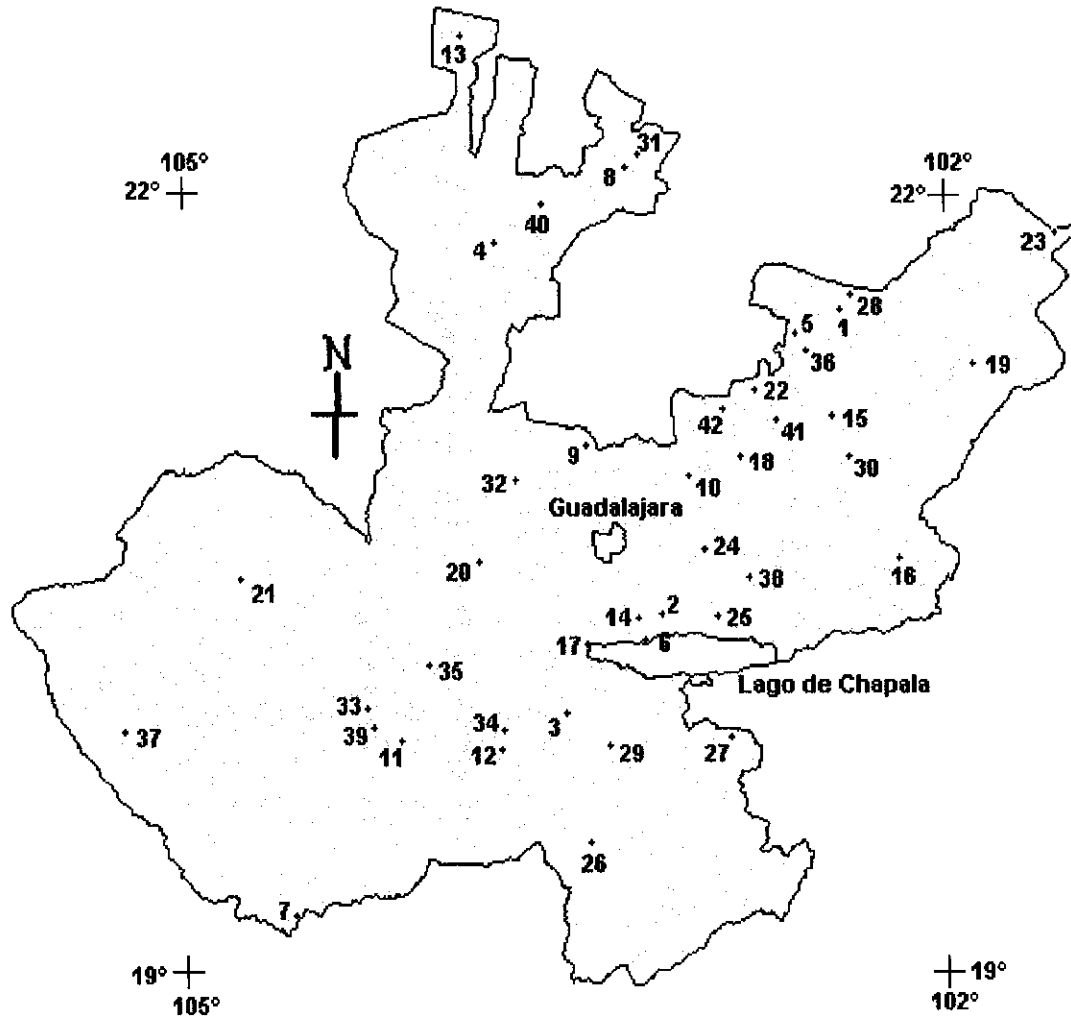


## MATERIALES Y METODOS

### *Preparación de los datos*

El presente trabajo se realizó para el Estado de Jalisco, que se localiza en la región Pacífico Centro de la República Mexicana, cubriendo una superficie de 7'819,089 ha (SARH, 1994). Se utilizó información de temperatura compendiada a partir de datos diarios y mensuales de 42 estaciones meteorológicas con más de 50 años de datos. La mayor parte de las estaciones están ubicadas en las afueras de poblaciones con no más de 50,000 habitantes, a excepción de Lagos de Moreno, Teocaltiche, Jalostotitlán y Yahualica. Todas las estaciones consideradas pertenecen a la red de estaciones meteorológicas del Servicio Meteorológico Nacional y su distribución espacial se muestra en la Figura 1. Para cada estación se analizó su historial con el objeto de detectar fuentes de variación ajenas a cambios climáticos, tales como: cambios de ubicación, de instrumental, de observador y otras. Cuando se detectó este tipo de cambios, los datos de temperatura se ajustaron a nivel mensual utilizando la información de estaciones vecinas. Los datos faltantes en las series de las estaciones también fueron estimados a nivel mensual mediante el cálculo de la diferencia normal promedio de temperatura entre la estación en cuestión y el registrado en una a tres estaciones vecinas (Bootsma, 1994).

Con la finalidad de analizar la variación de la temperatura, se consideraron como variables de estudio la temperatura promedio anual ( $T_a$ ), así como la temperatura promedio para el período noviembre-abril ( $T_{na}$ ) y la temperatura promedio para el período mayo-octubre ( $T_{mo}$ ). Estos períodos estacionales fueron seleccionados porque corresponden en México, a los ciclos de producción agrícola otoño-invierno (OI) y primavera-verano (PV), respectivamente.



Estación	Municipio	Estación	Municipio	Estación	Municipio
1 Ajojúcar	Teocaltiche	15 Jalostotitlán	Jalostotitlán	29 San Gregorio	Gómez Farías
2 Atequiza	Poncitlán	16 Jesús María	Jesús María	30 San Miguel A.	San Miguel A.
3 Atoyac	Atoyac	17 Jocotepec	Jocotepec	31 Sa. Ma. Angeles	Sa. Ma. Angeles
4 Bolaños	Bolaños	18 La Cuña	Yahualica	32 Santa Rosa	Amatitán
5 Calera	Teocaltiche	19 Lagos de M.	Lagos de M.	33 Tacotán	Unión de Tula
6 Chapala	Chapala	20 La Vega	Teuchitlán	34 Tapalpa	Tapalpa
7 Cihuatlán	Cihuatlán	21 Mascota	Mascota	35 Tecolotlán	Tecolotlán
8 Colotlán	Colotlán	22 Mexxicacán	Mexxicacán	36 Teocaltiche	Teocaltiche
9 Cuixtla	Sn. Cristóbal B.	23 Ojuelos	Ojuelos	37 Tomatlán	Tomatlán
10 Cuquío	Cuquío	24 Palo Verde	Zapotlanejo	38 Tototlán	Tototlán
11 Ejutla	Ejutla	25 Poncitlán	Poncitlán	39 Unión de Tula	Unión de Tula
12 El Nogal	Tapalpa	26 Quito	Tuxpan	40 Villa Guerrero	Villa Guerrero
13 Huejuquilla	Huejuquilla A.	27 Quitupan	Quitupan	41 Villa Obregón	Villa Obregón
14 Huerta Vieja	Ixtlahuacán M.	28 San Bernardo	Teocaltiche	42 Yahualica	Yahualica

Figura 1. Distribución geográfica de las estaciones meteorológicas estudiadas (Edo. de Jalisco).

## **Análisis de información**

Se calcularon coeficientes de correlación ( $r$ ) de Pearson entre las variables  $T_a$ ,  $T_{na}$  y  $T_{mo}$  contra tiempo (de 1947 a 1996) para determinar si existía una tendencia lineal de la temperatura durante el período señalado (Bootsma, 1994).

Se generaron modelos de regresión lineal para estimar la magnitud del cambio en la temperatura media anual durante los últimos 50 años. Se consideró al tiempo (años) como variable independiente y a  $T_a$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) como variable dependiente (Skaggs y Baker, 1989).

Con el propósito de evaluar la distribución espacial de los cambios térmicos en el estado, se integró una matriz de datos con los valores de cambio térmico de las estaciones en los últimos 50 años y sus coordenadas geográficas respectivas (Cuadro 1). Las coordenadas de las estaciones fueron verificadas *in situ* y en algunos casos corregidas con el uso de un geoposicionador GARMIN modelo GPS-12-XL. La matriz de datos fue recuperada en formato vector en el sistema de información geográfica (SIG) IDRISI (Eastman, 1993), a través del cual se realizó una interpolación de los valores de cambio térmico para todo el estado. El resultado de la interpolación se recuperó como imagen en formato celdárico y se recortó con una imagen digitalizada del estado de Jalisco, cuya fuente es la carta del Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM, 1988). Mediante rutinas de reclasificación y sobreposición de mapas del SIG IDRISI, se realizaron análisis espaciales para obtener la distribución espacial de diversos estratos de cambios térmicos.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### *Carácter temporal y estacional de los cambios térmicos*

Con base en el análisis de correlación entre la temperatura media anual y el tiempo, 28 de las 42 estaciones analizadas mostraron un cambio de temperatura significativo durante los últimos 50 años (Cuadro 1). Dentro de estas 28 estaciones, se detectaron 18 sitios con una tendencia de enfriamiento (correlación negativa) de entre  $-0.5$  y  $-1.0^{\circ}\text{C}$ , con regresiones lineales mostrando una pendiente de entre  $-0.0099$  y  $-0.0198^{\circ}\text{C}$  por año. En contraparte, se identificaron 10 sitios con una tendencia de calentamiento (correlación positiva) de entre  $+0.5$  y  $+1.0^{\circ}\text{C}$  y pendientes de entre  $+0.0128$  y  $+0.0204^{\circ}\text{C}$  por año. Las localidades con tendencia de enfriamiento se ubicaron principalmente en las zonas Norte, Noreste (Altos), Sierra de Tapalpa y Ribera de Chapala; mientras que las áreas de calentamiento se distribuyeron en la porción Oeste, Centro y Sureste del estado. Los sitios que no registraron un cambio térmico significativo se localizan en la Costa y región Sur de Jalisco.

La magnitud del calentamiento observado en algunos sitios como Huerta Vieja, San Gregorio y Santa Rosa, coincide con el nivel de calentamiento global promedio reportado para los últimos 100 a 140 años (IPCC, 1992; IIED, 1997) y con el incremento de temperatura documentado en estudios estatales como el de Aguascalientes, que registró un incremento térmico promedio de  $0.4^{\circ}\text{C}$  de 1921 a 1985 (Lemus y Gay, 1988). En otros sitios como Atequiza, Jesús María, La Vega, Mascota, Palo Verde, Quitupan y Tototlán, el calentamiento observado ( $0.6$  a  $1^{\circ}\text{C}$ ), es similar a las tendencias encontradas en estudios de carácter regional; como el caso de varios sitios del Medio Oriente ubicados en latitudes cercanas a los  $25^{\circ}\text{N}$  y que registraron valores de hasta  $0.92^{\circ}\text{C}$  para el período de 1950 a 1990 (Nasrallah y Balling, 1993). En el entorno nacional, estos niveles de calentamiento

se aproximan más a los que se han reportado en zonas urbanas (Jáuregui, 1986; Jáuregui, 1992).

Como puede observarse en el Cuadro 1, la localidad con un mayor nivel de calentamiento (1°C) fue Palo Verde, ubicada en el municipio de Zapotlanejo; esto en parte puede deberse a la cercanía e influencia atmosférica de Guadalajara (estación no incluida en este estudio), ciudad que se encuentra a 25 km y que en un estudio previo se consignó como un sitio con calentamiento de 1.7°C en el período de 1931 a 1992 (Ruiz y Gómez, 1994).

Por otra parte, la tendencia de enfriamiento significativa observada en localidades como Ajojúcar, Bolaños, Chapala, Colotlán, El Nogal, Huejuquilla, Jalostotitlán, Jocotepec, Ojuelos, Poncitlán, San Bernardo, San Miguel El Alto, Santa María de los Angeles, Tapalpa, Tecolotlán, Teocaltiche y Yahualica, podría en parte estar asociada con incrementos de la precipitación anual en varias de estas localidades para el período de 1947 a 1996, los cuales fueron informados por Ruiz *et al* (1998). La presencia de tendencias de enfriamiento ha sido previamente documentada (Williams y Balling, 1996; Nasrallah y Balling, 1993) y explicada a través de la concentración de sulfatos en la atmósfera, producto de emisiones de dióxido de azufre (Alkezweeny, 1995). Sin embargo, en el presente trabajo, no se consideró a la concentración de sulfatos en la atmósfera como variable de estudio, por lo que no se está en condiciones de establecer relaciones causa-efecto al respecto.

Algunos casos con tendencia de enfriamiento son en apariencia más explicables al relacionarse con una causa local, tal es el caso de las poblaciones como Jocotepec, Chapala y Poncitlán que rodean o se encuentran muy cerca del Lago de Chapala y por lo tanto, reciben la influencia de un enfriamiento evaporativo. Sin embargo, este efecto térmico seguramente se ha debilitado durante los últimos años debido al descenso en el volumen de agua del lago. Esto

Cuadro 1. Coeficiente de correlación (r) de la temperatura media anual y estacional con respecto a tiempo y niveles de cambio térmico en los últimos 50 años en Jalisco, México.

Estación	Latitud (N)	Altitud (m)	Coef. Corr. (r)			Cambio térmico (°C) 1947-96 °C/década	
			Ta	Tmo	Tna		
Ajojúcar	21.42°	1751	-0.61**	-0.56**	-0.38**	-0.87	-0.17
Atequiza	20.40°	1528	0.64**	0.70**	0.37**	+0.95	+0.19
Atoyac	20.01°	1373	0.23	0.30*	0.11	+0.43	+0.09
Bolaños	21.83°	0916	-0.37**	-0.52**	-0.11	-0.68	-0.14
Calera	20.47°	1905	-0.57**	-0.72**	-0.34*	-0.99	-0.20
Chapala	20.29°	1520	-0.49**	-0.54**	-0.32*	-0.83	-0.17
Cihuatlán	19.23°	20	0.11	0.11	0.10	+0.23	+0.05
Colotlán	22.12°	1700	-0.50**	-0.17**	-0.48**	-0.63	-0.13
Cuixtla	21.05°	806	-0.24	-0.22	-0.16	-0.32	-0.06
Cuquío	20.93°	1782	0.05	0.11	-0.01	+0.09	+0.02
Ejutla	19.91°	1140	0.25	0.30*	0.15	+0.42	+0.08
El Nogal	19.87°	1900	-0.52**	-0.30*	-0.58**	-0.89	-0.18
Huejuquilla	22.63°	1483	-0.54**	-0.59**	-0.28	-0.99	-0.18
Huerta Vieja	20.42°	1567	0.34*	0.48**	0.11	+0.55	+0.11
Jalostotitlán	21.18°	1767	-0.32*	-0.21**	-0.29*	-0.48	-0.10
Jesús María	20.62°	2129	0.29*	0.25	0.28*	+0.63	+0.13
Jocotepec	20.28°	1537	-0.42**	-0.15	-0.48**	-0.79	-0.16
La Cuña	21.00°	1534	0.09	0.12	0.03	+0.10	+0.02
Lagos de Moreno	21.36°	1871	-0.10	-0.01	-0.19	-0.26	-0.05
La Vega	20.60°	1250	0.47**	0.16	0.59**	+0.63	+0.14
Mascota	20.53°	1240	0.44**	0.19	0.53**	+0.73	+0.15
Mexicacán	21.26°	1775	-0.21	-0.02	-0.29*	-0.58	-0.12
Ojuelos	21.87°	2220	-0.48**	-0.44**	-0.34*	-0.89	-0.18
Palo Verde	20.64°	1739	0.69**	0.50**	0.63**	+1.00	+0.20
Poncitlán	20.38°	1530	-0.60**	-0.58**	-0.44**	-0.84	-0.17
Quito	19.51°	1060	0.28	0.37**	0.06	+0.39	+0.08
Quitupan	19.93°	1660	0.60**	0.49**	0.49**	+0.79	+0.16
San Bernardo	21.63°	1853	-0.32*	-0.26	-0.26	-0.64	-0.13
San Gregorio	20.62°	1845	0.35*	0.24	0.32*	+0.44	+0.09
San Miguel El Alto	21.01°	1881	-0.34*	-0.38**	-0.23	-0.60	-0.12
Sta. Ma. De Angeles	22.17°	1729	-0.48**	-0.41**	-0.36*	-0.95	-0.19
Sta. Rosa	20.92°	730	0.39**	0.27	0.31*	+0.50	+0.10
Tacotán	20.03°	1340	0.02	-0.03	0.05	+0.02	+0.00
Tapalpa	19.95°	2060	-0.58**	-0.50**	-0.48**	-0.93	-0.19
Tecolotlán	20.20°	1200	-0.47**	-0.46**	-0.33*	-0.67	-0.13
Teocaltiche	21.41°	1745	-0.65**	-0.53**	-0.48**	-0.97	-0.19
Tomatlán	19.94°	50	-0.22	0.24	-0.44**	-0.35	-0.07
Tototlán	20.54°	1545	0.54**	0.51**	0.31*	+0.89	+0.18
Unión de Tula	19.96°	1340	0.04	0.16	-0.06	+0.05	+0.01
Villa Guerrero	21.98°	1815	-0.23	-0.24	-0.15	-0.53	-0.11
Villa Obregón	21.15°	1886	0.07	0.17	-0.05	+0.18	+0.04
Yahualica	21.19°	1850	-0.48**	-0.37**	-0.44**	-0.99	-0.20

Coeficiente de correlación (r) entre cambio térmico y altitud = -0.236 (significativo al 10%)

Ta: Temperatura media anual Tmo: Temperatura mayo-octubre Tna: Temperatura noviembre-abril  
 \*nivel de significancia=0.95 \*\*nivel de significancia=0.99

probablemente ha contribuido a la tendencia de calentamiento que se ha observado durante los últimos 10 años en esa zona (ver Figura 2).

De acuerdo con el mapa del UNEP (Programa Ambiental de las Naciones Unidas) a escala global y reproducido en el texto "*Interactions of desertification and climate*" (Williams y Balling, 1996), México es un país en el que se experimentaron dos condiciones de cambios térmicos, al comparar la temperatura media normal para el período 1960-1989 con respecto a la del período 1930 a 1959: la primera, una tendencia de calentamiento de 0 a  $+0.5^{\circ}\text{C}$  en la zona tropical (abajo de la línea del trópico de cáncer) y la Península de Baja California, y la segunda, una tendencia de enfriamiento de 0 a  $-0.5$  correspondiente al norte del país. Al comparar esta información con los resultados obtenidos en el presente trabajo, se hacen evidentes las imprecisiones de los estudios de cambio climático a escala global, lo cual ratifica la necesidad de desarrollar investigación a escala regional y local para conocer de manera más real la magnitud y los efectos de las variaciones climáticas (Changnon, 1985; Jáuregui, 1992; Karl, 1996; Williams y Balling, 1996).

