



Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas

ISSN: 2007-0934

revista\_atm@yahoo.com.mx

Instituto Nacional de Investigaciones

Forestales, Agrícolas y Pecuarias

México

Ruiz-Corral, José Ariel; Medina-García, Guillermo; Rodríguez-Moreno, Víctor Manuel;  
Sánchez-González, José de Jesús; Villavicencio García, Raymundo; Durán Puga, Noé;  
Grageda Grageda, José; García Romero, Giovanni Emmanuel

Regionalización del cambio climático en México \*

Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, núm. 13, enero-febrero, 2016, pp. 2451-2464

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Estado de México, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263144472001>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

## Regionalización del cambio climático en México\*

### Regionalization of climate change in Mexico

José Ariel Ruiz-Corral<sup>1§</sup>, Guillermo Medina-García<sup>2</sup>, Víctor Manuel Rodríguez-Moreno<sup>3</sup>, José de Jesús Sánchez-González<sup>4</sup>, Raymundo Villavicencio García<sup>4</sup>, Noé Durán Puga<sup>4</sup>, José Grageda Grageda<sup>5</sup> y Giovanni Emmanuel García Romero<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco-INIFAP. Carretera libre Tepatitlán-Lagos de Moreno, km 8, Tepatitlán, Jalisco, México. <sup>2</sup>Campo Experimental Zacatecas-INIFAP. Carretera Zacatecas-Fresnillo, km 24.5, Calera, Zacatecas, México. <sup>3</sup>Campo Experimental Pabellón- INIFAP. Carretera Aguascalientes-Zacatecas, km 32.5, Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, México. <sup>4</sup>Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias- Universidad de Guadalajara. Carretera Guadalajara-Nogales, km 15.5, Jalisco, México. <sup>5</sup>Campo Experimental Costa de Hermosillo- INIFAP. Blvd. del Bosque No. 7 Esq. Paseo de la Pradera, Col. Valle Verde, Hermosillo, Sonora.

§Autor de correspondencia: ruiz.ariel@inifap.gob.mx.

### Resumen

El objetivo de la presente investigación fue regionalizar patrones de cambio climático para la República Mexicana con base en valores de cambio térmico y pluvial de 708 celdas de tamaño  $0.5 \times 0.5^\circ$  de arco. Los valores de cambio térmico y pluvial se establecieron al restar la climatología año 2050 Rcp4.5 de la climatología de referencia 1961-2010, considerando las variables temperatura máxima media (Tx) temperatura mínima media (Ti), temperatura media (Tm), oscilación térmica (OT) y precipitación (P) de los periodos primavera-verano (PV, que abarcó de mayo a octubre), otoño-invierno (OI, que abarcó de noviembre a abril) y anual. La climatología año 2050 Rcp4.5 se derivó de un modelo ensamble a partir del valor de la mediana de 11 modelos de circulación general (MCG) reducidos en escala, calibrados y pertenecientes al inter-comparación de modelos acoplados fase 5 (CMIP5), reportados en la 5ª entrega del IPCC: BCC-CSM1-1, CCSM4, GISS-E2-R, HadGEM2-AO, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR, MIROC-ESM-CHEM, MIROC-ESM, MIROC5, MRI-CGCM3, NorESM1-M. Los valores de cambio térmico y pluvial de las 708 celdas se sometieron a un análisis multivariado que incluyó un análisis de agrupamiento (Método de Ward) y de componentes principales (ACP). Para estimar el número óptimo de grupos se usó la validación contenida en el programa Clustan Graphics V8, utilizando 200 repeticiones.

### Abstract

The objective of this research was to regionalize climate change patterns for Mexico based on values of thermal and precipitations change from 708 cells of  $0.5 \times 0.5^\circ$  arc. The values of thermal and precipitation changes were settled by subtracting the climatology 2050 Rcp4.5 from climatology reference 1961 to 2010, considering the variables mean maximum temperature (Tx), mean minimum temperature (Ti), mean temperature (Tm), thermal oscillation (OT) and precipitation (P) of the spring-summer period (PV, from May to October), autumn-winter (OI, from November to April) and annual. The climatology 2050 Rcp4.5 was derived from an assembly model from the median value of 11 general circulation models (MCG) reduced in scale, calibrated and belonging to the coupled model inter-comparison project phase 5 (CMIP5), reported in the 5<sup>th</sup> delivery from IPCC: BCC-CSM1-1, CCSM4, GISS-E2-R, HadGEM2-AO, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR, MIROC-ESM-CHEM, MIROC-ESM, MIROC5, MRI-CGCM3, NorESM1-M. The values of thermal and precipitation change from the 708 cells were subjected to a multivariate analysis including a cluster analysis (Ward method) and principal components (ACP). To estimate the optimal number of groups, contained validation was used in the Clustan Graphics V8 program, using 200 replications. Subsequently it conducted a

\* Recibido: noviembre de 2015  
Aceptado: febrero de 2016

Posteriormente, se llevó a cabo un análisis discriminante para minimizar clasificaciones erróneas en los agrupamientos de las 708 celdas. Este análisis se llevó a cabo con base en el sistema de análisis estadístico (SAS). Los resultados mostraron que la variación en los valores de cambio climático de la República Mexicana para el año 2050 puede ser explicada por dos componentes principales, los cuales en conjunto explican un poco más de 84% de la variación. El CP1 estuvo integrado por variables referidas a valores de cambio térmico y el CP2 por variables relacionadas con valores de cambio pluvial. En el análisis de agrupamiento se reportó la formación de 11 grupos de celdas con características de cambio climático estadísticamente distintas, las cuales incluyen desde niveles de enfriamiento somero ( $-1$  a  $0^{\circ}\text{C}$ ) a niveles de calentamiento severo ( $>3^{\circ}\text{C}$ ); niveles de humidificación muy somera ( $0$  a  $+10$  mm de precipitación estacional) a niveles de desecación severa ( $-300$  a  $-150$  mm de precipitación estacional); y, niveles de tropicalización muy somera ( $-0.5$  a  $0^{\circ}\text{C}$ ) a niveles de continentalización moderada ( $1$  a  $1.5^{\circ}\text{C}$ ). No obstante, que los resultados obtenidos representan una primera aproximación en esta temática, poseen un sustento estadístico robusto que permite utilizar el agrupamiento obtenido para fines de planeación agrícola.

**Palabras clave:** calentamiento global, carácter regional del cambio climático, taxonomía numérica.

## Introducción

El cambio climático posee un carácter regional, el cual ocasiona que los efectos de este fenómeno sobre los sistemas de producción agrícola sean diferenciados. El incremento de la temperatura y la precipitación causan diversas combinaciones que dan como resultado condiciones climáticas particulares o distintas, las cuales alteran de diferente manera el agroclima para los cultivos.

No obstante la incertidumbre inherente a los escenarios de cambio climático, producto de la aplicación de modelos de circulación global (IPCC, 2013), estos pueden ser utilizados para caracterizar las condiciones climáticas y agroclimáticas que el cambio climático trae consigo (Trnka *et al.*, 2011; Tian *et al.*, 2014), lo cual constituye un primer paso para conocer a mayor detalle los posibles efectos de este fenómeno en el sistema suelo-planta. Sin embargo, la generación de medidas de adaptación y mitigación requiere de información más precisa con relación a la localización de los tipos de cambio

discriminant analysis to minimize misclassifications in clusters from 708 cells. This analysis was conducted based on the statistical analysis system (SAS). The results showed that the variation in the values of climate change in Mexico for 2050 can be explained by two main components, which together account for just over 84% of the variation. CP1 was composed by variables related to thermal change values and CP2 by variables related to precipitation change values. In the cluster analysis the formation of 11 groups of cells with different statistical characteristics of climate change were reported, ranging from superficial cooling levels ( $-1$  to  $0^{\circ}\text{C}$ ) to severe warming levels ( $>3^{\circ}\text{C}$ ); superficial humidification levels ( $0$  to  $+10$  mm seasonal precipitation) to severe drying levels ( $-300$  to  $-150$  mm seasonal precipitation); and, very superficial levels of tropicalization ( $-0.5$  to  $0^{\circ}\text{C}$ ) to moderate levels of continentalization ( $1$  to  $1.5^{\circ}\text{C}$ ). However, the results represent a first approach in this topic; have a strong statistical support that allows using the clustering obtained for agricultural planning purposes.

**Keywords:** global warming, regional climate change, numerical taxonomy.

## Introduction

Climate change has a regional character, which causes that the effects of this phenomenon on agricultural production systems are differentiated. The increase of temperature and precipitation cause various combinations resulting on particular or different climatic conditions, which alter the agro-climate in different ways for crops.

Despite the inherent uncertainty of climate change scenarios, as result of the application of global circulation models (IPCC, 2013), these can be used to characterize climate and agro-climatic conditions that climate change brings (Trnka *et al.*, 2011; Tian *et al.*, 2014), which is a first step to know greater detail of the possible effects of this phenomenon in soil-plant system. However, the generation of adaptation and mitigation measures requires more precise information regarding the location of types of climate change that operate or will operate in different agro-ecological regions. That is, it requires a classification system of climate change which will facilitate and expedite the generation process and technology transfer. In this sense, numerical taxonomy can provide a good choice for discriminating areas that are statistically different from each other when considering change values in climatic variables.

climático que operan o que operarán en las distintas regiones agroecológicas del país. Esto es, se requiere de un sistema de clasificación del cambio climático que permita facilitar y hacer más eficiente el proceso de generación y transferencia de tecnología. En este sentido, la taxonomía numérica puede proveer una buena opción para discriminar áreas que estadísticamente sean diferentes entre sí al considerar valores de cambio en las variables climáticas.

Para realizar este tipo de análisis, es necesario contar con una matriz de datos de cambio climático, la cual se puede generar a partir de un sistema de información de cambio climático en ambiente Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Existen diversas fuentes de información con relación a los escenarios de cambio climático del S. XXI esperados para México. Magaña y Caetano (2007), propusieron escenarios de temperatura media y precipitación año por año para el período 2000-2099 con base en un ensamble de 10 modelos de circulación global (MCG). Cavazos *et al.* (2013) también ensamblaron 15 MCG trabajados por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) y derivaron para la República Mexicana las imágenes mensuales de temperatura y precipitación para los períodos 2015-2039 (futuro cercano) y 2075-2099 (futuro lejano).

Es aceptado que la modelación del cambio climático y los valores predichos de cambio térmico y pluvial para climatologías futuras, poseen aún un grado indeterminado de incertidumbre, por lo que no obstante que se han realizado mejoras continuas a los métodos y modelos de simulación del cambio climático, los niveles de calentamiento y variación de la precipitación deben tomarse con reserva. Sin embargo, dentro de este contexto, la utilidad de las simulaciones del clima futuro estriba en la identificación de tendencias que normen un criterio acerca de que es lo que nos espera en cuanto al clima para la agricultura y demás áreas de interés. En este sentido, el uso de consensos de modelos o de modelos ensamble es una estrategia eficaz para minimizar el riesgo de error en la demarcación de tendencias en los patrones térmico y pluvial de las diversas regiones del planeta.

En la presente investigación se trabajó con un ensamble de 11 MCG tomando como climatología de referencia el período 1961-2010. A partir de aquí el objetivo de este estudio en particular, fue discriminar áreas con patrones de cambio climático estadísticamente distinto con base

To perform this type of analysis, it is necessary to have a data matrix of climate change, which can be generated from a climate change information system on environment Geographic Information Systems (GIS).

There are several sources of information regarding climate change scenarios expected for the XXI century in Mexico. Magaña and Caetano (2007) proposed scenarios of average temperature and year per year precipitation for the period 2000-2099 based on an assembly of 10 global circulation models (MCG). Cavazos *et al.* (2013) also assembled 15 MCG worked by the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and derived for Mexico the monthly temperature and precipitation images for the period 2015-2039 (near future) and 2075-2099 (far future).