En la Figura 2 se describe en forma gráfica un ejemplo representativo de las tendencias de calentamiento y enfriamiento encontradas. En la Figura 2a se puede observar la tendencia de la temperatura media anual en la estación de Chapala; es visible un enfriamiento que se ubica entre el inicio de los años 1950s y finales de la década de los 1960s. Otro descenso se advierte desde mediados de los 1970s hasta mediados de los 1980s y a partir de ahí existe un aumento sostenido en la temperatura el cual probablemente a futuro podría incluso revertir la tendencia de enfriamiento a calentamiento en términos de largo plazo, porque si se considera únicamente la serie de los últimos 10 años, Chapala de hecho experimenta actualmente un calentamiento de aproximadamente  $0.5^{\circ}\text{C}$ . En el caso de la Figura 2b, en la localidad de Mascota, se presentó un calentamiento sostenido desde finales de los 1940s hasta mediados de los 1970s, a partir de donde se inició un enfriamiento que terminó a finales de los 1980s, para iniciar

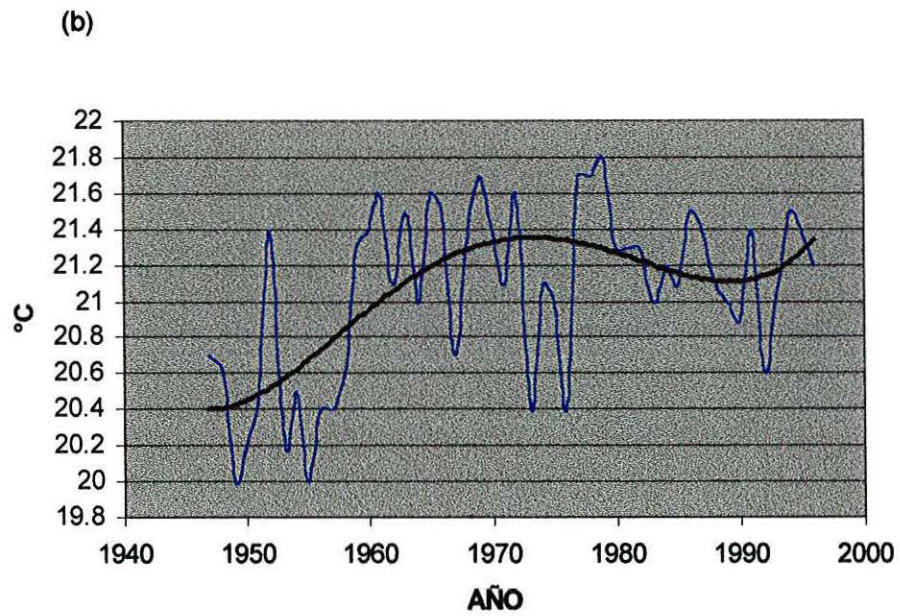
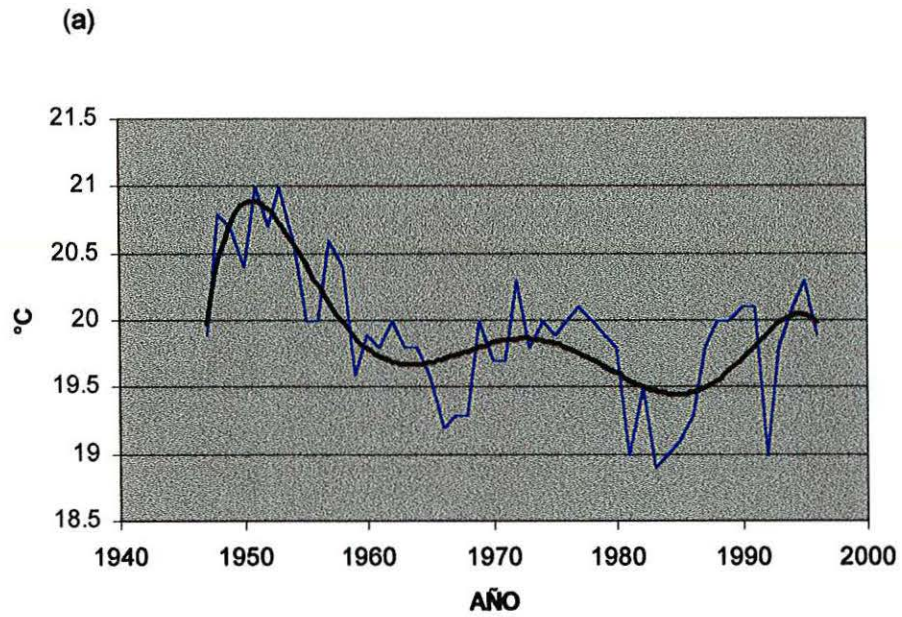


Figura 2. Valor de la temperatura media anual y su tendencia para el período 1947-1996 en dos localidades: a) Chapala, b) Mascota.



desde ahí un nuevo período de calentamiento, en el cual se encuentra actualmente la estación de Mascota.

La mayor parte de las localidades que mostraron una correlación significativa en la temperatura anual con respecto a tiempo, registraron también una correlación significativa en las temperaturas estacionales ( $T_{mo}$  y  $T_{na}$ ), sin embargo, en términos generales, el cambio térmico presentó un carácter estacional, el cual podría explicarse de la siguiente manera: en 13 de 19 casos en que se presentó una tendencia de enfriamiento, el valor de la correlación entre  $T_{mo}$  y tiempo fue mayor que el de la correlación entre  $T_{na}$  y tiempo (Cuadro 1), mostrando que el período primavera-verano ha sido el que más se ha modificado a través de los años. En contraparte, para seis de las 11 localidades en que se observó una tendencia de calentamiento, la correlación entre  $T_{na}$  y tiempo fue mayor que la correlación entre  $T_{mo}$  y tiempo, denotando que el calentamiento presenta una ligera tendencia hacia el período otoño-invierno (Cuadro 1).

En términos generales, los cambios térmicos significativos se dieron en latitudes superiores a los  $19^{\circ}45'$  (Cuadro 1), por lo que al parecer existe una tendencia a que a menor latitud, menor el impacto de variaciones climáticas, lo cual ya había sido señalado por varios investigadores (Clark *et al*, 1988; Williams y Balling, 1996). Sin embargo, la aseveración de que en las áreas de latitudes  $<30^{\circ}$  se esperarían a futuro cambios climáticos menores y más lentos que los cambios globales del planeta (Clark *et al*, 1988), podría no necesariamente ser generalizada, ya que de acuerdo con los resultados encontrados en los sitios estudiados, en su totalidad se ubican en latitudes menores a los  $30^{\circ}N$ .

Con respecto a una posible asociación entre el cambio térmico y la altitud de las estaciones, al pie del Cuadro 1 se muestra el coeficiente de correlación ( $r$ ) entre ambas variables. Como puede observarse, el valor de  $r$ ,  $-0.236$ , señala una posible relación negativa entre la altitud y el cambio térmico, esto es, a altitudes mayores corresponden cambios térmicos negativos (enfriamiento) y a altitudes

menores, cambios térmicos positivos (calentamiento). Sin embargo, como se señala en dicho cuadro, esta correlación es significativa sólo a un nivel del 90% de probabilidad. Dado que en el presente estudio se consideró un nivel mínimo de significancia de 95% para aceptar que las correlaciones, la correlación entre cambio térmico y altitud se considera no significativa. No obstante, la inclusión de valores adicionales en este análisis de correlación podría influir para que el valor de  $r$  resultara significativo.

### ***Carácter espacial de los cambios térmicos***

En cuanto al carácter espacial del cambio térmico, aunque los resultados puntuales muestran que existe un mayor número de localidades con tendencia de enfriamiento que de calentamiento, esto no necesariamente indica que sea la tendencia que predomine en el estado, ya que al considerar la distribución de las estaciones estudiadas (Figura 1), se observa que el 36% se concentra en la región de Los Altos, en donde incluso se ubican 8 de las 18 estaciones que presentaron una tendencia de enfriamiento. Complementariamente, en la Figura 1 se puede constatar la carencia de estaciones en algunas zonas en las que se detectó tendencia de calentamiento, específicamente la porción Oeste y Sureste del Estado (Figura 1). Estas zonas y la región Norte, son consideradas las áreas con más baja densidad de estaciones (Villalpando, 1992).

La Figura 3 describe la distribución espacial de los cambios en la temperatura media anual verificados de 1947 a 1996. Como puede apreciarse, la condición más representativa es un calentamiento de entre 0 y 0.5°C, el cual representa casi la mitad de la superficie del estado (Cuadro 2). Le sigue una tendencia de enfriamiento de entre 0 y -0.5°C. Cabe aclarar que dentro de las áreas comprendidas en estos dos rangos se ubican sitios con un cambio térmico significativo y no significativo (Cuadro 1). Las áreas con un enfriamiento más acentuado (-0.5 a -1.0°C) corresponden a parte de la Sierra de Tapalpa, los alrededores de la Ciénega de Chapala, zona Norte y Altos Norte del estado.

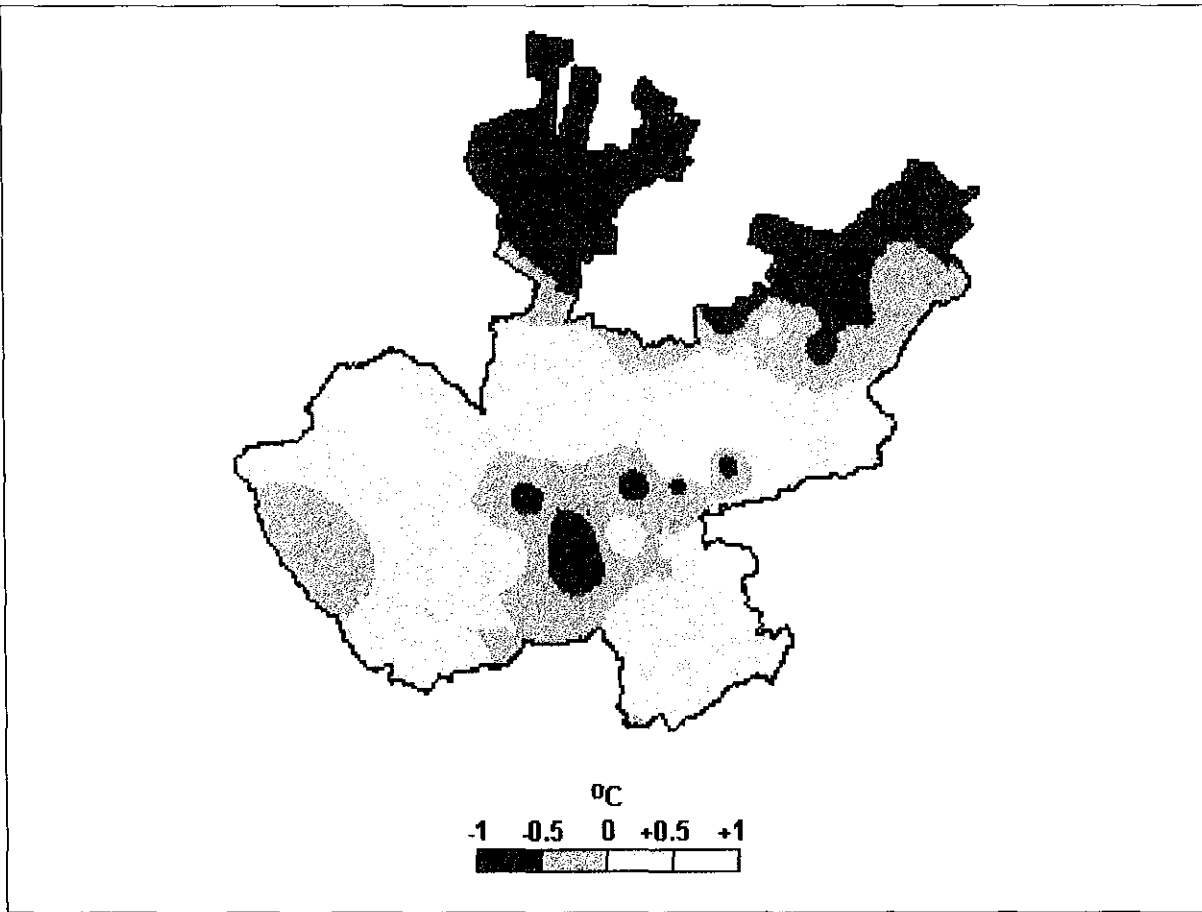


Figura 3. Cambio en la temperatura media anual de 1947 a 1996.

Por otra parte, las áreas de calentamiento entre  $+0.5$  y  $+1.0^{\circ}\text{C}$ , se distribuyen en una dirección Este-Oeste, sobresaliendo en el extremo Oeste una zona comprendida entre Mascota y San Sebastián del Oeste y en la parte Centro-Altos una región cercana a la ciudad de Guadalajara, compartida por los municipios de Zapotlanejo, Atequiza, Tepatitlán, Acatic, Tototlán, Ocotlán y Zapotlán del Rey. Llama la atención en la misma Figura 3, como la Zona Centro del estado, en distancias relativamente cortas presenta tendencias opuestas (tanto de enfriamiento como de calentamiento). Probablemente esto se debe a la influencia climática en un radio determinado, que ejercen tanto el Lago de

Chapala (el más grande del país y segundo en extensión en Latinoamérica) como la ciudad de Guadalajara (con más de seis millones de habitantes).

En el Cuadro 2 se describe la superficie (en términos porcentuales) correspondiente a cada estrato de cambio térmico. Se observa que aproximadamente la mitad del estado ha experimentado una tendencia al calentamiento, mientras que el resto tiene una tendencia al enfriamiento.

Con base en la información del Cuadro 2, cerca del 3% de la superficie del estado presenta un incremento de temperatura superior al de la tendencia global, sin embargo, esto ha sido en un tiempo relativamente reducido (50 años), lo cual puede estar señalando la presencia de causas antropogénicas locales de cambio climático que están acelerando la variación de los patrones climáticos. Entre estas podría estar la deforestación en zonas como Mascota y San Sebastián del Oeste, en donde el ecosistema regional, cuya vegetación está compuesta principalmente por pino, pino-encino, oyamel, otras coníferas y encino, presentaron evidencias de perturbación, en la calidad y en la superficie arbolada en el último inventario forestal realizado (SARH, 1994). Este ecosistema denominado templado-frío, tiene representación en otras regiones del estado, como las Mesetas y Cañadas del Sur, Sierras y Valles Zacatecanos, Llanuras de

Cuadro 2. Superficie ocupada por varios estratos de cambio térmico en Jalisco.

Cambio térmico (°C)	Superficie (%)
-1.0 a -0.5	22.98
-0.5 a -0.0	24.53
+0.0 a +0.5	46.07
+0.5 a +1.0	6.42
Calentamiento por arriba del promedio global:	
+0.6 a +1.0	2.96 (237,168 ha)

Ojuelos-Aguascalientes, Altos de Jalisco, Guadalajara, Chapala, Sierra de Jalisco, Volcanes de Colima y Cordillera Costera del Sur. Actualmente este ecosistema se considera que sufrió una fragmentación de 403,623 ha entre 1970 y 1994, a consecuencia de cambios de uso del suelo, incendios forestales, pastoreo intensivo, cortas clandestinas y plagas forestales (SARH, 1994).

## CONCLUSIONES

- 1) Jalisco, no obstante ser considerado una región tropical, presenta cambios térmicos significativos en la mayor parte de su territorio, por arriba de los 19°45' de latitud Norte.
- 2) El sentido de dichos cambios no es uniforme, presentándose tanto áreas de calentamiento como áreas de enfriamiento. La magnitud de los cambios térmicos es del orden de +0.1 a +1.0°C para la tendencia de calentamiento y de -0.1 a -1.0°C para la tendencia de enfriamiento, presentándose variaciones regionales en ambos casos.
- 3) Las zonas mayor calentamiento se ubican en las zonas Oeste, Centro, Sureste y Altos Sur. Mientras tanto las zonas de mayor enfriamiento se distribuyen en la zona Norte, Altos, Sur y Ciénega de Chapala.
- 4) Los cambios térmicos presentan en términos generales un carácter estacional, de tal forma que para áreas con tendencia de calentamiento, éste ha sido más significativo en el período otoño-invierno y, para zonas con tendencia de enfriamiento, el cambio térmico ha sido más significativo en el período primavera-verano.
- 5) En orden de importancia de acuerdo a la superficie ocupada, los estratos de cambio térmico son: +0.01 a +0.50°C; -0.01 a -0.50°C; -0.50 a -1.00°C y, +0.50 a +1.00°C. A estos estratos corresponden el 46.07, 24.53, 22.98 y 6.42%, respectivamente, de la superficie estatal.
- 6) El 2.96% de la superficie estatal presenta un calentamiento entre 0.6 y 1.0°C, superior al de la tendencia global.

## LITERATURA CITADA

- Alkezweeny, A.J. 1995. Trend analysis of sulfur dioxide emissions and sulfate concentrations and their application to global cooling. *Atmósfera* 8:91-97.
- Balling, R.C., Jr., and S.B. Idso. 1992. Anthro-generated climate change in Europe. *Environ. Conserv.* 19:349-353.
- Bootsma, A. 1994. Long term (100 yr) climatic trends for agriculture at selected locations in Canada. *Climatic Change* 26:65-88.
- Changnon Jr., S.A. 1985. Climate fluctuations and impacts: The Illinois case. *Bulletin American Meteorological Society* 66(2):142-151.
- Clark, W.C., G.T. Goodman, J. Jaeger, M. Oppenheimer y G.M. Goodwell. 1988. Developing policies for responding to climatic change. WCIP-1. WMO/TD-No. 225.
- Cohen, Y. And J. Pastor. 1991. The responses of a forest model to serial correlations of global warming. *Ecology* (72):1161-1165.
- Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE). 1992. Reporte anual (1990). CONAE-SEMIP. México, D.F.
- Eastman, J.R. 1993. IDRISI Ver. 4.1. Technical reference. Clark University-Graduate School of Geography. 229 p.
- EPA. 1998. Global warming impacts: Implications for international agriculture. United States Environmental Protection Agency. The EPA Global Warming Site.

- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 4ª Edición. Offset Larios. México, D.F. 219 p.
- Instituto Nacional de Ecología (INE). 1988. Inventario preliminar de gases efecto invernadero para México. INE/SEDESOL. México, D.F.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1992. Scientific assessment of climate change. WMO-UNEP. Switzerland. 24 p.
- International Institute for Environment and Development (IIED). 1997. Tiempo: Global warming and the third world. Issue 23. March 1997. University of East Anglia, Norwich, UK. pp. 26.
- Jáuregui, E. 1986. The urban climate of México City. *In: Proceed. Tech. Conf. on Urban and Building Climatology. México, City. WMO 652 (T.R. Oke ed.). Geneva. pp 63-86.*
- Jáuregui, E. 1992. Aspects of monitoring local/regional climate change in a tropical region. *Atmósfera*, 5:69-78.
- Karl, T.R., R.R. Heim Jr, R.G. Quayle. 1991. The greenhouse effect in Central North America: If not now, when?. *Science* 251:1058-1061.
- Karl, T.R. 1996. Detection of climate change. Sustainable development and global climate change conference. National Climate Data Center, USA. 7 p.
- Lemus, L. And C. Gay. 1988. Temperature, precipitation variations and local effects in Aguascalientes during 1921-1985. *Atmósfera* 1:39-44.
- Robock, A., R.P. Turco, M.A. Harwell, T.P. Ackerman, R. Andressen, H. Chang and M.V.K. Sivakumar. 1993. Use of general circulation model output in the



- creation of climate change scenarios for impact analysis. *Climatic Change* 23:293-335.
- Ruiz C., J.A. y R. Gómez M. 1994. Variabilidad del régimen de temperatura en Guadalajara. *Horizonte* (343):13-18.
- Ruiz C., J.A., F.J. Flores M., J.J. Sánchez G. y J.L. Ramírez D. 1998. Variación temporal y espacial de la precipitación promedio anual y estacional en Jalisco. Artículo en revisión.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1994. Segundo Inventario Nacional Forestal. Subsecretaría Forestal. México, D.F.
- Skaggs, R.H. and D.G. Baker. 1989. Temperature change in Eastern Minnesota. *Journal of Climate Change*, 2(6):629-630.
- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 1988. Carta Estatal: Jalisco. Instituto de Geografía de la UNAM. México, D.F.
- Villalpando I., J.F. 1992. Propuesta para la actualización de la red de estaciones climatológicas del Estado de Jalisco. Proyecto. Documento inédito. Agroclimatología, S.A. de C.V. Guadalajara, Jalisco, México. 87 p.
- Villalpando I., J.F. y E. García. 1993. *Agroclimatología del Estado de Jalisco*. Anexo cartográfico. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuaria. Laboratorio Bosque La Primavera. Guadalajara, Jal. 40 p.
- Williams, M.A. and R.C. Balling Jr. 1996. *Interactions of desertification and climate*. WMO-UNEP. Ed. Arnold. Great Britain. 270 p.