It is accepted that modeling climate change and the predicted values of temperature and rainfall change for future climatology, still possess an unspecified degree of uncertainty, so however it has been made continuous improvements to the methods and simulation models of climate change, the warming levels and changes in precipitation should be taken with reservation. However, within this context, the usefulness of future climate simulations lies in identifying trends that regulate criteria about what lies ahead in climate for agriculture and other areas of interest. In this sense, the use of consensus models or assembly models is an effective strategy to minimize the risk of error in the demarcation of trends in temperature and rainfall patterns in various regions of the world.

In this research it was worked with an assembly of 11 MCG taking as climatology reference the period 1961-2010. From here the objective of this particular study was to discriminate areas with statistically different climate change patterns based on temperature and rainfall change values for climatology 2050 and representative concentration pathway of greenhouse gases (Rcp) 4.5. To achieve this objective a multivariate analysis techniques were implemented to provide a statistical support to the results and thereby promote the reliability of a possible stratification scheme of climate change. The statistical approaches gradually gain prominence in the assessment of the impacts of climate change on agricultural production due to their ability to evaluate large and diverse groups of data quickly (Rozenzweig *et al.*, 2013).

en valores de cambio térmico y pluvial para la climatología año 2050 y la ruta representativa de concentración de gases efecto invernadero (Rcp) 4.5. Para lograr este objetivo se implementaron técnicas de análisis multivariado, para darle un sustento estadístico a los resultados y con ello promover la confiabilidad de un posible esquema de estratificación del cambio climático. Las aproximaciones estadísticas poco a poco ganan prominencia en la evaluación de los impactos del cambio climático sobre la producción agrícola debido a su habilidad de evaluar de una manera rápida grandes y diversos grupos de datos (Rozenzweig *et al.*, 2013).

## Materiales y métodos

### Sistema de información de cambio climático

Se integró un modelo ensamble a partir del valor de la mediana de 11 modelos de circulación general (MCG) reducidos en escala y calibrados (Walton *et al.*, 2013) y pertenecientes al CMIP5 (Intercomparación de Modelos Acoplados Fase 5) reportados en la 5ª entrega del IPCC: BCC-CSM1-1, CCSM4, GISS-E2-R, HadGEM2-AO, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR, MIROC-ESM-CHEM, MIROC-ESM, MIROC5, MRI-CGCM3, NorESM1-M. El ensamble se generó bajo las cuatro rutas representativas de concentración de gases efecto invernadero (Rcp), esto es las Rcp2.6, Rcp4.5, Rcp6.0 y Rcp8.5, y considerando dos climatologías: 2041-2060 y 2061-2080. En total se integraron ocho sistemas de información de cambio climático para la República Mexicana, tomando como base la climatología de referencia 1961-2010. Los sistemas de información de cambio climático están integrados por imágenes temáticas raster con una resolución de 30" arco, correspondientes a los valores mensuales de temperatura máxima (Tx), temperatura mínima (Ti) y precipitación (P).

Dado que originalmente las proyecciones de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación de los 11 MCG (con los que elaboró el ensamble) están referidas a la climatología 1950-2000 (Hijmans *et al.*, 2005) se procedió a obtener los valores de cambio térmico y cambio pluvial para las climatologías 2041-2060 y 2061-2080, con relación a la climatología de referencia; esto mediante la restas de las imágenes raster mensuales (2041-2060) - (1950-2000) y (2061-2080) - (1950-2000), las cuales se llevaron a cabo en el sistema Idrisi Selva. Las imágenes resultantes fueron sujetas a extracción de valores para una malla formada por

## Materials and methods

### Information System of climate change

An assembly model was integrated from the median value of 11 general circulation models (MCG) reduced scale and calibrated (Walton *et al.*, 2013) and belonging to CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Phase 5) reported on the 5<sup>th</sup> IPCC delivery: BCC-CSM1-1, CCSM4, GISS-E2-R, HadGEM2-AO, HadGEM2-ES, IPSL-CM5A-LR, MIROC-ESM-CHEM, MIROC-ESM, MIROC5, MRI-CGCM3, NorESM1-M. The assembly was generated under the four representative concentration pathways of greenhouse gases (Rcp), this are Rcp2.6, Rcp4.5, Rcp6.0 and Rcp8.5, and considering two climatologies: 2041-2060 and 2061-2080. In total eight information systems on climate change for Mexico were integrated, taking as base the climatology reference 1961-2010. Information systems of climate change are composed of thematic raster images with a resolution of 30" arc, corresponding to monthly values of maximum temperature (Tx), minimum temperature (Ti) and precipitation (P).

Since it originally projected maximum temperature, minimum temperature and precipitation of the 11 MCG (with which was developed the assemble) are referred to the climatology 1950-2000 (Hijmans *et al.*, 2005) proceeding to obtain the values of temperature change and precipitation change for 2041-2060 and 2061-2080, regarding to reference climatology; this by subtracting monthly raster images (2041-2060) - (1950-2000) and (2061-2080) - (1950-2000), which was made in Idrisi selva system. The resulting images were subjected to values extraction for a mesh formed by nodes at 30" arc. This procedure is performed using the ArcGIS system. The results of this operation were vectors of monthly values of temperature and rainfall change.

Such vectors are transformed into Excel files to calculate the median of 11 models corresponding to the value of monthly change in minimum temperature, maximum temperature and precipitation for the periods 2041-2060 and 2061-2080. The Excel matrices thus obtained of temperature and precipitation change were added algebraically to the monthly raster images of maximum temperature, minimum temperature and precipitation of the environmental information system from INIFAP corresponding to the climatology 1961-2010. The justification to use as



nodos a 30" de arco. Este procedimiento se realizó mediante el sistema ArcGis. Los resultados de esta operación fueron vectores de valores mensuales de cambio térmico y pluvial.