## **PARTE II.**

### **VARIACION TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA PRECIPITACION PROMEDIO ANUAL Y ESTACIONAL EN JALISCO**

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo cuantificar la variación temporal y espacial de la precipitación en el estado de Jalisco, México. Para ello se analizaron las tendencias de la lluvia anual y estacional (períodos mayo-octubre y noviembre-abril) durante los años 1947-1996 en 61 localidades. Se hicieron análisis de correlación entre la precipitación y tiempo (años) para identificar cambios significativos en los volúmenes de lluvia. Se hizo un análisis retrospectivo para comparar los niveles de precipitación anual en dos escenarios, 1947-71 y 1972-96, bajo un contexto geográfico, utilizando el sistema de información geográfica (SIG) IDRISI. Los resultados mostraron que la precipitación anual no correlacionó significativamente con el tiempo en 53 de las 61 estaciones analizadas, indicando que en la mayor parte del estado, no ha habido cambios significativos en la cantidad anual de precipitación. Sin embargo, ocho estaciones, distribuidas en diferentes regiones del estado si presentaron correlación estadísticamente significativa, señalando la existencia de cambios en la precipitación, aunque con un patrón local o regional. Dentro de estas ocho estaciones se observaron tendencias encontradas, cinco sitios con disminución de precipitación localizados en la mitad Oeste de Jalisco y, tres sitios con aumento de precipitación, ubicados en la mitad Este del estado. Espacialmente estos cambios representaron alrededor del 5 y 1%, respectivamente, de la superficie estatal, significando un cambio de entre 10 y 20% de la precipitación promedio anual. Como era de esperarse, los cambios en la precipitación promedio anual guardaron una estrecha relación con cambios en la precipitación del período mayo-octubre. En términos generales, el estado de Jalisco experimentó una disminución promedio de 33.22 mm del período 1947-1971 al período 1972-1996, lo cual significó un decremento aproximado de  $2.67 \times 10^9 \text{ m}^3$  de agua de lluvia. Se concluye que la mayor parte del estado no ha registrado una disminución significativa de la precipitación anual durante los últimos cincuenta años y que los

cambios significativos, especialmente representan cerca de la vigésima parte de la superficie estatal (alrededor de 400,000 ha).

**Palabras clave: Cambio Climático, Precipitación, Estudios Regionales, GIS.**

## INTRODUCCION

Para estudiar los verdaderos impactos del cambio climático, se requieren escenarios regionales, tanto en la evaluación del pasado como del futuro climático (Robock *et al.*, 1993). Esencialmente todos los estudios científicos relacionados con cambio climático concuerdan en afirmar que los cambios han diferido y diferirán entre regiones (Clark *et al.*, 1988). Bradley *et al.*, (1987) documentan esta diferenciación regional con respecto al régimen de precipitación, en un estudio que realizaron durante el período comprendido entre 1920 y mediados de los 1980's; ellos encontraron que los cambios de precipitación variaban de acuerdo con la latitud: regiones ubicadas en latitudes entre de 0 y 5°N se mantuvieron sin cambio, regiones entre las latitudes de 35 a 70°N registraron una tendencia de incremento y regiones ubicadas entre las latitudes de 5 a 35°N presentaron una tendencia de disminución de la precipitación.

Al variar el régimen de precipitación, dos aspectos específicos requieren atención: 1) cambios en los promedios de precipitación en regiones agrícolas; y 2) cambios en la frecuencia de eventos extremos de precipitación en áreas vulnerables a inundaciones y tormentas. En el primer caso, un incremento de precipitación en regiones agrícolas temporaleras podría tener efectos benéficos, mientras un decremento tendría el efecto opuesto. En el segundo caso, un incremento tanto de la cantidad como de la intensidad de la lluvia en zonas agrícolas y urbanas con drenaje deficiente, puede ocasionar fuertes daños económicos e incrementar los niveles de riesgo ambiental para la vida del hombre, principalmente mediante la presencia de inundaciones (Gleick, 1987; Ogallo, 1994).

Considerando la diversidad climática que puede darse en una región determinada, los efectos de las variaciones de la precipitación sobre la productividad de los agrosistemas, son más acentuados en regiones semiáridas y

subhúmedas y menores en regiones húmedas. En las regiones áridas, por lo general los efectos de las variaciones de la precipitación no tienen un impacto muy marcado debido a que los agrosistemas son escasos (Williams y Balling, 1996). Según Clark *et al.*, (1988), bajo una escala global planetaria, los cambios que podrían esperarse en el régimen de lluvias son: a) incremento de la precipitación invernal en latitudes altas, b) decremento en la lluvia de verano de latitudes medias, y c) incremento en la intensidad de la lluvia en las zonas actuales lluviosas de latitudes bajas. Sin embargo, estos pronósticos son en realidad muy superficiales. Por ejemplo, para latitudes bajas (grupo en el que quedaría ubicado el estado de Jalisco) sólo se mencionan las zonas lluviosas, término que incluso no se define y además, no se hace referencia al resto de condiciones ambientales. En el estado de Jalisco existe una gran diversidad de tipos climáticos y de acuerdo a su régimen de humedad incluyen las condiciones de árido, semiárido y subhúmedo y que seguramente influyen en diferenciar las variaciones o cambios climáticos y sus impactos sobre los patrones locales de precipitación (Ruiz *et al.*, 1997; Medina *et al.*, 1998).

Existen informes sobre el comportamiento de la precipitación a escala regional durante el presente siglo, para diversas partes del mundo (Ogalló, 1989; Adejuwon *et al.*, 1990; Bradley *et al.*, 1987). En términos generales, puede decirse que la precipitación promedio anual global se mantuvo por debajo de un nivel normal entre 1900 y 1950 y por arriba de éste entre 1950 y 1980; mientras que los patrones regionales han observado tendencias variadas, como el caso de Estados Unidos que presenta una tendencia supra-normal entre fines de la década de los 1960's y mediados de los años 1980's; la antigua Unión Soviética que también presentó esta tendencia entre finales de los años 1940's y finales de los años 1960's, con oscilaciones entre los años 1970's y 1990's. La región africana del Sahel ha tenido desde los años 1960's una disminución de la precipitación anual y regiones como la Costa de Kenia e India en donde se han alternado períodos secos (por debajo de la precipitación normal) y húmedos en el presente ciclo (IPCC, 1992). Según esta última fuente internacional, México es referido en la

mayor parte de su territorio, como una zona en donde no existen datos disponibles sobre cuantificación de cambios en los patrones de precipitación durante el siglo veinte.

Ciertamente, en México en general y en Jalisco en particular, los antecedentes relacionados con el cambio climático referido a la precipitación son escasos. Algunos de estos han sido dirigidos al Noroeste del país para documentar el impacto de la precipitación de verano sobre el gradiente de temperatura de la zona desértica de México (Balling, 1989), así como a las zonas semiáridas y áridas de Aguascalientes en donde se ha reportado un incremento del índice de aridez (Lemus y Gay, 1988). Otros estudios están ubicados más en el contexto urbano que en el medio rural, como el trabajo desarrollado por Gómez y Ruiz (1994) para la ciudad de Guadalajara, en el que se reporta un incremento de la lluvia anual de entre 170 y 300 mm durante el período de 1931 a 1992.

Con base en lo anterior, gran parte de la superficie de México se mantiene en la actualidad sin ser estudiada y documentada en relación al problema de cambios y/o variaciones climáticas, a pesar de la utilidad que esta información puede representar para los tomadores de decisiones en el diseño de programas agrícolas y de protección civil, entre otras aplicaciones. El presente estudio tuvo como objetivo cuantificar la variación temporal y espacial de la precipitación en el estado de Jalisco durante los últimos 50 años.

## MATERIALES Y METODOS

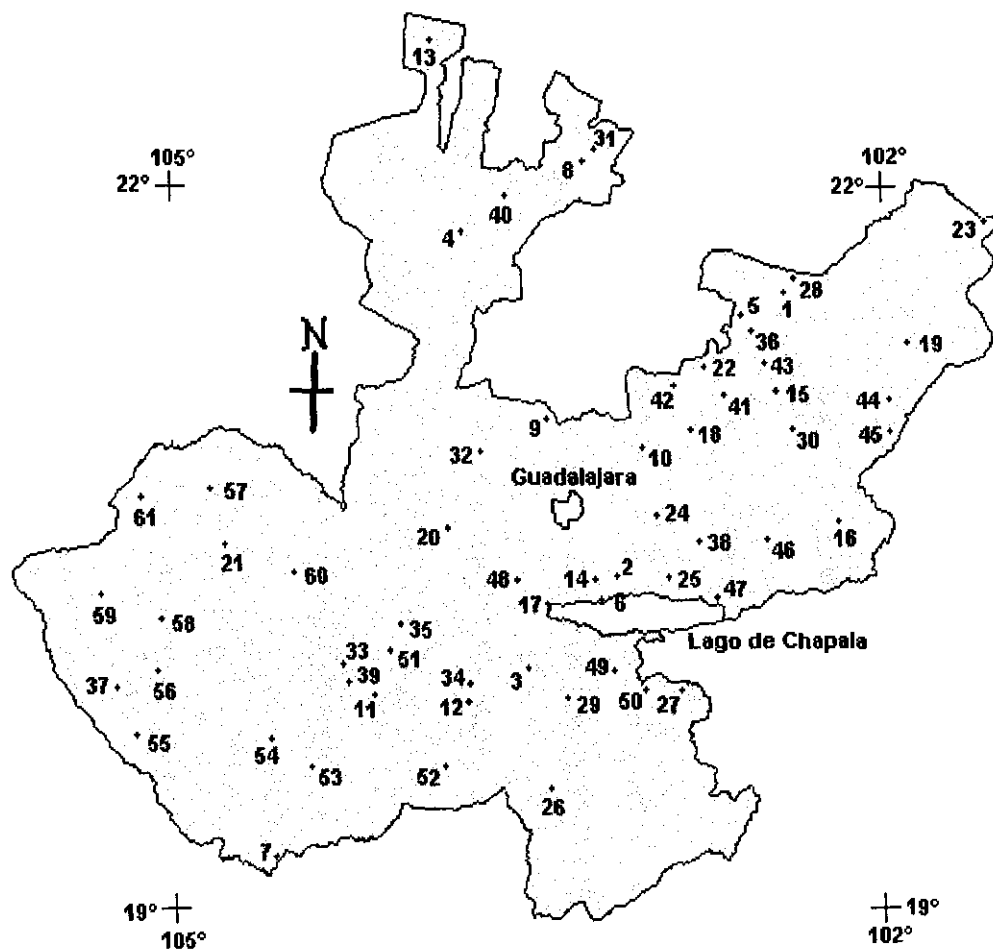
### ***Preparación de los datos***

El estudio se realizó para el Estado de Jalisco, ubicado en la porción Occidente de la República Mexicana. Se utilizó información anual de precipitación compendiada a partir de datos diarios y mensuales para 61 estaciones meteorológicas con más de 50 años de datos. Las estaciones consideradas se describen en el Cuadro 1 y su distribución espacial en el estado se presenta en la Figura 1. En este estudio se tomó como base la información climatológica diaria compilada en el sistema CLICOM 3.0, cuya base de datos corresponde al Servicio Meteorológico Nacional. A partir de este sistema se extrajeron archivos en formato ASCII para cada una de las estaciones de estudio con información actualizada a 1987. Estos archivos se importaron en el sistema SICA 2.0 (Medina y Ruiz, 1992) y se completó la serie climática de las estaciones a 1996 mediante captura. Se analizó la homogeneidad de los datos de precipitación a través de la (Villalpando, 1985), tomando para ello, valores anuales. Los datos faltantes en las series de las estaciones fueron estimados a nivel mensual mediante el cálculo de la diferencia normal promedio de precipitación entre la estación en cuestión y una a tres estaciones vecinas (Bootsma, 1994).

### ***Análisis de datos***

Se consideraron como variables de estudio la precipitación promedio anual (Pa) la precipitación media para el período mayo-octubre (Pmo) y la precipitación promedio para el período noviembre-abril (Pna). Estos períodos estacionales corresponden aproximadamente en México a los ciclos de producción agrícola primavera-verano (PV) y otoño-invierno (OI), respectivamente.





Estación	Municipio	Estación	Municipio	Estación	Municipio
1 Ajojúcar	Teocaltiche	22 Mexxicacán	Mexxicacán	42 Yahualica	Yahualica
2 Atequiza	Poncitlán	23 Ojuelos	Ojuelos	43 Sn. Gaspar R.	Sn. Gaspar R.
3 Atoyac	Atoyac	24 Palo Verde	Zapotlanejo	44 U. San Antonio	U. San Antonio
4 Bolaños	Bolaños	25 Poncitlán	Poncitlán	45 San Diego A.	San Diego A.
5 Calera	Teocaltiche	26 Quilo	Tuxpan	46 Atotonilco	Atotonilco
6 Chapala	Chapala	27 Quitupan	Quitupan	47 Jamay	Jamay
7 Cihuatlán	Cihuatlán	28 San Bernardo	Teocaltiche	48 Acatlán	Acatlán
8 Colotlán	Colotlán	29 San Gregorio	Gómez Farías	49 La Manzanilla	La Manzanilla
9 Cuixtla	Sn. Cristóbal B.	30 San Miguel A.	San Miguel A.	50 Mazamitla	Mazamitla
10 Cuquío	Cuquío	31 Sa. Ma. Angeles	Sa. Ma. Angeles	51 Juchitlán	Juchitlán
11 Ejutla	Ejutla	32 Santa Rosa	Amatitán	52 Tolimán	Tolimán
12 El Nogal	Tapalpa	33 Tacotán	Unión de Tula	53 Casimiro C.	Casimiro C.
13 Huejuquilla	Huejuquilla A.	34 Tapalpa	Tapalpa	54 Purificación	Purificación
14 Huerta Vieja	Ixtlahuacán M.	35 Tecolotlán	Tecolotlán	55 Higuera Bca.	Tomatlán
15 Jalostotitlán	Jalostotitlán	36 Teocaltiche	Teocaltiche	56 Cajón de Peña	Tomatlán
16 Jesús María	Jesús María	37 Tomatlán	Tomatlán	57 Sn. Sebastián	San Sebastián O.
17 Jocotepec	Jocotepec	38 Tototlán	Tototlán	58 El Bramador	Talpa
18 La Cuña	Yahualica	39 Unión de Tula	Unión de Tula	59 El Tuito	Cabo Corrientes
19 Lagos de M.	Lagos de M.	40 Villa Guerrero	Villa Guerrero	60 Atenguillo	Atenguillo
20 La Vega	Teuchitlán	41 Villa Obregón	Villa Obregón	61 Desembocada	Pto. Vallarta
21 Mascota	Mascota				

Figura 1. Distribución de estaciones meteorológicas del Edo. de Jalisco que fueron utilizadas.

Se calcularon coeficientes de correlación ( $r$ ) para las variables Pa, Pna y Pmo contra el tiempo (de 1947 a 1996) para determinar si existía una tendencia lineal de la precipitación durante este período. Se probó la significancia de las correlaciones mediante pruebas estandar. La utilización de estadísticas normales y pruebas de significancia puede llegar a ser un problema si existe autocorrelación en los datos, sin embargo, dado que las variables fueron manejadas bajo una base anual, se consideró que las observaciones fueron independientes entre sí, justificando la utilización de pruebas estandar de significancia (Bootsma, 1994).

Se calcularon medias móviles de precipitación anual para períodos de 5 años y se graficaron, con el propósito de ratificar la presencia de tendencias en los valores de lluvia anual de las estaciones con respecto a tiempo. El cálculo de las medias móviles se realiza incorporando un año a la vez y eliminando del cálculo el dato más antiguo (Yamane, 1979). Por ejemplo se calcula la media 1947-51, luego la media para el período 1948-52, etc. El uso de las medias móviles es común en estudios de cambio climático para la identificación de tendencias en variables climáticas (Bootsma, 1994; Williams y Balling, 1996).

Con el propósito de hacer un análisis retrospectivo de la precipitación anual, se seccionó la serie climática en dos períodos: 1947-1971 (A) y 1972-1996 (B). Se desarrolló un análisis de varianza estandar para determinar si las medias de los dos períodos eran iguales. Dado que esta prueba asume normalidad, se probó la normalidad de los datos mediante el estadístico de Shapiro-Wilk  $W$ , para muestras con tamaño menor a 51. En los casos en que no se obtuvo normalidad de los datos, la comparación de medias se realizó con la prueba de los signos (sign test), la cual constituye una prueba de contraste no paramétrico y es descrita a detalle por Spiegel (1997). Estos análisis se realizaron a través de las rutinas respectivas a cada tema dentro del programa STATISTICA (StatSoft, 1993).

Utilizando los valores de precipitación promedio para los períodos A y B y las coordenadas de las estaciones meteorológicas se construyeron dos matrices

de datos, utilizando la hoja de cálculo de QUATRO-PRO. Para realizar un análisis de la variación espacial de la precipitación en función a tiempo, se estructuró un sistema de información geográfica relativo a datos de precipitación, para lo cual fue necesario utilizar los sistemas de información geográfica (SIG) Arc-Info e IDRISI Eastman, 1993). Con el SIG Arc-Info se digitalizó el mapa del Estado, tomando como fuente la carta del Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM, 1988). Con esta imagen digitalizada y con las matrices de datos se procedió a correr interpolaciones para generar las imágenes de lluvia acumulada promedio anual para los períodos A y B. Este análisis se realizó mediante la rutina de interpolación del IDRISI, la cual se basa en un análisis de vecindad (se seleccionaron 6 vecinos) con el cuadrado del inverso de la distancia como algoritmo de cálculo. Con las imágenes resultantes se realizó un análisis espacial para comparar la distribución geográfica de la precipitación bajo los escenarios A y B; para ello se utilizaron rutinas de álgebra de mapas del IDRISI. Dentro de este análisis se incluyó la comparación de estratos de precipitación entre ambos escenarios y el cálculo del cociente B/A, dividiendo el mapa de precipitación 1972-96 entre el mapa de precipitación 1947-71. A través de este cociente expresado en porcentaje con expresión cartográfica (mapa) fue posible cuantificar de manera objetiva, el impacto de las variaciones ocurridas en la cantidad de precipitación acumulada anual de un período de tiempo a otro en todo el estado.

## RESULTADOS Y DISCUSION

Todas las series climáticas resultaron homogéneas bajo una base anual (Cuadro 1), indicando que la información proviene de una misma población de datos. Cabe aclarar que se encontraron estaciones que registraron cambio de ubicación, pero en todos los casos fue a distancias menores (200-500 m), por lo que prácticamente se puede asegurar que los registros de precipitación forman un continuo de información.

Sólo en 8 de las 61 estaciones analizadas se obtuvo una correlación significativa de la precipitación promedio anual con respecto a tiempo, indicando un cambio en la cantidad de lluvia anual a través de los últimos 50 años (Cuadro 1). Sin embargo, este resultado denota que la mayor parte del estado no ha experimentado un cambio significativo en los volúmenes de lluvia anual durante dicho período.