Dichos vectores se transformaron en archivos de hoja de cálculo Excel, para así calcular la mediana de los 11 modelos correspondiente al valor de cambio mensual en temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación para los períodos 2041-2060 y 2061-2080. Las matrices Excel así obtenidas de cambio térmico y pluvial se sumaron algebraicamente a las imágenes raster mensuales de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación del sistema de información ambiental del INIFAP correspondiente a la climatología 1961-2010. La justificación para utilizar como climatología de referencia 1961-2010 en lugar de la 1950-2000, radica en una representación más fiel de las condiciones de temperatura y precipitación del país por parte de las interpolaciones climáticas realizadas en el sistema de información ambiental del INIFAP. Este hecho, aunque no cuenta con evidencias documentadas, ha sido manifestado por investigadores expertos de la Red de Agrometeorología y Modelaje del INIFAP en diferentes regiones del país.

### **Identificación del carácter regional del cambio climático**

A partir de las variables básicas del sistema de información de cambio climático 2041-2060 Rcp4.5 se obtuvieron las imágenes estacionales período primavera-verano (PV) y período otoño-invierno (OI) y anuales de temperatura máxima, temperatura mínima, temperatura media (Tm), oscilación térmica (OT) (temperatura máxima-temperatura mínima) y precipitación. Estas imágenes estacionales y anuales se calcularon también para el período 1961-2010 y se transformaron a una resolución de  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ . Con el sistema Idrisi Selva se restaron las imágenes 2041-2060 Rcp4.5 de las imágenes de referencia 1961-2010; las imágenes resultantes fueron consideradas imágenes de valores de cambio climático; mediante el sistema ArcGis se extrajeron valores de cambio de Tx, Ti, Tm, OT y P para cada una de las celdas que componen el territorio mexicano. En total se extrajo una matriz de 708 puntos con 15 variables de cambio climático (Cuadro 1).

Con la matriz de 708 puntos y 15 variables de cambio climático, se llevaron a cabo análisis de agrupamiento y de componentes principales (ACP) para las variables climatológicas descritas en el Cuadro 1. Se realizó una estandarización a media cero y varianza 1, se calcularon distancias euclidianas cuadradas y se hizo el análisis de agrupamiento utilizando el método de incremento en la suma de cuadrados (Ward).

reference climatology 1961-2010 instead of 1950-2000, lies on a more accurate representation of the temperature and precipitation conditions of the country by weather interpolations made in the environmental information system from INIFAP. This fact, though does not count with documented evidence, has been shown by expert researchers from the Agro-meteorology and Modeling Network from INIFAP in different regions of the country.

### **Identification of regional climate change**

From the basic variables of the information system of climate change 2041-2060 Rcp4.5, seasonal images for spring-summer period (PV) and autumn-winter period (OI) and annual maximum temperature, minimum temperature, average temperature (Tm), thermal oscillation (OT) (maximum temperature - minimum temperature) and precipitation were obtained. These seasonal and annual images were also calculated for the period 1961-2010 and converted to a resolution of  $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ . With Idrisi Selva subtracted the images 2041-2060 Rcp4.5 from the reference images 1961 to 2010; the resulting images were considered images of climate change values; through ArcGIS the changing values of Tx, Ti, Tm, OT and P were extracted for each of the cells that make up the Mexican territory. In total an array of 708 points were extracted with 15 variables of climate change (Table 1).

With the array of 708 points and 15 variables of climate change, were conducted cluster and principal component analysis (ACP) for weather variables described in Table 1. Standardization to zero mean and variance 1 was conducted, calculating Squared Euclidean distance and cluster analysis using the method of increase in the sum of squares (Ward) was performed.

To estimate the optimal number of groups, the validation proposed by Wishart (2006) contained in Clustan V8 Graphics program, using 200 replications was used. In order to validate the classification is to find a structure in data and look for those partitions that express the maximum deviation from randomness. The method compares the clusters obtained from the original information with that generated from random permutation of data. Based on the biggest differences between the random clusters and real clusters it is carried out a t test and determines the optimal number of clusters.

**Cuadro 1. Variables involucradas en el análisis multivariado para la identificación de regiones con patrones diferentes de cambio climático.**

**Table 1. Variables involved in the multivariate analysis to identify regions with different patterns of climate change.**

| Variable | Descripción   |
|----------|---|
| vcTxPV   | Valor de cambio de la temperatura máxima media en el período primavera-verano (°C)      |
| vcTxOI   | Valor de cambio de la temperatura máxima media en el período otoño-invierno (°C)        |
| vcTxa    | Valor de cambio de la temperatura máxima media anual (°C)                               |
| vcTiPV   | Valor de cambio de la temperatura mínima media en el período primavera-verano (°C)      |
| vcTiOI   | Valor de cambio de la temperatura mínima media en el período otoño-invierno (°C)        |
| vcTia    | Valor de cambio de la temperatura mínima media anual (°C)                               |
| vcTmPV   | Valor de cambio de la temperatura media en el período primavera-verano (°C)             |
| vcTmOI   | Valor de cambio de la temperatura media en el período otoño-invierno (°C)               |
| vcTma    | Valor de cambio de la temperatura media anual (°C)                                      |
| vcOTPV   | Valor de cambio de la oscilación térmica promedio en el período primavera-verano (°C)   |
| vcOTOI   | Valor de cambio de la oscilación térmica promedio en el período otoño-invierno (°C)     |
| vcOTa    | Valor de cambio de la oscilación térmica promedio anual (°C)                            |
| vcPPV    | Valor de cambio de la precipitación acumulada media en el período primavera-verano (mm) |
| vcPOI    | Valor de cambio de la precipitación acumulada media en el período otoño-invierno (mm)   |
| vcPa     | Valor de cambio de la precipitación acumulada media anual (mm)                          |

Para estimar el número óptimo de grupos se usó la validación propuesta por Wishart (2006) contenida en el programa Clustan Graphics V8, utilizando 200 repeticiones. El objetivo de validar la clasificación es encontrar una estructura en los datos y buscar aquellas particiones que manifiesten la máxima desviación de aleatoriedad. El método compara el agrupamiento obtenido a partir de la información original con los de aquel generado por permutación aleatoria de los datos. Con base en las diferencias más grandes entre los agrupamientos aleatorios y los agrupamientos reales, se lleva a cabo una prueba de *t* y se determina el número óptimo de grupos.