Dentro de los ocho casos en donde la precipitación correlacionó significativamente con la variable tiempo, cinco constituyen una correlación negativa, lo cual indica una disminución de la precipitación, y tres casos corresponden a una correlación positiva, señalando un aumento de la precipitación anual. Los sitios con disminución significativa de precipitación se localizan tanto en la zona Norte, en el municipio de Colotlán, como en la región costera, en los municipios de Puerto Vallarta, Tomatlán y Purificación y en la parte Oeste del estado, en el municipio de San Sebastián. Las localidades con incremento significativo de precipitación se ubican en la Ciénega de Chapala, en los municipios de Chapala e Ixtlahuacán de los Membrillos y en la región Altos Norte, en el municipio de Teocaltiche. En forma aproximada se puede señalar que las zonas con aumento de lluvia se distribuyen al Este del estado, mientras que las áreas con pérdida de precipitación se cargan hacia el Oeste, lo cual podría tener una posible relación con un debilitamiento de los vientos alisios, una de las

Cuadro 1. Coeficiente de correlación (r) de la precipitación media anual y estacional con respecto a tiempo y niveles de cambio pluvial en los últimos 50 años en Jalisco, México.

Estación	Municipio	Lat. N	Coef. Corr. (r)			Precipitación promedio (mm)			
			Pa	Pmo	Pna	A	B	B-A	p
Acatlán de J.	Acatlán de J.	20.42°	0.01	-0.02	0.06	815	792	- 23	0.95
Ajajácar	Teocaltiche	21.42°	0.25	0.24	0.07	594	629	35	0.23
Atenguillo	Atenguillo	20.41°	-0.23	-0.28*	0.04	1037	966	- 71	0.15
Atequiza	Poncitlán	20.40°	0.03	0.03	0.02	867	848	- 19	0.11
Atotonilco	Atotonilco	20.54°	-0.09	-0.09	-0.03	900	848	- 52	0.42
Atoyac	Atoyac	20.01°	-0.14	-0.24	0.12	694	661	- 33	0.23
Bolaños	Bolaños	21.83°	0.13	-0.09	-0.52**	577	639	62	0.11
Cajón de Peña	Tomatlán	20.00°	-0.42**	-0.41**	0.07	1484	1245	-239	0.05*
Calera	Teocaltiche	20.47°	0.31*	0.31*	0.18	608	716	108	0.05*
Casimiro Castillo	C. Castillo	19.60°	0.10	0.08	0.03	1667	1693	26	0.11
Chapala	Chapala	20.29°	0.45**	0.45**	0.12	824	960	136	0.11
Cihuatlán	Cihuatlán	19.23°	0.03	-0.01	0.10	968	936	- 32	0.69
Colotlán	Colotlán	22.12°	-0.37**	-0.45**	0.13	668	546	-122	0.11
Cuixtla	Sn. Cristóbal	21.05°	0.01	0.00	-0.03	855	858	3	0.48
Cuquilo	Cuquilo	20.93°	-0.08	-0.11	0.04	892	824	- 68	0.23
Ejutla	Ejutla	19.91°	-0.03	-0.13	0.15	912	860	- 52	0.11
El Bramador	Tapalpa	20.22°	0.08	0.08	-0.02	1930	1934	4	0.45
El Nogal	Tapalpa	19.87°	-0.07	-0.18	0.10	806	766	- 40	0.69
El Tuito	Cabo Corrientes	20.32°	-0.18	-0.18	0.10	1870	1701	-169	0.42
Higuera Blanca	Tomatlán	19.73°	0.15	0.12	0.13	699	714	15	0.95
Huejuquilla	Huejuquilla	22.63°	-0.27	-0.32*	0.07	693	596	- 97	0.42
Huerta Vieja	Ixtlahuacán M.	20.42°	0.37**	0.39**	0.08	825	895	70	0.04*
Jalostotitlán	Jalostotitlán	21.18°	-0.12	-0.12	-0.02	785	708	- 77	0.11
Jamay	Jamay	20.29°	-0.05	-0.02	-0.14	741	772	31	0.69
Jesús María	Jesús María	20.62°	-0.23	-0.21	-0.15	908	810	- 98	0.42
Jocotepec	Jocotepec	20.28°	0.19	0.17	0.10	693	801	108	0.04*
Juchitlán	Juchitlán	20.08°	0.22	0.24	0.06	621	702	81	0.42
La Cuña	Yahualica	21.00°	0.27	0.28*	0.05	784	845	61	0.23
La Desembocada	Pto. Vailarta	20.73°	-0.30*	-0.33*	0.08	1157	1069	- 88	0.11
Lagos de Moreno	Lagos de M.	21.36°	0.11	0.11	0.04	593	607	14	0.69
La Manzanilla	La Manzanilla	20.01°	-0.01	-0.06	0.07	931	928	- 3	0.69
La Vega	Teuchitlán	20.60°	-0.17	-0.17	0.03	978	913	- 65	0.95
Mascota	Mascota	20.53°	-0.08	-0.12	0.07	1071	980	- 91	0.23
Mazamitla	Mazamitla	19.78°	0.05	0.05	0.01	1054	1053	- 1	0.95
Mexicacán	Mexicacán	21.26°	0.09	0.09	0.03	706	709	3	0.90
Ojuelos	Ojuelos	21.87°	0.20	0.21	0.00	530	583	53	0.23
Palo Verde	Zapotlanejo	20.64°	-0.23	-0.22	-0.09	871	786	- 85	0.04*
Poncitlán	Poncitlán	20.38°	0.13	0.12	0.17	767	800	33	0.95
Purificación	Purificación	19.72°	-0.33*	-0.33*	0.01	1894	1623	-271	0.01**
Quito	Tuxpan	19.51°	-0.04	-0.15	-0.12	943	880	- 63	0.23
Quitupan	Quitupan	19.93°	-0.09	-0.16	0.09	847	808	- 39	0.69
San Bernardo	Teocaltiche	21.63°	0.01	0.02	-0.02	594	566	- 28	0.69
San Diego de A.	San Diego de A.	20.99°	0.11	0.09	0.10	676	676	0	0.95
San Gaspar R.	San Gaspar R.	21.27°	-0.01	-0.01	-0.02	677	658	- 19	0.95
San Gregorio	Gómez Farías	20.62°	-0.11	-0.20	0.09	1333	1284	- 49	0.42
San Miguel El Alto	San Miguel A.	21.01°	0.08	0.08	0.09	710	706	- 4	0.95
San Sebastián O.	San Sebastián	20.76°	-0.35*	-0.40	0.07	1426	1263	-163	0.04*
Sta. Ma. Angeles	Sta. Ma. A.	22.17°	0.03	0.03	0.02	637	638	1	0.95
Sta. Rosa	Amatitán	20.92°	-0.08	-0.05	-0.08	924	916	- 8	0.95
Tacotán	U. De Tula	20.03°	0.04	-0.02	0.11	814	775	- 39	0.42
Tapalpa	Tapalpa	19.95°	-0.01	-0.13	0.14	917	877	- 40	0.95
Tecolotlán	Tecolotlán	20.20°	0.13	0.09	0.08	761	801	40	0.69
Teocaltiche	Teocaltiche	21.41°	-0.22	-0.23	-0.02	635	564	- 71	0.15
Tolimán	Tolimán	19.60°	0.22	0.10	0.21	564	600	36	0.42
Tomatlán	Tomatlán	19.94°	-0.19	-0.28*	0.18	894	799	- 95	0.11
Tototlán	Tototlán	20.54°	-0.10	-0.09	-0.05	861	829	- 32	0.95
U. de Sn. Antonio	U. de Sn. Antonio	21.13°	0.01	-0.05	0.20	672	642	- 30	0.95
Unión de Tula	U. De Tula	19.96°	-0.10	-0.08	-0.09	857	785	- 72	0.11
Villa Guerrero	V. Guerrero	21.98	-0.12	-0.18	0.13	760	736	- 24	0.69
Villa Obregón	V. Obregón	21.15°	0.19	0.17	0.16	650	694	44	0.69
Yahualica	Yahualica	21.19°	0.22	0.19	0.18	707	733	26	0.42

Pa:Precipitación media anual Pmo:Precipitación mayo-octubre Pna:Precipitación noviembre-abril  
A: 1947-1971 B: 1972-1996 p: probabilidad de aceptar Ho \*significativo \*\*altamente significativo

principales fuentes de humedad durante la estación de lluvias. Sin embargo, no existen argumentos suficientes dentro de este estudio que puedan probar esta posibilidad. El incremento de la precipitación en la Ciénega de Chapala probablemente esté relacionado por un lado con el incremento de precipitación en la ciudad de Guadalajara que ha sido entre 170 y 300 mm para el período 1931-1992 (Gómez y Ruiz, 1994) y por otro lado, con un incremento de la evaporación, producto de un aumento sostenido de la temperatura entre mediados de los años 1980's y 1996 (Ruiz *et al.*, 1998a). En el caso de los sitios con decremento como San Sebastián del Oeste, La Desembocada, Purificación y Cajón de Peña, la disminución de la lluvia podría tener causas locales, como la deforestación, la cual ha sido documentada en diversas fuentes (SARH, 1994; SEDER, 1995) y que es capaz de alterar el ciclo hidrológico local al modificar el contenido de humedad en el suelo y el vapor de agua en el aire (Lapenis y Shabalova, 1994). Con respecto a la localidad de Colotlán, el decremento de la precipitación está en concordancia con las tendencias de disminución de la humedad observadas por Lemus y Gay (1988) para el vecino estado de Aguascalientes. Ambas regiones están consideradas como zonas semiáridas (Medina *et al.*, 1998).

En cuanto a la lluvia estacional, para el período noviembre-abril, sólo se registró una correlación significativa, la cual fue negativa y tuvo lugar en la localidad de Bolaños, indicando una reducción de la lluvia durante el período otoño-invierno. En cambio, para el período primavera-verano, en 11 localidades el coeficiente de correlación fue significativo, indicando que los cambios en la precipitación (cuando se dan) operan en la estación de PV, lo cual es de esperarse ya que el régimen pluvial en el estado es del tipo unimodal, con lluvias de verano (Villalpando y García, 1993).

Para las 53 estaciones en las que no se obtuvo un coeficiente de correlación significativo con respecto a tiempo, el análisis gráfico de medias móviles no detectó tendencias claras en la precipitación a lo largo del período 1947-1996. Esto concuerda con lo reportado por otros autores con relación a que

la precipitación a diferencia de la temperatura, constituye una variable con una tendencia no tan definida, sobre todo para estudios de carácter regional y local (Williams y Balling, 1996), aún en el marco del fenómeno de calentamiento global y sus efectos sobre el ciclo hidrológico (IPCC, 1992). Sin embargo, para las estaciones en que se determinó un coeficiente de correlación significativo entre la precipitación y tiempo, el análisis gráfico de medias móviles ratificó la presencia de tendencias en la precipitación media anual.

En la Figura 2 se muestra un aspecto del análisis gráfico de tendencias de la precipitación. Se muestran dos estaciones representativas de tendencias opuestas y con un coeficiente de correlación significativo con respecto al tiempo. Como puede observarse, a través de las medias móviles calculadas se pudo evidenciar de manera más clara la presencia de tendencias en las series de datos. Por ejemplo, en la localidad de Purificación se aprecia una disminución de la precipitación anual desde finales de los años 1950's hasta principios de los 1980's. Este descenso tiene coincidencia con el informe de Bradley *et al.*, (1987) para latitudes de 5 a 35°N, donde especifica gráficamente que para el período de tiempo mencionado, la precipitación se redujo en 10%. También guarda cierta similitud con las tendencias de la precipitación reportada en promedio para la India, en donde gráficamente se aprecia la predominancia de anomalías negativas de entre -10 a -250 mm anuales entre finales de los 1950's y finales de los 1980's (IPCC, 1992).

Caso contrario es el de las localidades con incremento de precipitación, representadas en la Figura 2b por la estación de Chapala y que describen un aumento más o menos sostenido en la lluvia anual durante los años 1950's hasta mediados de los 1960's para estabilizarse durante los 1970's y 1980's y a partir de ahí incrementarse de nuevo. Este comportamiento coincide también con los reportes de Bradley *et al.* (1987), pero para latitudes entre 35 y 70°N. Este constituye un aspecto que revela la diferencia que puede existir entre estudios globales de cambio climático en comparación con estudios regionales y locales,

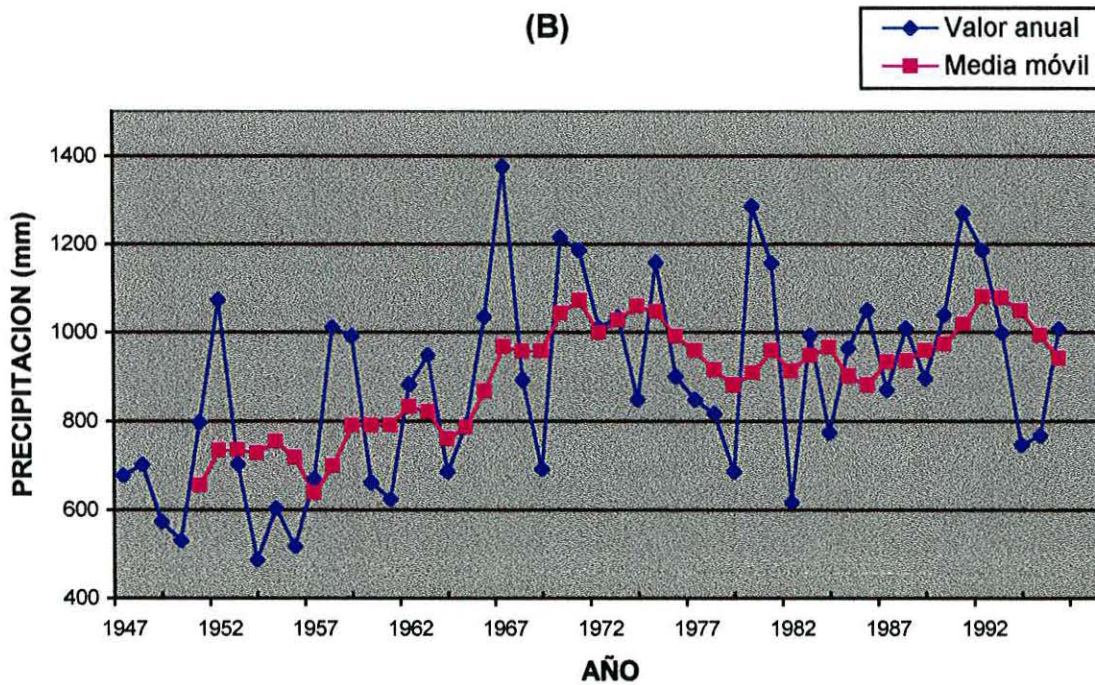
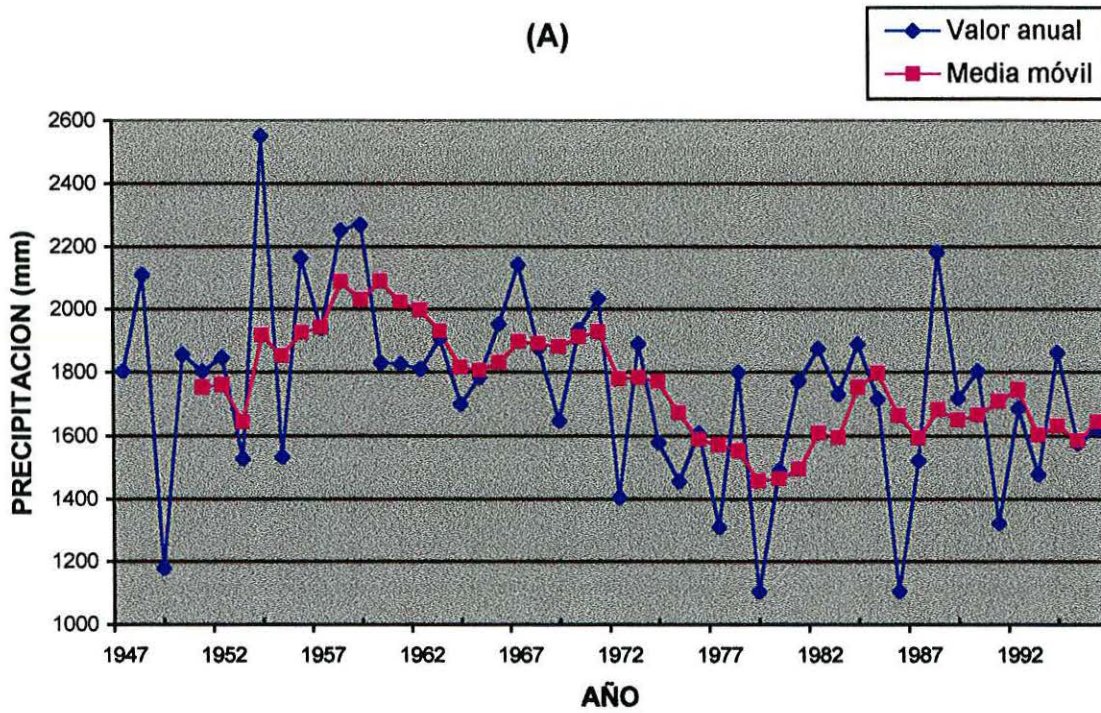


Figura 2. Series de precipitación y medias móviles de 5 años para las localidades de: A) Purificación y, (B) Chapala.



como es el caso del presente trabajo.

En cuanto al análisis retrospectivo, la comparación de los períodos 1947-71 y 1972-96 (B-A) mostró que en 7 sitios la diferencia de precipitación promedio de ambos períodos fue estadísticamente significativa (Cuadro 1), por lo que al menos en esos 7 casos los años anteriores a los 1970's no son ya representativos de las condiciones actuales de lluvia en el estado, sobre todo en cuanto a cantidad de precipitación se refiere. De estos siete sitios, cinco de ellos pertenecen al grupo de estaciones que también registraron una correlación significativa entre precipitación media anual y tiempo (Cuadro 1). Al realizar una interpolación geográfica de la precipitación media anual para los períodos A y B, se obtuvieron mapas de esta variable para ambos escenarios.

La Figura 3 describe la distribución espacial de la precipitación promedio anual para el Estado de Jalisco bajo estos dos escenarios. En dicha figura pueden apreciarse diferencias entre ambos períodos para cada uno de los cuatro estratos de precipitación que se presentan. Una de las más evidentes es sin duda la reducción de las áreas con más de 1500 mm anuales (1500-2000 mm), la cual disminuyó en cerca de 240,000 ha (3%). Este cambio se registró principalmente en las zonas serranas de los Distritos de Ameca y Tomatlán. También es importante destacar la reducción de las áreas con menos de 600 mm de lluvia anual que se redujeron en aproximadamente 1% (un poco más de 90,000 ha). Estos cambios se observaron principalmente en la región Altos Norte y pequeñas áreas alrededor de Bolaños y Toluimán. Sin embargo, zonas aledañas a Huejuquilla y Colotlán, en el Norte del estado, pasaron a ser parte de la región más seca de Jalisco con menos de 600 mm de precipitación al año. Las implicaciones que estos cambios pueden tener en la agricultura se revisan en un artículo complementario al presente (Ruiz *et al*, 1998b).