Posteriormente, se llevó a cabo un análisis discriminante, este análisis asigna los diferentes puntos a uno o a varios grupos con base en los datos de cambio térmico y pluvial. Este método crea funciones discriminantes lineales que minimizan la probabilidad de clasificaciones erróneas; la función discriminante depende de los vectores de medias, matrices de varianzas y las porciones de las muestras que pertenecen a los grupos. Este análisis se llevó a cabo con base en el Sistema de Análisis Estadístico (SAS Institute Inc., 2014).

Similarmente, el análisis de componentes principales se realizó con la información descrita anteriormente usando el sistema de análisis estadístico (SAS Institute Inc., 2014). Los resultados se presentan en una gráfica que visualiza las relaciones entre los 708 puntos en que se evaluó el cambio climático.

Subsequently conducted a discriminant analysis, this analysis assigns different points to one or more groups based on temperature and precipitation change data. This method creates linear discriminant functions that minimize the probability of misclassification; discriminant function depends on the mean vectors, matrices of variances and portions of samples belonging to the clusters. This analysis was conducted based on the Statistical Analysis System (SAS Institute Inc., 2014).

Similarly, the principal component analysis was performed with the information described above using the Statistical Analysis System (SAS Institute Inc., 2014). The results are presented in a graph that displays the relationships between the 708 points in which climate change was evaluated.

## Results and discussion

### Statistical analysis

The results from cluster analysis for climate change data identified 11 groups based on the validation method of Clustan Graphics V8; due to a large number of points, it is not possible to present the results graphically as dendrogram. Based on clustering, it was conducted a discriminant analysis, which determined the variance-covariance matrices of the clusters that are not homogeneous, therefore the variance-covariance

Resultados y discusión

Análisis estadístico

Los resultados del análisis de agrupamiento para los datos de cambios climáticos identificaron 11 grupos con base en el método de validación de Clustan Graphics V8; debido a la gran cantidad de puntos, no es posible presentar los resultados como dendrograma de manera gráfica. Con base en el agrupamiento, se llevó a cabo el análisis discriminante, el que determinó que las matrices de varianzas covarianzas de los grupos no son homogéneas, por lo tanto, las matrices de varianzas covarianzas de cada grupo se usaron para derivar la función discriminante. Las probabilidades *aposteriori* indicaron que el grupo 1 presentó el mayor porcentaje de puntos mal clasificados con 28% y los grupos 5 y 6 con alrededor de 16% cada uno. Con base en la asignación del análisis discriminante se llevó a cabo el ACP y se graficaron los resultados en dos dimensiones (Figura 1).

Las relaciones entre los 708 puntos se resumen con base en el análisis de componentes principales. La primera dimensión contribuye a explicar 71.28%, la segunda 12.94% y la tercera 7.81% de la variación total, respectivamente (Cuadro 2).

Cuadro 2. Valores característicos y variables que explican los primeros tres componentes principales.  
Table 2. Characteristic values and variables that explain the first three principal components.

| Variable | CP1       | CP2       | CP3       |
|----------|-----------|-----------|-----------|
| PPV      | -0.037209 | 0.688813  | -0.105666 |
| POI      | -0.086161 | 0.158621  | 0.566803  |
| Pa       | -0.063491 | 0.696930  | 0.049666  |
| TxPV     | 0.303622  | 0.018525  | 0.060428  |
| TiPV     | 0.295457  | 0.015512  | 0.195964  |
| TmPV     | 0.301418  | 0.017212  | 0.124266  |
| OTPV     | 0.197733  | 0.021575  | -0.479366 |
| TxOI     | 0.304082  | 0.030861  | 0.018854  |
| TiOI     | 0.289461  | -0.008163 | 0.228852  |
| TmOI     | 0.301796  | 0.015737  | 0.102379  |
| OTOI     | 0.271026  | 0.083457  | -0.297535 |
| Txa      | 0.305321  | 0.023490  | 0.036997  |
| Tia      | 0.294854  | 0.003609  | 0.216893  |
| Tma      | 0.302920  | 0.014998  | 0.115599  |
| OTa      | 0.254989  | 0.065552  | -0.405343 |

El Componente 1 (CP1) involucra en mayor grado las variables de temperatura, esto es TxPV, TiPV, TmPV, TxOI, TiOI, TmOI, Txa, Tia, Tma, OTOI, OTa y OTPV, aunque esta última variable parece estar mejor representada fuera de

matrices from each group were used to derive the discriminant function. The *aposteriori* probability indicated that group 1 had the highest percentage of misclassified points with 28% and groups 5 and 6 with about 16% each. Based on the allocation of the discriminant analysis it was carried the ACP and the results were plotted in two dimensions (Figure 1).

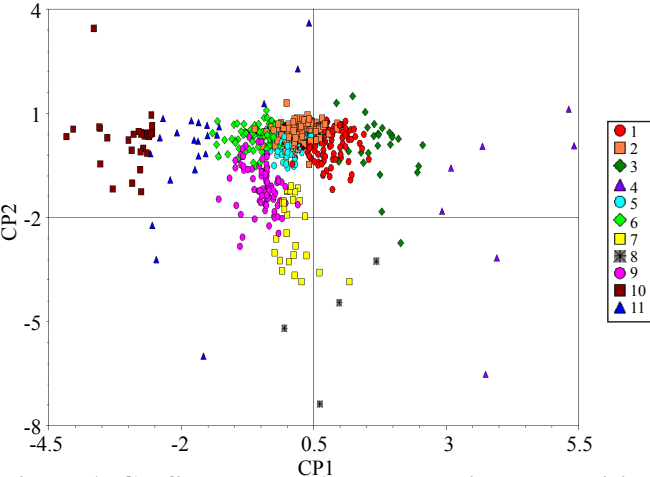


Figura 1. Gráfica de los primeros dos ejes del análisis de componentes principales. Los símbolos representan a los grupos descritos en el Cuadro 4.  
Figure 1. Graph of the first two axes of the principal components analysis. The symbols represent the clusters described in Table 4.