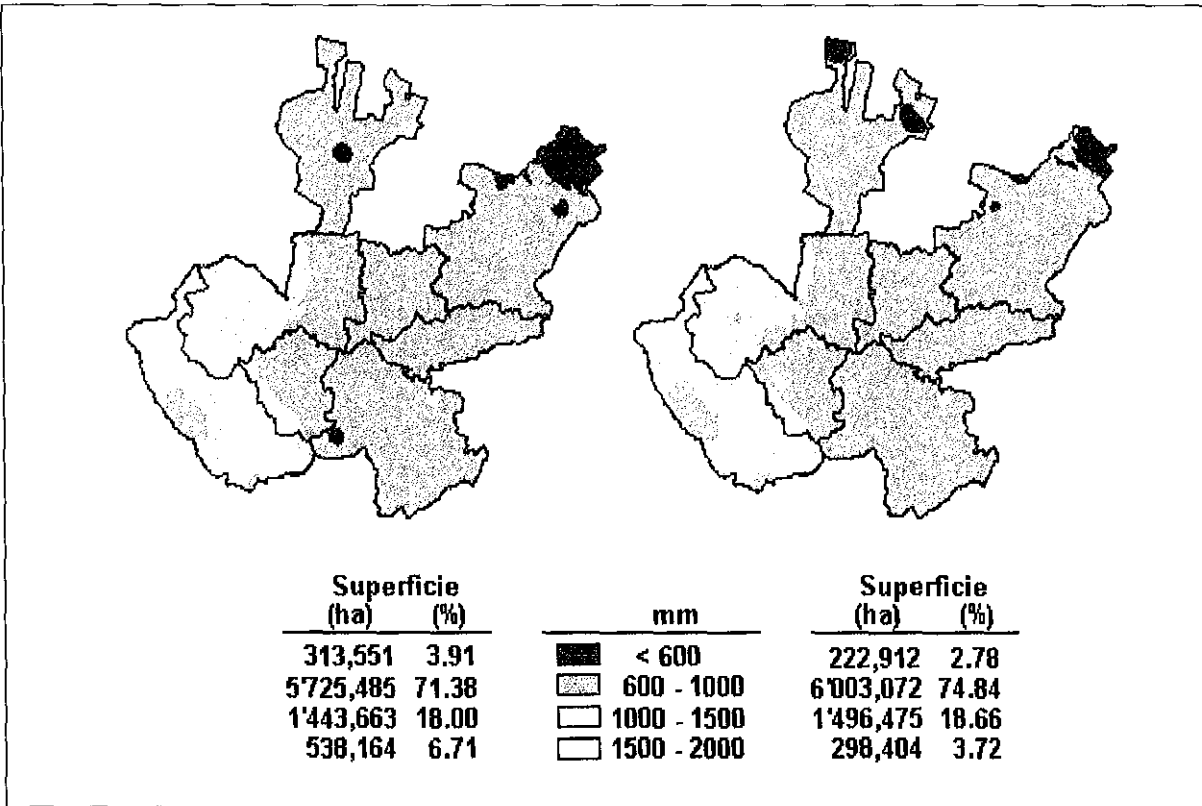


Figura 3. Distribución geográfica de la precipitación promedio anual bajo dos escenarios: 1947-1971 (izquierda) y 1972-1996 (derecha).

En la Figura 4 se presentan los cocientes (en términos de porcentaje), obtenidos al dividir el mapa de precipitación 1972-96 entre el mapa de precipitación 1947-71. A través de esta figura es posible cuantificar de manera objetiva, el impacto de las variaciones ocurridas en la cantidad de precipitación acumulada anual de un período a otro en el estado. El 69% de la superficie estatal (5'535,197 ha) presenta una disminución de la lluvia en el orden del 1 al 10%, distribuyéndose estas áreas en todo el estado. Sin embargo, esta variación no es estadísticamente significativa en toda la superficie que cubre esta categoría, ya que comprende la influencia de estaciones con correlación precipitación-tiempo tanto significativas como no significativas.

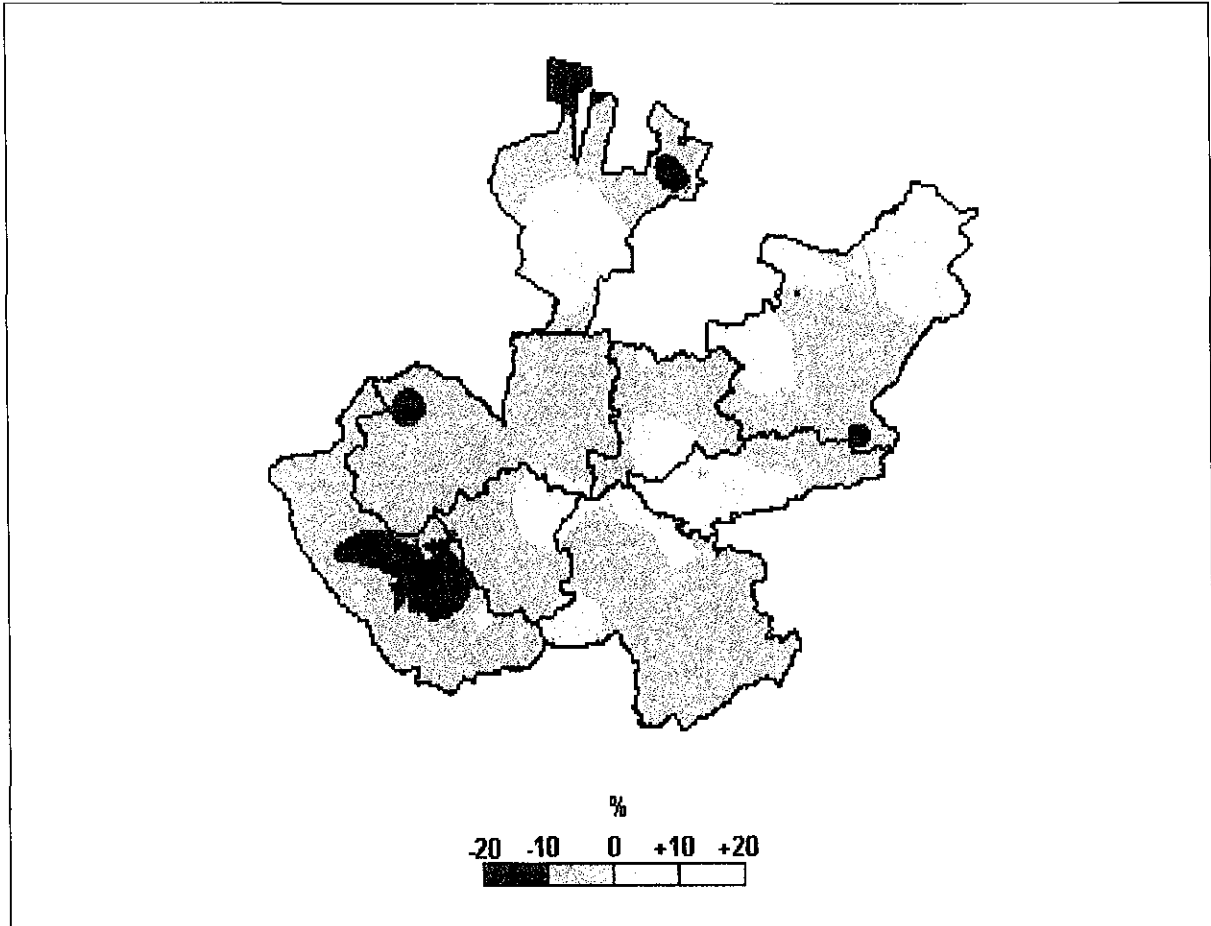


Figura 4. Cambio en la precipitación media anual de 1947-71 a 1972-96.

La siguiente tendencia en importancia de acuerdo a superficie es la que se refiere a un incremento de la precipitación de entre 1 y 10%, se distribuye principalmente en los Distritos de Colotlán, Lagos de Moreno, La Barca, Zapopan, Cd. Guzmán y El Grullo, cubriendo el 24.4% del territorio estatal (1'953,882 ha). Este incremento de la precipitación, tampoco puede decirse que sea estadísticamente significativo en toda su extensión, ya que al igual que la categoría anterior, incluye la influencia tanto de estaciones con correlación precipitación-tiempo significativa como no significativa.

Como puede verse en la Figura 4, las variaciones más fuertes de precipitación entre un período y otro tuvieron lugar en las zonas Costa, Oeste, Norte y Altos Sur, donde se registró un decremento de 10 a 20% de la lluvia anual. Estas, muy probablemente se vieron reflejadas en una reducción de la estación de crecimiento en dichas áreas (aspecto no considerado en el presente estudio). A este nivel de cambio pluvial le correspondió el 5.5% de la superficie del estado (439,543 ha). Por último, se detectaron zonas con un incremento de 10 a 20% de la precipitación anual, las cuales se distribuyeron principalmente en el la Ciénega de Chapala y zonas Norte, Centro-Sur y Altos Norte. Esta variación está representada en el 1.2% de la superficie estatal (92,240 ha).

Al observar la distribución en el estado de las áreas con un incremento y decremento de la precipitación en el rango de 10 a 20% (Figura 4) y compararlas con los sitios en donde se obtuvo una correlación significativa entre precipitación y tiempo y una diferencia significativa entre las medias de precipitación anual de los períodos A y B (Cuadro 1), se puede deducir que existe aproximadamente una correspondencia entre ambos tipos de información, por lo que puede utilizarse el rango de variación de la precipitación de 10 a 20% para indicar las áreas en las que ha tenido lugar un cambio significativo de la precipitación anual en el estado. De esta forma se puede concretar que el 5.5% de la superficie estatal ha experimentado un decremento significativo de la precipitación y en contraparte, en el 1.2% de la superficie estatal ha tenido lugar un incremento significativo de la lluvia acumulada promedio anual.

Al tratar de hacer un balance comparativo entre los dos escenarios (1947-71 y 1972-96) con respecto a la disponibilidad de agua en el estado proveniente de la lluvia, se tiene el panorama que se expone en el Cuadro 2. Como puede verse, en términos de promedio general para todo el estado de Jalisco, en la actualidad llueven 33.22 mm menos que en 1947-71, lo cual significan 2670 millones de metros cúbicos menos.

Cuadro 2. Agua de lluvia disponible en el estado de Jalisco en dos períodos de tiempo.

Período	Lluvia anual (mm)	Volumen agua (m <sup>3</sup> )
1947-1971 (A)	924.95	74.19 x 10 <sup>9</sup>
1972-1996 (B)	891.73	71.52 x 10 <sup>9</sup>
Diferencia (B-A)	33.22	- 2.67 x 10 <sup>9</sup>

## CONCLUSIONES

- 1) En la mayor parte del estado de Jalisco no existe una variación significativa de la precipitación media anual. Las tendencias significativas de cambios en la cantidad de precipitación sólo existen en el 6.7% de la superficie estatal, distribuyéndose de la manera siguiente:
  - a) el 5.5% de la superficie (439,543 ha) ha experimentado una disminución de entre -10 y -20% de la lluvia anual; y,
  - b) el 1.2% de la superficie (92,240 ha) ha experimentado un incremento de la precipitación promedio anual de entre +10 y +20%.
- 2) Las áreas de disminución significativa de la precipitación se localizan en las zonas Costa, Norte, Oeste y Altos Sur del estado. Las zonas de incremento de la precipitación se ubican en la Ciénega de Chapala y zonas Altos Norte, Norte y Centro-Sur.
- 3) Las variaciones de precipitación media anual se deben a variaciones de la precipitación del período mayo-octubre.
- 4) La precipitación anual en Jalisco disminuyó 33.22 mm del período 1947-1971 al período 1972-1996, lo cual significó una reducción de  $2.67 \times 10^9$  m<sup>3</sup> de agua de lluvia.

## LITERATURA CITADA

- Adejuwon, J.O., E.E. Balogun and S.A. Adejuwon. 1990. On the annual and seasonal patterns of rainfall fluctuations in Sub-Saharan West Africa. *International Journal of Climatology* (10):839-848.
- Balling, R.C., Jr. 1989. The impact of summer rainfall on the temperature gradient along the United States-Mexico border. *Journal of Applied Meteorology* 28:304-308.
- Bootsma, A. 1994. Long term (100 yr) climatic trends for agriculture at selected locations in Canada. *Climatic Change* 26:65-88.
- Bradley, R.S., H.F. Díaz, J.K. Eischeid, P.D. Jones, P.M. Kelly and C.M. Goodess. 1987. Precipitations fluctuations over Northern Hemisphere land areas since the mid-19<sup>th</sup> Century. *Science* (237):171-175.
- Clark, W.C., G.T. Goodman, J. Jaeger, M. Oppenheimer y G.M. Goodwell. 1988. Developing policies for responding to climatic change. WCIP-1. WMO/TD-No. 225.
- Eastman, J.R. 1993. IDRISI Ver. 4.1. Technical reference. Clark University-Graduate School of Geography. 229 p.
- Gleick, P.H. 1987. Regional hydrologic consequences of increases in atmospheric CO<sub>2</sub> and other trace gases. *Climate Change* 10:137-161.
- Gómez, M.R. y J.A. Ruiz. 1994. Variabilidad del régimen de precipitación en Guadalajara. *Horizonte* (344):13-18.

- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1992. The global climate system: Climate system monitoring (December 1988-May 1991). World climate data and monitoring programme. Italy. 110 p.
- Lapenis, A.G. and M.V. Shabalova. 1994. Global climate changes and moisture conditions in the intracontinental arid zones. *Climatic Change* 27:283-297.
- Lemus, L. And C. Gay. 1988. Temperature, precipitation variations and local effects in Aguascalientes during 1921-1985. *Atmósfera* 1:39-44.
- Medina, G.G. y J.A. Ruiz C. 1992. SICA 2.0: Sistema de Información para Caracterizaciones Agroclimáticas. Guía de documentación y manual del usuario. Tema didáctico Núm. 3. INIFAP-C.E. Zacatecas. Calera de V.R., Zac. 126 p.
- Medina, G.G., J.A. Ruiz C. y R. Martínez P. 1998. Los climas de México. Una estratificación ambiental basada en el componente climático. Libro Técnico Núm. 1. INIFAP-CIRPAC. Guadalajara, Jal. 105 p.
- Ogallo, L.J. 1989. The spatial and temporal patterns of the East African seasonal rainfall derived from principal component analysis. *International Journal of Climatology*, 9(2):145-167.
- Ogallo, L.J. 1994. Validity of the ENSO-related impacts in Eastern and Southern Africa. In: *Usable Science: Food security, early warning and El Niño*. UNEP and NCAR (Boulder, CO). pp. 179-184.
- Robock, A., R.P. Turco, M.A. Harwell, T.P. Ackerman, R. Andressen, H. Chang and M.V.K. Sivakumar. 1993. Use of general circulation model output in the creation of climate change scenarios for impact analysis. *Climatic Change* 23:293-335.



- Ruiz C., J.A., G. Medina G. y R. Martínez P. 1997. Estratificación ambiental del Estado de Jalisco. En: Memorias del Simposio Ciencia y Tecnología Jalisco 97. UdeG-CONACYT. Guadalajara, Jal. pp. 95-96.
- Ruiz C., J.A., F.J. Flores, J.J. Sánchez y J.L. Ramírez. 1998a. Variación temporal y espacial de la temperatura promedio anual y estacional en Jalisco. Artículo en revisión.
- Ruiz C., J.A., F.J. Flores, J.L. Ramírez y J.J. Sánchez. 1998b. Cambio climático y su impacto sobre algunos parámetros agroclimáticos y potencialidades agrícolas del estado de Jalisco. Artículo en revisión.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). 1994. Segundo Inventario Nacional Forestal. Subsecretaría Forestal. México, D.F.
- SEDER. 1995. Plan Sectorial Forestal para el Estado de Jalisco. Gobierno del Estado de Jalisco. Secretaría de Desarrollo Rural. Convenio México-Finlandia. 71 p.
- Spiegel, M.R. 1997. Estadística. Traducción. 2da. Ed. McGraw-Hill. España. 556 p.
- StatSoft. 1993. Statistica Versión 4.2. Manual del usuario. StatSoft Inc.
- UNAM. 1988. Carta Estatal: Jalisco. Instituto de Geografía de la UNAM. México, D.F.
- Villapando, I.J.F. 1985. Métodos de análisis en agroclimatología. Documento de circulación interna. INIA. C.E. Zapopan. Zapopan, Jalisco, México. 151 p.

Villapando, I. J.F. y E. García. 1993. Agroclimatología del Estado de Jalisco.  
Anexo cartográfico.

Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y  
Agropecuaria. Laboratorio Bosque La Primavera. Guadalajara, Jal. 40 p.

Williams, M.A. and R.C. Balling Jr. 1996. Interactions of desertification and climate.  
WMO-UNEP. Ed. Arnold. Great Britain. 270 p.

Yamane, T. Estadística. Editorial Harla. México, D.F. 771 p.

**Parte III.**

**CAMBIO CLIMATICO Y SU IMPACTO SOBRE ALGUNOS  
PARAMETROS AGROCLIMATICOS Y AREAS POTENCIALES  
DE MAIZ EN EL ESTADO DE JALISCO**

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue cuantificar el impacto de las variaciones de precipitación y temperatura durante el período 1947-1996, sobre algunos parámetros agroclimáticos y áreas potenciales para el cultivo del maíz en el estado de Jalisco. Se cuantificó la distribución espacial de las disponibilidades de la estación de crecimiento (EC) y su capacidad térmica (CT) en el área agrícola del estado bajo dos escenarios comparativos de tiempo: 1947-1971 y 1972-1996. Se utilizó información de 42 estaciones meteorológicas, las cuales formaron la base para la elaboración de cartografía estatal para los parámetros mencionados, haciendo uso del sistema de información geográfica (SIG) IDRISI. Los resultados de estos análisis fueron utilizados para delimitar áreas potenciales para el cultivo de maíz de ciclo precoz, intermedio-precoz, intermedio e intermedio-tardío, cuyos requerimientos térmicos (RT) siembra-madurez fisiológica fueron caracterizados a través de los genotipos CAFIME, H-220, HV-313 y H-311 con datos fenológicos de experimentos de campo. Los resultados mostraron una reducción promedio actual de 6 días en la duración de la estación de crecimiento (DEC) producto de un retraso promedio de 2 días en el inicio de la EC (IEC) y de un adelanto promedio de 4 días en la finalización de la EC (FEC). Esta reducción de la EC estuvo asociada con una disminución de la precipitación probabilística de los meses de junio, septiembre y octubre. La reducción de la DEC se tradujo en una disminución de la CT de la EC, lo cual afectó las áreas potenciales para el cultivo de maíz de la siguiente manera: la superficie apta para maíces de ciclo intermedio-tardío y precoz se redujo 24 y 49%, respectivamente, mientras que la superficie apta para maíz de ciclo intermedio e intermedio-precoz se incrementó en 44 y 73%, respectivamente. Se concluye que las variaciones climáticas que se han verificado durante los últimos 50 años, han impactado negativamente de manera significativa sobre la agroclimatología regional y potencial de cultivo del maíz en el estado de Jalisco.

**Palabras clave:** Cambio Climático, Parámetros Agroclimáticos, Potencial Agroclimático, Maíz, Estudios Regionales, GIS.

## INTRODUCCION

En los últimos años, el cambio climático se ha convertido en una de las grandes preocupaciones a nivel mundial, en gran parte fundamentada por el impacto potencial que representa sobre la distribución y productividad de los ecosistemas, incluidos los agroecosistemas (Cohen y Pastor, 1991). De estos últimos, los sistemas de producción que se consideran más sensibles a las variaciones climáticas son los sistemas de temporal (Carter y Konijn, 1988), en los cuales se depende únicamente del agua de lluvia para la producción de cosechas. En los sistemas temporaleros, las variaciones interanuales en la cantidad y distribución de la lluvia tienen un efecto significativo sobre la producción, provocando generalmente considerables fluctuaciones en los rendimientos por unidad de superficie, tanto entre años como entre regiones (Thompson, 1986; Cooter, 1990).