The relations between the 708 points are summarized based on principal component analysis. The first dimension helps to explain 71.28%, the second 12.94% and the third 7.81% of the total variation, respectively (Table 2).



los primeros 2 componentes principales. El Componente 2 (CP2) está explicado mayormente por las variables de precipitación, o sea Pa, PPV y POI; sin embargo, esta última variable tiene mayor peso en el componente 3 (CP3). La dimensión 1 permite diferenciar los Grupos 1, 3, 4, 6, 9, 10 y 11, mientras que la dimensión 2 separa los Grupos 7 y 8. Es importante mencionar, que el análisis de componentes principales detectó grupos de variables altamente correlacionadas, esto es dentro de las variables de temperatura, tanto las temperaturas máxima, mínima y media del período PV como del período OI correlacionan altamente con las temperaturas máxima, mínima y media anual. De igual forma, la temperatura máxima registró una correlación alta con la temperatura media, y, lo mismo ocurrió entre la temperatura mínima y la temperatura media de todos los períodos de análisis y entre la precipitación anual y la precipitación PV. De aquí que se decidió hacer la descripción de los grupos resultantes del análisis de agrupamiento con base solamente en las variables TmPV, TmOI, OTPV y OTOI del CP1 y, PPV y POI del CP2. Se seleccionaron variables estacionales (primavera-verano, otoño-invierno) en lugar de variables anuales, para detallar mejor las diferencias entre los grupos.

### Grupos o regiones de cambio climático

En el Cuadro 4 se pueden ver los 11 grupos resultantes con características propias de cambio climático, mientras que en la Figura 2, se puede apreciar la distribución espacial de dichos grupos.

### Cuadro 3. Categorías de cambio térmico, pluvial y de oscilación térmica para etiquetar grupos de celdas estadísticamente diferentes.

**Table 3. Temperature, precipitation and thermal oscillation categories to label statistically different cell clusters.**

| Categoría de cambio térmico   | Cambio térmico | Categoría de cambio de oscilación térmica | Cambio térmico |
|-------------------------------|----------------|---|----------------|
| Enfriamiento somero           | -1 a 0 °C      | Tropicalización somera                    | -1.0 a -0.5 °C |
| Calentamiento somero          | 0 a 1 °C       | Tropicalización muy somera                | -0.5 a 0 °C    |
| Calentamiento moderado        | 1 a 2 °C       | Continentalización muy somera             | 0 a 0.5 °C     |
| Calentamiento moderado-severo | 2 a 3 °C       | Continentalización somera                 | 0.5 a 1 °C     |
| Calentamiento severo          | >3 °C          | Continentalización moderada               | 1.0 a 1.5 °C   |
| Categoría de cambio pluvial   | Cambio pluvial |   |                |
| Humidificación muy somera     | 0 a +10 mm     |   |                |
| Desecación muy somera         | -10 a 0 mm     |   |                |
| Desecación somera             | -50 a -10 mm   |   |                |
| Desecación somera-moderada    | -100 a -50 mm  |   |                |
| Desecación moderada           | -150 a -100 mm |   |                |
| Desecación severa             | -300 a -150 mm |   |                |

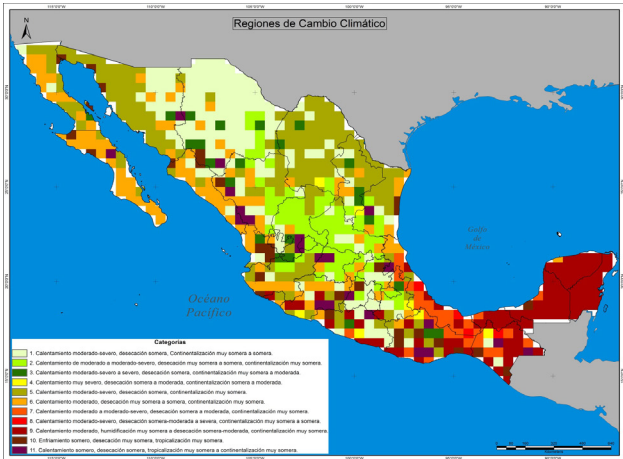
Component 1 (CP1) involves a greater degree of temperature variables, this is TxPV, TiPV, TmPV, TxOI, TiOI, TmOI, Txa, Tia, Tma, OTOI, OTa and OTPV, although the last variable appears to be better represented outside of the first two principal components. Component 2 (CP2) is explained mainly by the precipitation variables Pa, PPV and POI; however, the last variable has more weight in component 3 (CP3). Dimension 1 allows differentiating Clusters 1, 3, 4, 6, 9, 10 and 11, while dimension 2 separates Clusters 7 and 8. It is important to note that the principal component analysis found clusters of highly correlated variables; this is within temperature variables, both maximum and average temperatures of the PV period and the OI period highly correlate with maximum, minimum, and annual average temperature. Similarly, the maximum temperature recorded a high correlation with average temperature, and the same happened between minimum temperature and average temperature of all periods of analysis and between annual precipitation and PV precipitation. Hence it was decided to make the description of the resulting clusters from clustering analysis based solely on variables TmPV, TmOI, OTPV and Otoi from CP1 and, PPV and POI from CP2. Seasonal variables (spring-summer, autumn-winter) were selected instead of annual variables to better detail the differences between the clusters.

### Clusters or regions from climate change

Table 4 shows the 11 groups resulting with own characteristics of climate change, while Figure 2, shows the spatial distribution of these groups.