En México, la agricultura que se practica es mayoritariamente bajo condiciones de temporal. Jalisco, es un estado representativo de esta condición, ya que más del 90% de la superficie agrícola se cultiva durante la estación de lluvias (SAGAR, 1997). Las condiciones de precipitación en Jalisco se consideran en general favorables para desarrollar este tipo de agricultura; sin embargo existen zonas en las que el régimen de lluvias no es tan apropiado para el desarrollo de una agricultura de bajo nivel de riesgo climático.

De acuerdo con la NCR, citada por Brinkmann (1979), la EC ha sido considerada como un parámetro ambiental que es un buen indicador de variaciones o cambios climáticos; además representa una variable agroclimática que enlaza el clima con la agricultura por lo que adicionalmente constituye un factor que mide indirectamente el impacto de los cambios climáticos sobre las actividades agropecuarias (Neild *et al.*, 1979). La EC puede alterarse debido a variaciones en los patrones diarios, mensuales o estacionales de temperatura, así

como de precipitación; asimismo la presencia de valores climáticos extremos, tales como heladas, exceso de calor, inundaciones o sequía puede ser determinante en la interrupción brusca del período de crecimiento (Williams y Balling, 1996). Los efectos de cambios climáticos sobre la EC han sido relacionados bajo dos posturas opuestas: la primera establece una disminución de la EC provocada por procesos de calentamiento que a su vez incrementan las tasas de evapotranspiración y disminuyen la disponibilidad de humedad en el suelo, al mismo tiempo que estimulan un desarrollo más acelerado de los cultivos, reduciendo con esto su rendimiento. La segunda postura, opuesta a la anterior, establece efectos benéficos como el incremento de la duración de la EC en regiones frías, donde el principal factor restrictivo de la EC son las bajas temperaturas y que con un proceso de calentamiento se verían contrarrestadas incrementando finalmente la longitud de la EC (EPA, 1998). Sin embargo, se prevee que un incremento de la EC, así como de las temperaturas durante este período, requerirá de nuevas variedades de plantas que sean más tolerantes al calor, que no maduren tan rápidamente y que tengan una temperatura óptima para fotosíntesis más elevada (Wolfe, 1996). Una reducción en la EC afecta a los dos principales componentes de la producción agrícola; la superficie de cosecha y el rendimiento por unidad de superficie del cultivo (Hubbard y Flores-Mendoza, 1995). Al acortarse la EC, el agricultor se ve obligado a sembrar genotipos más precoces, los cuales normalmente tienen un rendimiento menor en comparación con genotipos más tardíos (Biscoe y Gallagher, 1977); también al reducirse la EC, la superficie de cosecha se reduce ya que el cultivo deja de ser apto en algunas regiones ubicadas en los límites de adaptación y productividad de la especie (Williams y Balling, 1996). En la evaluación de la estación de crecimiento, frecuentemente se utilizan probabilidades de lluvia en lugar de valores promedio, debido a que este se ha comprobado que tiene una probabilidad de ocurrencia que oscila alrededor del 50%, lo cual significaría una sobre-estimación de la estación de crecimiento al utilizar datos promedio de precipitación (Chang, 1968; Villalpando, 1985). A este respecto, tres de las distribuciones estadísticas que han

sido utilizadas con mayor frecuencia para el cálculo de probabilidades de lluvia son la gama-incompleta, la galton y la normal (León y Palacios, 1977; Ortiz, 1982).

La duración de la estación de crecimiento (DEC) en Jalisco, oscila entre 0 días, en una porción de la región Altos-Norte y más de 150 días, en las regiones Sur y Oeste; aproximadamente en dos terceras partes del estado la DEC es superior a 120 días (Villalpando y García, 1993; Flores, 1994). En las dos últimas décadas, los productores agrícolas regionales han señalado (sin cuantificar) que existe una pérdida gradual de la capacidad productiva de las tierras en las áreas temporaleras del estado, fenómeno que ha sido atribuido tanto al empobrecimiento de los suelos como a las modificaciones climáticas, sobre todo las referentes al régimen de lluvias, en donde se señala que tanto la cantidad como la distribución de la precipitación se ha modificado y que los genotipos que antes se sembraban han tenido que ser substituídos por otros que respondan mejor al nuevo ambiente de producción. Estos antecedentes plantean la posibilidad de que hayan ocurrido variaciones o cambios en la EC, los cuales hayan impactado a los sistemas de producción temporaleros del estado. Esta posibilidad se refuerza si se considera que recientemente se han consignado cambios térmicos significativos en la mayor parte de Jalisco (Ruiz *et al.*, 1998b) y una tendencia de disminución de la precipitación anual con significancia a nivel regional dentro del estado (Ruiz *et al.*, 1998a).

Con base en lo anterior, se desarrolló el presente estudio, cuyo objetivo fue cuantificar el impacto de las variaciones de precipitación y temperatura durante el período 1947-1996, sobre los principales parámetros de la estación de crecimiento y las áreas potenciales para el cultivo de maíz.

## MATERIALES Y METODOS

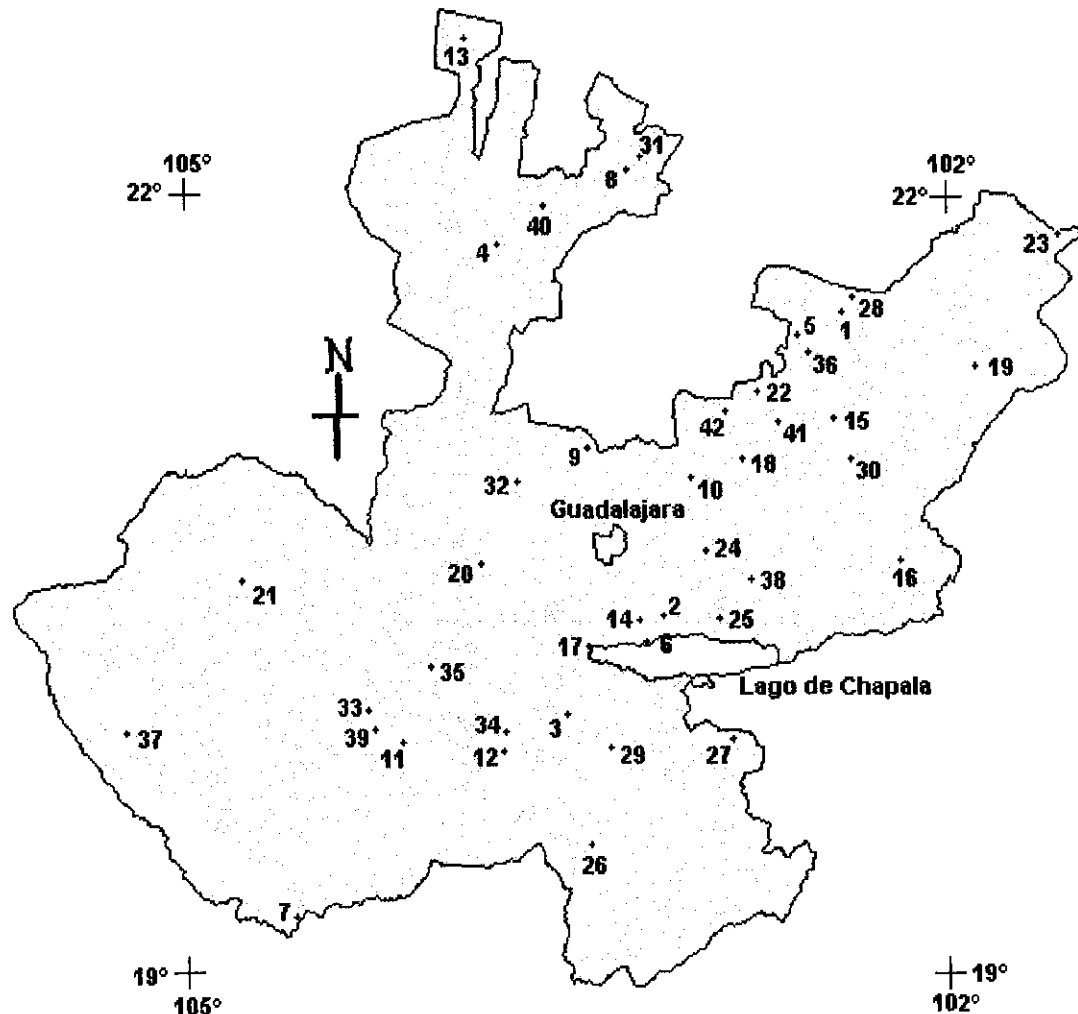
### Datos climatológicos

Se utilizó información mensual de temperatura y precipitación correspondiente a 42 estaciones meteorológicas ubicadas en el interior del estado de Jalisco. Las estaciones fueron seleccionadas con base en la duración de la serie climática (>50 años) y la veracidad de la información fue probada y reportada por Ruiz *et al.*, (1998a). Las estaciones consideradas se describen en el Cuadro 1 y su distribución espacial en el estado se presenta en la Figura 1. Las 42 estaciones representan aproximadamente la gama de la variación ambiental del estado reportada por Medina *et al* (1998).

### Análisis de datos

Se cuantificó la estación de crecimiento (EC) por disponibilidad de humedad bajo dos escenarios de tiempo: 1947-1971 (A) y 1972-1996 (B). Para ello se utilizó el método descrito por la FAO, el cual determina el inicio de la estación de crecimiento (IEC) cuando al comenzar la estación de lluvias  $P \geq 0.5$  ETP, en donde P es precipitación y ETP la evapotranspiración potencial (FAO, 1978). La terminación de la EC (FEC) se produce cuando la humedad almacenada en el suelo no es suficiente para cubrir la demanda evapotranspirativa del sistema suelo-planta (Chang, 1968). Este momento se puede generalizar de manera empírica cuando  $P \leq 0.33$  ETP (Villalpando y García, 1993). La ETP se estimó mensualmente mediante el método de Thornthwaite (Martelo, 1997), debido a en el presente estudio sólo se dispuso de datos de temperatura y precipitación. Sin embargo, debido a que se ha demostrado que este método realiza estimaciones desviadas de la ETP con respecto las estimaciones del método de Penman modificado (el cual normalmente se toma como patrón de comparación); fue necesario realizar una corrección a las estimaciones del método de Thornthwaite,





Estación	Municipio	Estación	Municipio	Estación	Municipio
1 Ajojúcar	Teocaltiche	15 Jalostotitlán	Jalostotitlán	29 San Gregorio	Gómez Farías
2 Atequiza	Poncitlán	16 Jesús María	Jesus María	30 San Miguel A.	San Miguel A.
3 Atoyac	Atoyac	17 Jocotepec	Jocotepec	31 Sa. Ma. Angeles	Sa. Ma. Angeles
4 Bolaños	Bolaños	18 La Cuña	Yahualica	32 Santa Rosa	Amatitán
5 Calera	Teocaltiche	19 Lagos de M.	Lagos de M.	33 Tacotán	Unión de Tula
6 Chapala	Chapala	20 La Vega	Teuchitlán	34 Tapalpa	Tapalpa
7 Cihuatlán	Cihuatlán	21 Mascota	Mascota	35 Tecolotlán	Tecolotlán
8 Colotlán	Colotlán	22 Mexxicacán	Mexxicacán	36 Teocaltiche	Teocaltiche
9 Cuixtla	Sn. Cristóbal B.	23 Ojuelos	Ojuelos	37 Tomatlán	Tomatlán
10 Cuquío	Cuquío	24 Palo Verde	Zapotlanejo	38 Tototlán	Tototlán
11 Ejutla	Ejutla	25 Poncitlán	Poncitlán	39 Unión de Tula	Unión de Tula
12 El Nogal	Tapalpa	26 Quito	Tuxpan	40 Villa Guerrero	Villa Guerrero
13 Huejuquilla	Huejuquilla A.	27 Quitupan	Quitupan	41 Villa Obregón	Villa Obregón
14 Huerta Vieja	Ixtlahuacán M.	28 San Bernardo	Teocaltiche	42 Yahualica	Yahualica

Figura 1. Distribución geográfica de las estaciones meteorológicas estudiadas (Edo. de Jalisco).

para lo cual se utilizó una adecuación de la ecuación propuesta por López *et al.*, (1989). De esta forma:

$$ETP = 57.5 + 0.99 ETPT_h \quad (1)$$

Donde  $ETPT_h$  es la ETP estimada con el método de Thornthwaite y la constante 57.5 es válida principalmente para los meses del temporal de lluvias. La  $ETPT_h$  se calculó de acuerdo con Martelo (1997) de la siguiente manera:

$$ETPT_h = 1.6 (10T/I)^a \quad (2)$$

En donde T es la temperatura media mensual (°C), I es un índice térmico que se calcula como:

$$I = \sum_{i=1}^{12} (T/5)^{1.514} \quad y, \quad (3)$$

el término "a" es un exponente que se estimó a partir de:

$$a = 6.75 \times 10^{-7} I^3 - 7.71 \times 10^{-5} I^2 + 1.792 \times 10^{-2} I + 0.4924 \quad (4)$$

Dado que a temperaturas medias mensuales superiores a 26°C la estimación de la ETP por el método de Thornthwaite presenta sesgos considerables, para estos casos la ETP se estimó de acuerdo con Martelo (1997), con la ecuación siguiente:

$$ETP = 0.773836T - 6.923849 \quad (5)$$

Para el cálculo de la EC se utilizaron valores de precipitación mensual a un 70% de probabilidad (probabilidad de excedencia). Previamente se probó el ajuste

de las distribuciones estadísticas Gama Incompleta (2 parámetros), Galton (Log-Normal) y Normal para el cálculo de probabilidades. Esta prueba, así como el cálculo de probabilidades una vez seleccionada la distribución de mejor ajuste, se realizó mediante el sistema de cómputo SICA 2.0 (Medina y Ruiz, 1992). Este programa realiza la prueba de ajuste utilizando el estadístico de Smirnov (Ortiz, 1982).

Una vez obtenidos los valores de precipitación y ETP mensuales, se calcularon IEC, FEC y DEC para los períodos A y B. De esta forma se caracterizó la EC por disponibilidad de humedad. Con frecuencia, en regiones con invierno definido, la EC también debe cuantificarse por disponibilidad de temperatura, en donde es necesario calcular principalmente el período libre de heladas para analizar si la EC por disponibilidad de humedad no se ve interrumpida por la presencia de heladas otoñales. En el presente estudio se consideró que ninguna de las estaciones bajo análisis corresponde a este caso, de acuerdo a como fue informado por Villapando y García (1993) y Flores (1994). Dentro de la EC, otro factor importante por cuantificar es la disponibilidad de radiación solar, en este estudio no se incluyó por la falta de información al respecto.

Bajo los dos escenarios de tiempo (1947-71 y 1972-96), se caracterizó la capacidad térmica (CT) de la EC, la cual consiste en la cantidad de grados-día de desarrollo (GDD) acumulados durante este período. Los GDD representan una aproximación empírica de unidades de crecimiento como respuesta de la influencia de la temperatura. Su cálculo se realizó con el método residual:

$$\text{GDD} = T - T_b \quad (6)$$

Donde T es la temperatura media mensual para el período A o B y  $T_b$  es la temperatura base o umbral mínimo de desarrollo. Se utilizó una  $T_b$  de 10°C, la cual se considera típica para el cultivo del maíz (Cross y Zuber, 1972; Shaw, 1975; Cutforth y Shaykewich, 1989). En complemento, se realizó una caracterización de

los requerimientos térmicos (RT) para el período siembra-madurez fisiológica en los genotipos de maíz CAFIME, H-220, HV-313 y H-311, los cuales se consideraron representativos de los ciclos de madurez precoz, intermedio-precoz, intermedio e intermedio-tardío, respectivamente y constituyen la gama de precocidad que puede prosperar en el estado bajo sistemas de producción temporaleros (Ramírez, 1998<sup>1</sup>. Comunicación personal). La caracterización de los requerimientos térmicos se realizó en términos de GDD base 10 ( $T_b=10^{\circ}\text{C}$ ) utilizando datos fenológicos recabados en experimentos de campo entre 1981 y 1987 en la región Sur de Zacatecas y Altos de Jalisco.

Con el propósito de evaluar la aptitud de las áreas agrícolas del estado para el cultivo del maíz y cuantificar la dinámica de las áreas potenciales para este cultivo a través del tiempo, se digitalizó el mapa de áreas de uso agrícola elaborado por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) mediante el módulo Arc-Edit del SIG Arc-Info. Además se elaboró un mapa de la distribución geográfica de la acumulación de GDD durante la estación de crecimiento para cada período de tiempo, A y B, lo cual se hizo utilizando el módulo de interpolación del SIG IDRISI (Eastman, 1993). Con este mismo sistema se reclasificaron los mapas de GDD en función de los rangos de GDD para los cuatro ciclos de madurez de maíz mencionados con anterioridad. Los resultados de estas reclasificaciones mostraron las áreas potenciales para el cultivo de genotipos de maíz con un rango de madurez de precoz a intermedio-tardío. Finalmente, utilizando el SIG se calcularon las superficies correspondientes a dichas áreas potenciales.

---

<sup>1</sup>Dr. José Luis Ramírez Díaz. Investigador del programa de Mejoramiento Genético de Maíz. Campo Experimental Centro de Jalisco. Apdo. Postal No. 10. Tlajomulco 45640 Jalisco, México. Teléfonos y Fax (377) 2-4051 y 2-4176.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### *Probabilidades de lluvia*

Al analizar los datos de precipitación de las estaciones se encontró que la estación de crecimiento quedaba comprendida por lo general entre los meses de mayo y octubre y en algunos casos entre mayo y noviembre, de tal forma que el análisis de probabilidades de lluvia se realizó para los meses comprendidos entre mayo y noviembre. Mediante la prueba de Smirnov se obtuvo que para los meses de mayo y noviembre la distribución que mejor se ajustó a los datos de precipitación fue la gama incompleta, mientras que para los meses de junio, julio, agosto, septiembre y octubre, en términos generales fue la distribución galton. Con base en estas distribuciones se calculó la precipitación mensual al 70% de probabilidad. Los resultados de estos cálculos se presentan en el Cuadro 1; no se incluyen los resultados para los meses de mayo y noviembre por representar cantidades de precipitación poco significativas para la definición de la EC. Durante el análisis se determinó que los meses que mayormente determinaron el IEC fueron junio y julio y para el FEC fueron septiembre y octubre.

Como puede observarse en el Cuadro 1, al compararse los períodos A y B se determinaron variaciones importantes en la cantidad de precipitación. Como se anota al pie del Cuadro, durante los meses de junio, septiembre y octubre el número de casos en que la precipitación aumentó del período A al B fue de 14, 14 y 5 casos, respectivamente; de manera complementaria, en 28, 28 y 37 casos se registró un decremento señalando con esto que en el estado predomina actualmente una tendencia de disminución de la precipitación en estos meses, los cuales generalmente delimitan la estación de crecimiento. En contraparte, para los meses de julio y agosto se observó una tendencia de incremento de la precipitación, ya que en 27 y 25 de casos, de 42 posibles, se observó mayor precipitación en el período B con respecto al período A. Esto significa que la

Cuadro 1. Cantidad de precipitación en mm al 70% de probabilidad de ocurrencia para cinco meses del año durante los periodos 1947-1971 y 1972-1996 en 42 estaciones climatológicas de Jalisco, México.