**Grupo 1: calentamiento moderado-severo, desecación somera, continentalización muy somera a somera.**

De acuerdo con las celdas que integran el grupo o región 1 las características que integran el cambio climático del año 2050 son las siguientes: un incremento de la temperatura media PV y OI de 2 a 3 °C; un incremento de la oscilación térmica (OT) PV de 0 a 0.5 °C y de OI de 0.5 a 1 °C; una pérdida de 10 a 50 mm de lluvia tanto en el período PV como OI. Su distribución en la República Mexicana se localiza principalmente en el noroeste, en los estados de Chihuahua y Sonora, aunque también se aprecia presencia de manera más atomizada en otras regiones del país como Baja California, Coahuila, Durango, Sinaloa, Nayarit, San Luis Potosí, Tamaulipas, Nuevo León, Jalisco, Michoacán, Guerrero, Estado de México, Morelos, Distrito Federal, Hidalgo, Querétaro, Puebla, Oaxaca y Chiapas (Figura 2).



**Figura 2. Distribución espacial de tipos de cambio climático para el año 2050 Rep4.5.**  
**Figure 2. Spatial distribution of climate change types for year 2050 Rep 4.5.**

**Cuadro 4. Grupos o regiones de cambio climático en México con base en valores de cambio térmico, pluvial y de oscilación térmica en dos períodos del año.**

**Table 4. Groups or regions of climate change in Mexico based on change values of temperature, precipitation and thermal oscillation over two periods of the year.**

| Grupo | Tm PV (°C) | Tm OI (°C) | PPV (mm)    | POI (mm)   | OT PV (°C) | OTOI (°C) |
|-------|------------|------------|-------------|------------|------------|-----------|
| G1    | 2 a 3      | 2 a 3      | -50 a -10   | -50 a -10  | 0 a 0.5    | 0.5 a 1   |
| G2    | 2 a 3      | 1 a 2      | -50 a -10   | -10 a 0    | 0 a 0.5    | 0 a 0.5   |
| G3    | 3 a 4      | 2 a 3      | -50 a -10   | -50 a -10  | 0 a 0.5    | 1 a 1.5   |
| G4    | 5 a 5.5    | 4 a 5      | -150 a -100 | -50 a -10  | 0.5 a 1    | 1 a 1.5   |
| G5    | 2 a 3      | 2 a 3      | -50 a -10   | -50 a -10  | 0 a 0.5    | 0 a 0.5   |
| G6    | 1 a 2      | 1 a 2      | -10 a 0     | -50 a -10  | 0 a 0.5    | 0 a 0.5   |
| G7    | 2 a 3      | 1 a 2      | -150 a -100 | -50 a -10  | 0 a 0.5    | 0 a 0.5   |
| G8    | 2 a 3      | 2 a 3      | -300 a -150 | -100 a -50 | 0 a 0.5    | 0.5 a 1   |
| G9    | 1 a 2      | 1 a 2      | -100 a -50  | 0 a +10    | 0 a 0.5    | 0 a 0.5   |
| G10   | -1 a 0     | -1 a 0     | -10 a 0     | -10 a 0    | -0.5 a 0   | -0.5 a 0  |
| G11   | 0 a 1      | 0 a 1      | -50 a -10   | -50 a -10  | 0 a 0.5    | -0.5 a 0  |

**Grupo 2: calentamiento moderado a moderado-severo, desecación muy somera a somera, continentalización muy somera.**

Las celdas de este grupo se caracterizan por un incremento de temperatura media PV de 2 a 3 °C, mientras que en OI el incremento es de 1 a 2 °C. El incremento en OT tanto de PV como de OI va de 0 a 0.5 °C y, se incluye un decremento de 10 a 50 mm para la precipitación PV, y de 0 a 10 mm para la precipitación OI. Las celdas pertenecientes a este grupo se

**Group 1: moderate to severe warming, superficial drying, very superficial to superficial continentalization.**

According to the cells that make up the group or region 1, the characteristics that make up climate change for year 2050 are: an increase in average temperature PV and OI of 2 to 3 °C; an increase of thermal oscillation (OT) PV of 0 to 0.5 °C and OI of 0.5 to 1 °C; a loss of 10 to 50 mm of rain both in the PV and OI period. Its distribution in Mexico is located mainly in the northwest, in the states of Chihuahua and Sonora,

distribuyen mayormente en la zona norte-centro del país, más pequeñas áreas de los estados de Puebla, Hidalgo y Jalisco (Figura 2).

**Grupo 3: calentamiento moderado-severo a severo, desecación somera, continentalización muy somera a moderada.**

Este grupo se caracteriza por un mayor incremento de temperatura en PV (3 a 4 °C) y un mayor incremento de la OT OI (1 a 1.5 °C). El resto de las características son similares a las de otros grupos, esto es, un incremento de 2 a 3 °C en OI, un incremento en la OT PV de 0 a 0.5 °C y una pérdida de precipitación de 10 a 50 mm tanto en PV como en OI. La presencia de este grupo es minoritaria y se distribuye en pequeñas áreas de Sonora, Chihuahua, Durango, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Nayarit, Jalisco, Puebla y Oaxaca (Figura 2).

**Grupo 4: calentamiento muy severo, desecación somera a moderada, continentalización somera a moderada.**

El carácter más distintivo de este grupo es una alta tasa de calentamiento tanto en PV (5 a 5.5 °C) como en OI (4 a 5 °C), así como un decremento de la precipitación superior a los 100 mm en PV (-150 a -100 mm). La pérdida de precipitación en OI es de 10 a 50 mm, mientras que la OT se incrementará de 0.5 a 1 °C en PV y de 1 a 1.5 °C en OI. Esta región tiene poca representación territorial, sólo está presente en pequeñas áreas en los estados de Coahuila, Michoacán, Nuevo León, Oaxaca, Guerrero, Puebla y Chiapas (Figura 2).