Estación	Latitud N	milímetros de precipitación al 70% de probabilidad									
		1947 - 1971					1972 - 1996				
		JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT
Ajojúcar	21.42°	72	87	97	70	15	45	114	120	62	11
Atequiza	20.40°	145	200	134	109	9	114	182	148	113	15
Atoyac	20.01°	92	114	97	72	29	67	130	106	59	18
Bolaños	21.83°	55	97	82	55	14	70	130	125	71	11
Calera	20.47°	58	76	86	67	13	60	110	109	52	14
Chapala	20.29°	81	151	111	90	20	120	214	161	135	16
Cihuatlán	19.23°	42	86	130	152	39	42	104	140	113	35
Colotlán	22.12°	72	142	115	67	25	38	91	108	50	10
Cuixtla	21.05°	101	183	92	93	34	102	196	184	102	13
Cuquío	20.93°	95	187	158	122	22	97	170	144	99	14
Ejutla	19.91°	102	135	166	132	33	106	160	136	129	29
El Nogal	19.87°	105	107	107	83	53	112	132	81	72	32
Huejuquilla	22.63°	58	130	145	69	22	40	105	117	52	7
Huerta Vieja	20.42°	108	171	123	88	20	113	205	156	121	24
Jalostotitlán	21.18°	95	126	134	74	14	53	158	130	63	15
Jesús María	20.62°	100	164	130	104	33	68	162	141	92	30
Jocotepec	20.28°	97	144	82	75	15	94	176	128	58	12
La Cuña	21.00°	112	159	145	89	16	99	202	168	87	11
Lagos de M.	21.36°	68	78	80	51	21	39	105	95	74	12
La Vega	20.60°	136	194	148	122	38	152	206	146	109	14
Mascota	20.53°	134	231	181	133	66	117	192	184	130	28
Mexxicacán	21.26°	65	87	99	76	11	77	162	134	72	18
Ojuelos	21.87°	46	41	62	44	17	40	80	63	34	8
Palo Verde	20.64°	142	167	160	96	22	84	133	144	86	12
Poncitlán	20.38°	102	161	135	80	17	111	169	133	89	12
Quito	19.51°	114	170	153	137	35	101	138	119	126	26
Quitupan	19.93°	112	156	126	101	34	119	160	111	86	22
San Bernardo	21.63°	65	76	100	60	14	35	82	98	62	12
San Gregorio	20.62°	170	252	235	188	93	155	223	225	197	76
San Miguel A.	21.01°	66	129	126	83	28	66	159	127	74	15
S. M. Angeles	22.17°	58	111	108	64	18	55	102	118	65	12
Sta. Rosa	20.92°	108	203	188	117	29	90	221	196	102	17
Tacotán	20.03°	118	161	121	102	42	98	146	120	85	19
Tapalpa	19.95°	142	110	113	102	66	132	141	97	92	45
Tecolotlán	20.20°	132	135	82	72	39	131	144	119	78	23
Teocaltiche	21.41°	73	116	99	68	18	44	110	110	54	9
Tomatlán	19.94°	42	139	144	182	40	35	111	150	111	26
Tototlán	20.54°	125	172	150	89	26	79	193	149	92	14
Unión de Tula	19.96°	94	179	160	92	41	93	142	148	99	16
Villa Guerrero	21.98°	58	173	144	74	17	76	157	151	61	15
Villa Obregón	21.15°	57	128	82	41	8	67	143	124	63	4
Yahualica	21.19°	90	142	113	80	15	77	178	118	73	12

	F de incremento	F de decremento
Frecuencia de variación de la lluvia de junio:	0.33	0.67
Frecuencia de variación de la lluvia de julio:	0.64	0.36
Frecuencia de variación de la lluvia de agosto:	0.60	0.40
Frecuencia de variación de la lluvia de septiembre:	0.33	0.67
Frecuencia de variación de la lluvia de octubre:	0.12	0.88

Frecuencia =  $F = n/42$ , donde n = No. de estaciones con incremento o decremento, según el caso.

La localización municipal de cada estación se puede ver en el Cuadro 2.

precipitación en Jalisco tiende a concentrarse cada vez más hacia la parte central del temporal de lluvias (meses de julio y agosto) y menos hacia el inicio (junio) y terminación (octubre) de esta estación, lo cual proporciona condiciones más desfavorables en relación con los índices estatales de distribución de la lluvia. Este fenómeno es coincidente con signos de cambio climático que han sido informados con anterioridad, como inundaciones y sequías (Ogallo, 1994) y que repercuten directamente en la longitud de la estación de crecimiento regional (Williams y Balling, 1996). El incremento de la precipitación durante los meses de julio y agosto puede estar repercutiendo en el aumento del nivel erosivo de la precipitación en el estado, ya que como fue señalado por Sánchez (1988), la precipitación de los meses más lluviosos del año está correlacionada positiva y significativamente con los niveles de erosividad de la precipitación. Este incremento de la cantidad e intensidad de la precipitación en los meses más lluviosos, es de acuerdo con Clark *et al.*, (1988) una característica concordante con los cambios climáticos asociados a latitudes bajas y que puede tener importantes repercusiones en el incremento de la producción de sedimentos y erosión hídrica en países de América Latina (FAO, 1994).

### ***Estación de crecimiento***

El impacto que las variaciones de la precipitación probable tuvieron sobre la estación de crecimiento se puede observar en el Cuadro 2, en donde se describen los parámetros de la EC para los períodos A y B. De las 42 estaciones analizadas, la DEC se redujo en 32 casos, en nueve se incrementó y en una estación se mantuvo sin cambios. En promedio la DEC se redujo seis días, dos en la fecha de inicio de la estación de crecimiento y cuatro en la fecha de terminación del período de crecimiento. Esto señala que los cambios que han ocurrido en los patrones climáticos del estado, principalmente en la precipitación, han impactado negativamente en la disponibilidad de recursos agroclimáticos, como la estación de crecimiento. Llamamos la atención en el Cuadro 2, estaciones con reducción de la DEC de hasta 2 semanas o más; este es el caso de localidades como Atoyac,

Cuadro 2. Estación de crecimiento (EC) y su capacidad térmica (CT) en los periodos 1947-1971(A) y 1972-1996 (B) en 42 localidades de Jalisco, México.

Estación	Municipio	EC 1947-1971				EC 1972-1996				Diferencia (B)-(A)	
		IEC (fecha)	FEC (fecha)	DEC (días)	CT (GDD)	IEC (fecha)	FEC (fecha)	DEC (días)	CT (GDD)	DEC	CT
Ajojúcar	Teocaltiche	JUL 04	OCT 14	102	1050	JUL 13	OCT 11	90	889	-12	-161
Atequiza	Poncitlán	JUN 15	OCT 19	126	1464	JUN 21	OCT 21	122	1442	-04	-022
Atoyac	Atoyac	JUN 26	OCT 19	115	1294	JUL 05	OCT 09	96	1155	-19	-139
Bolaños	Bolaños	JUL 25	SEP 24	61	891	JUL 16	OCT 05	81	1306	20	415
Calera	Teocaltiche	JUL 24	OCT 13	81	796	JUL 07	OCT 08	93	843	12	47
Chapala	Chapala	JUN 28	OCT 20	114	1261	JUN 18	OCT 24	128	1355	14	94
Cihuatlán	Cihuatlán	JUL 25	OCT 22	89	1600	JUL 20	OCT 16	88	1616	-01	16
Colotlán	Colotlán	JUL 05	OCT 14	101	1160	JUL 21	OCT 04	75	839	-26	-321
Cuixtla	Sn. Cristóbal	JUN 28	OCT 17	111	1834	JUN 27	OCT 15	111	1766	0	-068
Cuquío	Cuquío	JUN 22	OCT 24	124	1210	JUN 23	OCT 20	119	1154	-05	-056
Ejutla	Ejutla	JUN 26	OCT 25	121	1692	JUN 26	OCT 24	120	1736	-01	44
El Nogal	Tapalpa	JUN 16	NOV 10	147	1158	JUN 16	OCT 26	132	1007	-15	-151
Huejuquilla	Huejuquilla	JUL 08	OCT 15	99	1216	JUL 16	OCT 04	80	819	-19	-397
Huerta Vieja	Ixtlahuacán M.	JUN 20	OCT 20	122	1328	JUN 21	OCT 24	125	1375	03	47
Jalostotitlán	Jalostotitlán	JUN 25	OCT 16	113	1182	JUL 06	OCT 13	99	950	-14	-232
Jesús María	Jesús María	JUN 18	OCT 28	132	1003	JUL 01	OCT 26	117	900	-15	-103
Jocotepec	Jocotepec	JUN 22	OCT 16	116	1164	JUN 23	OCT 10	109	1082	-07	-082
La Cuña	Yahualica	JUN 22	OCT 18	118	1440	JUN 22	OCT 16	113	1387	-05	-053
Lagos de M.	Lagos de M.	JUL 10	OCT 08	90	841	JUL 14	OCT 16	94	858	04	17
La Vega	Teuchitlán	JUN 19	OCT 27	130	1791	JUN 18	OCT 18	122	1696	-08	-095
Mascota	Mascota	JUN 18	NOV 09	144	1872	JUN 21	OCT 24	125	1650	-19	-222
Mexicacán	Mexicacán	JUL 10	OCT 16	98	938	JUN 29	OCT 17	110	1038	12	100
Ojuelos	Ojuelos	---	---	<sup>a</sup> 00	000	JUL 19	AGO 30	42	326	42	326
Palo Verde	Zapotlanejo	JUN 14	OCT 22	130	1276	JUN 27	OCT 18	113	1123	-17	-153
Poncitlán	Poncitlán	JUN 22	OCT 17	117	1340	JUN 20	OCT 18	120	1298	03	-042
Quito	Tuxpan	JUN 22	OCT 27	127	1695	JUN 25	OCT 23	120	1632	-07	-063
Quitupan	Quitupan	JUN 18	OCT 27	131	1386	JUN 18	OCT 20	124	1362	-07	-024
San Bernardo	Teocaltiche	JUL 21	OCT 10	81	837	JUL 24	OCT 11	79	771	-02	-066
San Gregorio	Gómez Farías	JUN 09	NOV 19	163	1130	JUN 11	NOV 17	159	1147	-04	17
San Miguel A.	San Miguel A.	JUL 03	OCT 23	112	1025	JUL 02	OCT 17	107	942	-05	-083
S. M. Angeles	Sta. Ma. A.	JUL 12	OCT 12	92	1058	JUL 14	OCT 12	90	950	-02	-108
Sta. Rosa	Amatitán	JUL 05	OCT 17	104	1782	JUL 07	OCT 13	98	1700	-06	-082
Tacotán	U. De Tula	JUN 21	OCT 28	129	1574	JUN 26	OCT 17	113	1364	-16	-210
Tapalpa	Tapalpa	JUN 10	NOV 14	157	1380	JUN 12	NOV 05	146	1028	-11	-352
Tecolotlán	Tecolotlán	JUN 21	OCT 18	119	1738	JUN 20	OCT 14	116	1646	-03	-092
Teocaltiche	Teocaltiche	JUL 03	OCT 14	103	1066	JUL 13	OCT 07	86	837	-17	-229
Tomatlán	Tomatlán	JUL 25	OCT 24	91	1691	JUL 27	OCT 12	77	1457	-14	-234
Tototlán	Tototlán	JUN 18	OCT 21	125	1351	JUN 29	OCT 18	111	1238	-14	-113
Unión de Tula	U. De Tula	JUN 26	OCT 26	122	1515	JUN 27	OCT 18	113	1420	-09	-095
Villa Guerrero	V. Guerrero	JUL 04	OCT 17	105	1033	JUN 30	OCT 12	104	1019	-01	-014
Villa Obregón	V. Obregón	JUL 07	SEP 28	83	868	JUL 04	OCT 10	98	1029	15	161
Yahualica	Yahualica	JUN 24	OCT 18	116	1043	JUN 28	OCT 16	110	904	-06	-139

Variación promedio del inicio de la estación de crecimiento (IEC) = - 2 días  
 Variación promedio del fin de la estación de crecimiento (FEC) = - 4 días  
 Variación promedio de la duración de la estación de crecimiento (DEC) = - 6 días  
 Variación promedio de la CT promedio = - 79 GDD

<sup>a</sup> Sin estación de crecimiento.

Nota: La latitud de la estación se puede ver en el Cuadro 1.



El Nogal, Huejuquilla, Jalostotitlán, Jesús María, Mascota, Palo Verde, Tacotán, Teocaltiche, Tomatlán y Tototlán, donde esta pérdida podría estar significando el cambio de variedades de siembra o incluso de patrones de cultivo. El valor más extremo de reducción de la DEC fue Colotlán, donde de 101 días se pasó a 75 días. Esto representa un severo impacto negativo sobre las posibilidades de practicar agricultura de temporal de bajo riesgo en esta región. Otro rasgo a considerar en la información del Cuadro 2 es que en 20 de las 42 estaciones analizadas, la DEC se redujo en 6 o más días; en estos casos es muy posible que los niveles potenciales de rendimiento de los cultivos tradicionales como el maíz estén siendo afectados por una culminación deficiente de la etapa de llenado de grano.

Con respecto a la distribución espacial de los parámetros de la estación de crecimiento, en la Figura 2 se pueden apreciar diferencias tanto en el IEC como el FEC y la DEC. Por ejemplo, las áreas con el IEC más temprano, esto es, entre el 1 y 15 de junio, se redujeron; sin embargo, en contraparte, la superficie con el IEC más tardío, después del 15 de julio, también disminuyó. Como se muestra en la Figura 2, los cambios de mayor impacto se dieron en el FEC, ya que como es visible las áreas con FEC después del 31 de octubre se redujeron considerablemente, tanto la que se ubica al Oeste como la que se localiza al sur del estado, alrededor de la Sierra de Tapalpa; esta última incluso casi desapareció en los últimos 25 años. Otro cambio que puede identificarse fácilmente, es el incremento de la región con FEC entre el 1 y 15 de octubre, sobre todo a costa de la región con FEC del 16 al 31 octubre, impactando principalmente a las zonas Centro y Costa del estado. En relación a la DEC, los rasgos más notorios en el mapa de la Figura 2 demuestran tendencias desfavorables para el estado de Jalisco, ya que los dos estratos con mayor DEC (>150 y 120-150 días) disminuyeron en superficie, mientras que los estratos más desfavorables, esto es 60-90 y 90-120 días, aumentaron. Como se muestra, las zonas más impactadas fueron la Centro, Altos-Sur, Costa y Sur de Jalisco. Un rasgo interesante en los mapas de la Figura 2, es la disminución e incluso desaparición de la zona sin

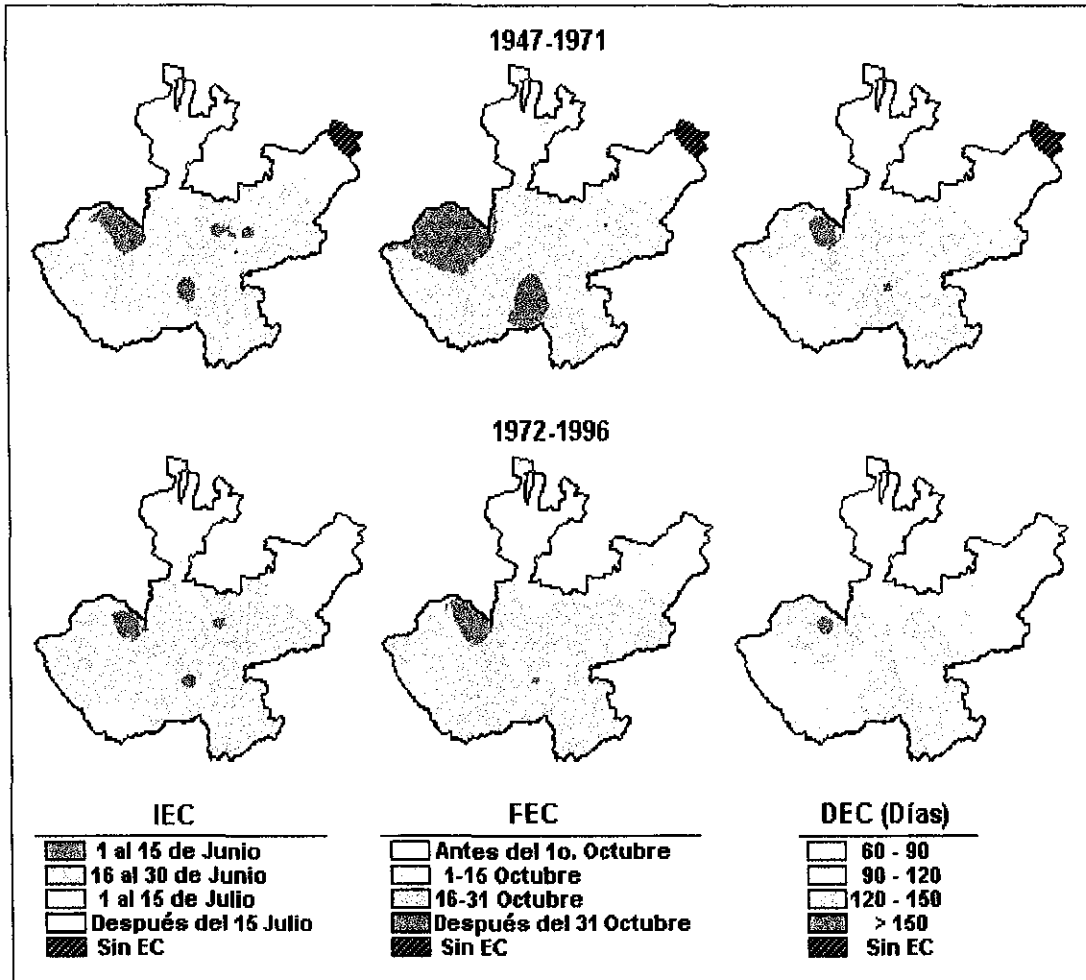


Figura 2. Parámetros de la estación de crecimiento bajo dos escenarios: 1947-1971 y 1972-1996.

estación de crecimiento, la cual se localizaba en la región Altos-Norte, principalmente alrededor de la localidad de Ojuelos. Durante el período 1972-1996, de acuerdo a los cálculos de la EC para dicha estación se detectó una EC de 42 días, lo cual no corresponde a los valores informados por Villapando y García (1993) y Flores (1994), quienes basados en series climáticas de 20-30 años, reportaron a esta localidad con una DEC de cero días. Sin embargo, estos resultados si son consistentes con las tendencias climáticas consignadas por Ruiz *et al.*, (1998a; 1998b) en las que se especifica que esta zona ha experimentado un incremento de la precipitación y disminución de la temperatura anuales,

factores que seguramente se han conjugado para la aparición de un período de crecimiento, que aunque muy reducido e inadecuado para la producción de cultivos, sí puede resultar favorable para el desarrollo de vegetación nativa o de nuevas especies que antes no tenían cabida en el ecosistema.

Como se indicó al final del Cuadro 2, las variaciones en los parámetros de la EC se reflejaron en la capacidad térmica de la EC, ya que la acumulación de GDD disminuyó en promedio 79 unidades. No obstante, este valor promedio no refleja el verdadero impacto que se registró en ciertas localidades, donde las diferencias de CT entre los períodos A y B fueron considerables. Tal es el caso de estaciones como Colotlán, Huejuquilla, Tapalpa y Mascota, en donde se cuantificaron algunos de los mayores decrementos en la CT de la EC. Estos decrementos, como se puede observar en el Cuadro 2, guardan una estrecha relación con decrementos en la DEC; sin embargo, en el caso de las primeras tres localidades, también tienen relación con una tendencia de enfriamiento identificada por Ruiz *et al.*, (1998b); no así para la localidad de Mascota, en la que las tendencias de cambio climático durante los últimos 50 años se relacionan con un aumento de la temperatura y una disminución de la precipitación (Ruiz *et al.*, 1998a).

Dentro de las nueve estaciones en las que se detectó un incremento de la DEC durante el período 1972-1996 (Cuadro 2), las localidades que presentaron un mayor incremento de la CT fueron Bolaños, Ojuelos, Villa Obregón y Mexxicacán con 415, 326, 161 y 100 GDD, respectivamente. Todos estos incrementos en GDD acumulados obedecen principalmente al aumento de la DEC por incremento de la precipitación y no a un incremento de temperatura, ya que mientras las tres primeras estaciones han registrado una tendencia de enfriamiento durante 1947-1996, Villa Obregón es una localidad sin cambio térmico significativo (Ruiz *et al.*, 1998b). Otro caso de incremento de la CT de la EC, es la localidad de Calera, sin embargo, este aumento no fue tan considerable, ya que aun cuando la DEC se prolongó 12 días, la CT únicamente aumentó en 47 GDD. Esto puede deberse a

que Calera es una de las localidades en las que se ha registrado una de las mayores tasas de enfriamiento en todo el estado,  $-0.20^{\circ}\text{C}/\text{década}$  entre 1947 y 1996 (Ruiz *et al.*, 1998b). Cabe señalar que las diferencias de pérdida o ganancia de GDD acumulados entre estaciones se deben por un lado, a la magnitud del cambio en la DEC y por otro lado a la diferente tasa de acumulación diaria de GDD que tienen las estaciones dependiendo de su régimen térmico, normalmente gobernado por la latitud y altitud de la localidad.

En el Cuadro 3 se incluyen los resultados obtenidos de la caracterización de los requerimientos térmicos de los genotipos de maíz evaluados. Los datos que se muestran representan los valores promedio del requerimiento térmico (RT) para el período siembra-madurez fisiológica, tomando en cuenta un número determinado de ambientes de cultivo, los cuales fueron predominantemente bajo condiciones de temporal. Esto quiere decir que el RT puede variar y tener un valor diferente al que se describe en el Cuadro 3, bajo la presencia de factores ambientales que influyen en la fenología del cultivo, tales como sequía, nivel de fertilidad en el suelo, fecha de siembra (fotoperíodo), salinidad y densidad de siembra, principalmente (Robertson, 1983).

Cuadro 3. Requerimientos térmicos promedio para el período siembra-madurez fisiológica en cuatro genotipos de maíz.

Genotipo	Requerimiento térmico (GDD)	Ambientes evaluados		Ciclo de Madurez
		(n)	Rango térmico	
CAFIME	1000	17	17-23°C	Precoz
H-220	1156	17	17-23°C	Intermedio-Precoz
HV-313	1220	13	17-23°C	Intermedio
H-311	1285	17	17-23°C	Intermedio-Tardío

### ***Áreas potenciales para el cultivo del maíz***

Al conjugar los RT de los diferentes tipos de maíz que se pueden adaptar al estado (de acuerdo al ciclo de madurez) con las disponibilidades térmicas (CT de la EC) de las áreas agrícolas del estado durante 1947-71 y 1972-96, se obtuvieron las áreas potenciales de maíz para estos dos escenarios de tiempo (Figura 3). Los datos contenidos en esta figura representan una evaluación indirecta pero objetiva del impacto de las variaciones climáticas sobre los parámetros agroclimáticos y las posibilidades agrícolas del estado. A este respecto, inicialmente puede señalarse la variación del área agrícola no apta para maíz, la cual se incrementó en un 274%, al pasar de 183,384 ha en el período 1947-71 a 503,334 ha en el período 1972-96. Esta variación tuvo lugar principalmente en la región de Los Altos. Como puede observarse también en dicha figura, las áreas potenciales para los cuatro ciclos de madurez estudiados fueron consideradas excluyentes entre sí, aunque estrictamente no lo son, ya que **maíces precoces, intermedios o intermedio-precoces**, por ejemplo, podrían también ser cultivados en áreas potenciales para genotipos **intermedio-tardíos**. Sin embargo, se consideraron excluyentes, pensando en un enfoque de optimización del recurso disponible, esto es, no pensar en la siembra de genotipos de ciclo de madurez significativamente inferior a la duración de la estación de crecimiento y su capacidad térmica. De esta forma, al analizar la Figura 3, en primer término se muestra que la distribución de áreas potenciales para el cultivo de **maíces intermedio-tardíos** se redujo un 24% al variar de 1'018,899 ha a 771,849 ha; las áreas más afectadas se localizaron al sur de la región de los Altos, alrededores de la Ciénega de Chapala y Sur del estado, en áreas cercanas a la Sierra de Tapalpa. Esta variación tiene gran importancia, si se considera que los genotipos intermedio-tardíos son los más rendidores en el estado, por lo tanto la reducción de la superficie apta para su cultivo, representa un impacto directo sobre el potencial productivo de maíz del estado. Con respecto al **maíz de ciclo intermedio**, la superficie potencial se

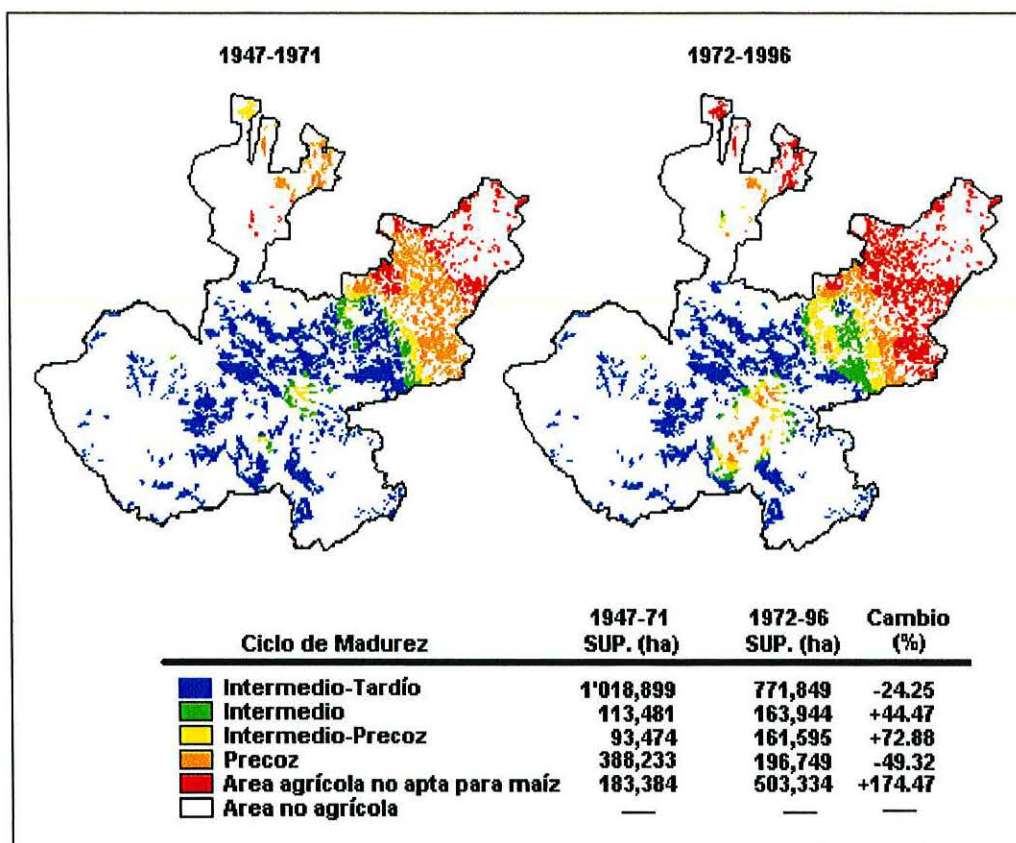


Figura 3. Areas potenciales para maíz en Jalisco bajo dos escenarios de tiempo.

incrementó en 44%, sobre todo a partir de áreas que dejaron de ser aptas para maíces de ciclo intermedio-tardío. Este aspecto fue muy visible al sur de la región de los Altos y en la Ciénega de Chapala. La superficie potencial para maíz de ciclo intermedio-precoc, también se incrementó, pero en este caso, en un 73% al pasar de 93,474 ha a 161,595 ha. Estos incrementos tuvieron lugar principalmente en la región Sur del estado y la región Altos-Sur. En tanto, la superficie potencial para el cultivo de maíces precoces se redujo en 49% al pasar de 388,233 ha en 1947-71 a 196,749 ha en 1972-96. Esta reducción es importante ya que indica que en la actualidad, el maíz ha dejado de ser una opción de cultivo para gran parte del área agrícola de las regiones Altos-Centro y Altos-Norte. En la Figura 3, también pueden identificarse variaciones bruscas en el potencial para producir maíz. Tal es el caso de la región Sur, en donde se detectaron zonas que en 1947-71 tenían aptitud para el cultivo de maíces de ciclo intermedio-tardío y

en 1972-96 presentaron aptitud para maíces de ciclo **intermedio-precoc**; este tipo de variación implica una fuerte reducción del potencial productivo del maíz en esas áreas. Otro aspecto que debe mencionarse, es la presencia de zonas en las que no se detectaron variaciones considerables en la aptitud para el cultivo del maíz. Esto se produjo principalmente en zonas distribuidas en la porción Centro-Oeste del estado.

De acuerdo con este análisis, se puede deducir que la superficie potencial para maíz en el estado sigue siendo mayoritariamente apta para genotipos de ciclo **intermedio-tardío**, pero con una tendencia a disminuir a costa de un incremento de la superficie apta para maíces de ciclo **intermedio** e **intermedio-precoc**. Por lo anterior, con base en los resultados encontrados es muy importante que los programas de mejoramiento genético de maíz en el futuro, incrementen sus esfuerzos al desarrollo de variedades mejoradas con mayor precocidad, pero buscando que tengan un alto índice de cosecha para compensar la reducción del ciclo con la producción de grano, ya que de otra forma se podría incrementar el déficit actual de maíz que se tiene en México. También es importante para aquellas áreas en donde el maíz deje de ser una opción de cultivo, que los investigadores definan cultivos potenciales y los tomadores de decisiones elaboren programas de desarrollo agropecuario acordes al nuevo patrón de cultivos. Por último, no deben descartarse como opciones productivas, la optimización de las prácticas de manejo del cultivo y la manipulación del microclima de la parcela de producción para tratar de prolongar la estación de crecimiento.

## CONCLUSIONES

- 1) En términos de probabilidades de lluvia, el estado presenta en forma general una tendencia de disminución de precipitación al inicio (junio) y terminación (septiembre y octubre) de la estación de lluvias y una tendencia de incremento de la precipitación a mediados del temporal (julio y agosto).
- 2) La disminución de la precipitación al inicio y final de la estación de lluvias ha repercutido en una reducción de la estación de crecimiento en la mayor parte del estado mayormente como resultado de un adelanto de la fecha de finalización de la estación de crecimiento.
- 3) La reducción de la estación de crecimiento aunada a las variaciones térmicas que han tenido lugar en diversas regiones del estado, han producido de manera general una disminución de la capacidad térmica de la estación de crecimiento.
- 4) La disminución de la capacidad térmica de la estación de crecimiento redujo en un 24 y 49% la superficie apta para el cultivo de maíces de ciclo intermedio-tardío y precoz, respectivamente; mientras que incrementó en un 44 y 73% la superficie apta para el cultivo de genotipos de ciclo intermedio e intermedio-precoz, respectivamente.
- 5) La información anterior señala la necesidad actual y futura de incrementar el nivel de precocidad de los genotipos de siembra, pero buscando que tengan un alto índice de cosecha para compensar la reducción del ciclo con la producción de grano.
- 6) Durante el período 1972-1996, la región Altos-Norte registró una DEC de 40 a 60 días, con lo que desapareció la zona considerada sin estación de



crecimiento en el estado. Esta EC puede no tener significancia para la práctica de agricultura pero sí para el desarrollo de especies no cultivadas.

## LITERATURA CITADA

- Biscoe, P.V. and J.N. Gallagher. 1977. Weather, dry matter production and yield. *In: Environmental effects on crop physiology* (Landsberg, J.J. and C.V. Cutting, Eds.). Academic Press. Londres. 388 p.
- Brinkmann, W.A.R. 1979. Growing season length as an indicator of climatic variations? *Climatic Change*, 2:127-138.
- Carter, T.R. and N.T. Konijn. 1988. The choice of first order impact models for semi-arid regions. *In: The impact of climatic variations on agriculture. Volume II: Assessment in semi-arid regions.* M.L. Parry, T.R. Carter and T. Konijn Editors. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers: 61-83.
- Chang, J.H. 1968. *Climate and agriculture. An ecological survey.* Aldine Publishing Co. Chicago, U.S.A. 304 p.
- Clark, W.C., G.T. Goodman, J. Jaeger, M. Oppenheimer, and G.M. Goodwell. 1988. Developing policies for responding to climatic change. WCIP-1. WMO/TD-No. 225.
- Cohen, Y. And J. Pastor. 1991. The responses of a forest model to serial correlations of global warming. *Ecology* (72):1161-1165.
- Cross, H.Z. and M.S. Zuber. 1972. Prediction of flowering dates in maize based on different methods of estimating thermal units. *Agron. J.* 64:351-355.
- Cutforth, H.W. and C.F. Shaykewich. 1989. Relationship of development rates of corn from planting to silking to air and soil temperature and to accumulated thermal units in a prairie environment. *Can. J. Plant Sci.* 69:121-132.

- EPA. 1998. Global warming impacts: Implications for international agriculture. United States Environmental Protection Agency. The EPA Global Warming Site.
- FAO. 1978. Agroecological zones project. World soil resources. Report No. 48. Vol. 1, Africa. 158 p.
- FAO. 1994. Erosión de suelos en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Santiago de Chile. pp 8-11.
- Flores L., H. 1994. Análisis agroclimático del Noreste de Jalisco, para el manejo en la producción de maíz de temporal. Tesis de maestría en ciencias. Programa de Agrometeorología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 155 p.
- Hubbard, K.G. and F.J. Flores-Mendoza. 1995. Relating United States crop land use to natural resources and climate change. *Journal of Climate* 8(2):329-335.
- López E., J., L. Tijerina y L. Aceves. 1989. Determinación de la evapotranspiración potencial en el área de influencia de Montecillo haciendo uso de variables climáticas. *Memorias de la Segunda Reunión Nacional de Agroclimatología*. UACH. Chapingo, Méx. pp 345-354.
- Martelo, M.T. 1997. Cálculo de la evapotranspiración de referencia (Eto). *Técnicas agrometeorológicas en la agricultura operativa de América Latina*. Organización Meteorológica Mundial. Ginebra, Suiza. pp 1-20.
- Medina, G.G. y J.A. Ruiz C. 1992. SICA 2.0: Sistema de Información para Caracterizaciones Agroclimáticas. Guía de documentación y manual del

usuario. Tema didáctico Núm. 3. INIFAP-C.E. Zacatecas. Calera de V.R., Zac. 126 p.

Medina, G.G., J.A. Ruiz C. y R. Martínez P. 1998. Los climas de México. Una estratificación ambiental basada en el componente climático. Libro Técnico Núm. 1. INIFAP-CIRPAC. Guadalajara, Jal. 105 p.

Neild, R.E., H.N. Richman, and M.W. Seeley. 1979. Impacts of different types of temperature change on the growing season for maize. *Agricultural Meteorology*, 20:367-374.

Ogallo, L.J. 1994. Validity of the ENSO-related impacts in Eastern and Southern Africa. *In: Usable Science: Food security, early warning and El Niño*. UNEP and NCAR (Boulder, CO). Pp. 179-184.

Ortiz S., C.A. Agrometeorología. 1982. Universidad Aut. de Chapingo. Chapingo, Méx. 221 p.

León Z., S.A. y V.O. Palacios. 1977. Bondad de ajuste de algunas funciones probabilísticas a la distribución de la lluvia. *Agrociencia*, 27:51-64.

Robertson, G.W. 1983. Weather-based mathematical models for estimating development and ripening of crops. World Meteorological Organization. Technical Note No. 180. Geneva, Switzerland.

Ruiz C., J.A., F.J. Flores, J.J. Sánchez y J.L. Ramírez. 1998a. Variación temporal y espacial de la precipitación promedio anual en Jalisco. Artículo en revisión.

Ruiz C., J.A., F.J. Flores, J.J. Sánchez y J.L. Ramírez. 1998b. Variación temporal y espacial de la temperatura promedio anual en Jalisco. Artículo en revisión.

- Sánchez V., A. 1988. Isoerodetas del estado de Jalisco. Tesis de Licenciatura en Agronomía. Facultad de Agricultura. Universidad de Guadalajara. 34 p.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR). 1997. Estadísticas agrícolas anuales. Delegación de la SAGAR en el Estado de Jalisco. Subdelegación de Agricultura. Guadalajara, Jalisco.
- Shaw, R.H. 1975. Growing degree units for corn in the North Central region. North Central Regional Research Publication No. 229. Iowa State Univ. IWRBBR (581):793-808.
- Thompson, L.M. 1986. Climatic change, weather variability and corn production. Agron J. 78:649-653.
- Villalpando I., J.F. 1985. Métodos de investigación en agroclimatología. Documento de circulación interna. INIA. Zapopan, Jalisco. 183 p.
- Villalpando I., J.F. y E. García. 1993. Agroclimatología del Estado de Jalisco. Anexo cartográfico. Universidad de Guadalajara. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuaria. Laboratorio Bosque La Primavera. Guadalajara, Jal. 40 p.
- Williams, M.A. and R.C. Balling Jr. 1996. Interactions of desertification and climate. WMO-UNEP. Ed. Arnold. Great Britain. 270 p.
- Wolfe, D.W. 1996. Potential impact of climate change on agriculture and food supply. *In*: Sustainable development and global climate change conference. Cornell University. USA. 8 p.

## CONCLUSIONES GENERALES

De acuerdo con la información disponible, las metodologías utilizadas y los resultados obtenidos, se deducen las siguientes conclusiones:

- 1) Existen cambios térmicos significativos en la mayor parte del estado.
- 2) Estos cambios térmicos tienen dos tendencias: calentamiento y enfriamiento.
- 3) La magnitud de los cambios térmicos es del orden de  $+0.1$  a  $+1.0^{\circ}\text{C}$  para la tendencia de calentamiento y de  $-0.1$  a  $-1.0^{\circ}\text{C}$  para la tendencia de enfriamiento, presentándose variaciones regionales en ambos casos.
- 4) Las zonas mayor calentamiento se ubican en las zonas Oeste, Centro, Sureste y Altos Sur. Mientras tanto las zonas de mayor enfriamiento se distribuyen en la zona Norte, Altos, Sur y Ciénega de Chapala.
- 5) En la mayor parte del estado no se han registrado cambios significativos en la precipitación promedio anual.
- 6) Sólo en el 6.7% de la superficie estatal se han experimentado cambios significativos en la precipitación anual. De esta proporción, el 5.5% corresponde a áreas con disminución de la precipitación y el 1.2% a regiones con incremento de la lluvia anual.
- 7) Las variaciones de temperatura y precipitación durante los últimos 50 años se han conjugado y han dado como resultado una disminución de las disponibilidades agroclimáticas para la práctica de agricultura de temporal, principalmente debido a una reducción de la estación de crecimiento y su capacidad térmica, en la mayor parte del estado.

- 8) La reducción de la estación de crecimiento y su capacidad térmica ha impactado en la superficie potencial para el cultivo del maíz, afectando principalmente a las áreas aptas para maíces de ciclo intermedio-tardío, cuya superficie potencial se redujo en 24% durante el período 1972-1996.
  
- 9) En términos globales la superficie potencial de maíz se redujo en 319,950 ha (20%) durante el período 1972-1996 con respecto al período 1947-1971. Esto es las condiciones agroclimáticas del estado son hoy menos aptas que antes para el cultivo del maíz.