**Grupo 5: calentamiento moderado-severo, desecación somera, continentalización muy somera.**

Las celdas de este grupo poseen las mismas características promedio de cambio climático que las del Grupo 1, con excepción de la tasa de cambio de la OT del período OI, la cual va de 0 a 0.5 °C de incremento en el Grupo 5 y de 0.5 a 1.0 °C en el Grupo 1. La precipitación tanto en PV como en OI disminuirá para 2050 en 10 a 50 milímetros. Este tipo de cambio climático tiene una amplia distribución en extensas áreas de Sonora, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Baja California y Jalisco, más áreas de menor superficie en Baja California Sur, Sinaloa, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Veracruz (Figura 2).

although its presence is also seen in a more fragmented way in other regions such as Baja California, Coahuila, Durango, Sinaloa, Nayarit, San Luis Potosi, Tamaulipas, Nuevo Leon, Jalisco, Michoacan, Guerrero, State of Mexico, Morelos, Distrito Federal, Hidalgo, Queretaro, Puebla, Oaxaca and Chiapas (Figure 2).

**Group 2: moderate warming to moderate-severe, very superficial to superficial drying, very superficial continentalization.**

The cells of this group are characterized by an increased average temperature PV of 2 to 3 °C, while in OI the increase is 1 to 2 °C. The increase in OT both PV and OI goes from 0 to 0.5 °C and it includes a decrease of 10 to 50 mm for precipitation PV, and 0 to 10 mm for precipitation OI. The cells belonging to this group are distributed mainly in the north-central part of the country, plus smaller areas of the states of Puebla, Hidalgo and Jalisco (Figure 2).

**Group 3: moderate-severe to severe warming, superficial drought, very superficial to moderate continentalization.**

This group is characterized by a temperature increase in PV (3 to 4 °C) and a greater increase in OT OI (1 to 1.5 °C). The rest of the characteristics are similar to those from other groups, that is, an increase of 2 to 3 °C in OI, an increase in OT PV from 0 to 0.5 °C and a loss of precipitation of 10 to 50 mm both in PV and OI. The presence of this cluster is minority and it is distributed in small areas of Sonora, Chihuahua, Durango, Coahuila, Nuevo Leon, Tamaulipas, Nayarit, Jalisco, Puebla and Oaxaca (Figure 2).

**Group 4: very severe warming, superficial to moderate drying, superficial to moderate continentalization**

The most distinctive characteristic of this cluster is a high warming rate both PV (5 to 5.5 °C) and OI (4 to 5 °C), thus a decrease of precipitation above 100 mm in PV (-150 to -100 mm). Precipitation loss in OI is 10 to 50 mm, while OT will increase from 0.5 to 1 °C in PV and from 1 to 1.5 °C in OI. This region has little territorial representation; it is present only in small areas in the states of Coahuila, Michoacan, Nuevo Leon, Oaxaca, Guerrero, Puebla and Chiapas (Figure 2).

**Grupo 6: calentamiento moderado, desecación muy somera a somera, continentalización muy somera.**

Este grupo se diferencia de los anteriores en una menor tasa de calentamiento esperada para el año 2050 en los periodos PV y OI, ya que se ubica en el rango de 1 a 2 °C. La OT PV y OI se incrementará de 0 a 0.5 °C, mientras que la precipitación PV decrecerá de -10 a 0 mm y la precipitación OI disminuirá de entre 10 y 50 mm. Estas características de cambio climático están presentes principalmente en la Península de Baja California y Sinaloa, aunque de manera más atomizada se puede ver en los estados de Chihuahua, Sonora, Durango, Nayarit, Jalisco, Zacatecas, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Veracruz, Michoacán, Guerrero, Querétaro, Guanajuato, Estado de México, Oaxaca y Puebla (Figura 2).

**Grupo 7: calentamiento moderado a moderado-severo, desecación somera a moderada, continentalización muy somera.**

En esta región la tasa de calentamiento para 2050 será de 1 a 2 °C en OI y de 2 a 3 °C en PV. La OT tanto en PV como en OI es mínima (0 a 0.5 °C), mientras que la precipitación PV se reducirá de 100 a 150 mm y la precipitación OI disminuirá de 10 a 50 mm. La distribución espacial de este tipo de cambio climático se localiza en Veracruz y Chiapas, con poca presencia en Oaxaca, Tabasco y Campeche (Figura 2).

**Grupo 8: calentamiento moderado-severo, desecación somera-moderada a severa, continentalización muy somera a somera.**

El nivel de calentamiento es de 2 a 3 °C tanto en PV como en OI, mientras que la OT es de 0 a 0.5 °C en PV y 0.5 a 1 °C en OI. El nivel de pérdida de precipitación es el mayor de todas las regiones tanto en OI (-100 a -50 mm) como en PV (-300 a -150 mm). Esta condición de cambio climático es de muy poca representación territorial y solamente se puede apreciar en pequeñas áreas de Veracruz y Chiapas (Figura 2).

**Grupo 9: calentamiento moderado, humidificación muy somera a desecación somera-moderada, continentalización muy somera.**

Este es el único grupo en el que no se reportan pérdidas de precipitación en algún período, ya que en OI el cambio de precipitación establece una ganancia de 0 a 10 mm; no así para el período PV donde se espera una reducción de -100 a -50 mm. El nivel de calentamiento tanto en PV como OI es

**Group 5: Moderate to severe warming, superficial drying, and very superficial continentalization.**

The cells of this group have the same average characteristics of climate change than Group 1, with the exception of change rate of OT for the period OI, which ranges from 0 to 0.5 °C of increase in Group 5 and 0.5 to 1.0 °C in Group 1. The precipitation both in PV and OI will decrease by 10 to 50 millimeters in 2050. This type of climate change is widely distributed in large areas of Sonora, Coahuila, Nuevo Leon, Tamaulipas, Baja California and Jalisco, plus smaller surface areas in Baja California Sur, Sinaloa, Michoacan, Guerrero, Oaxaca and Veracruz (Figure 2).

**Group 6: moderate warming, very superficial to superficial drying, and very superficial continentalization.**

This cluster differs from previous ones in a lower warming rate expected for 2050 in PV and OI periods, as it is placed in the range 1 to 2 °C. OT PV and OI will increase from 0 to 0.5 °C, whereas precipitation PV will decrease from -10 to 0 mm and precipitation OI will decrease between 10 and 50 mm. These characteristics of climate change are mainly present in the Baja California and Sinaloa, although in a more fragmented way it can be seen in the states of Chihuahua, Sonora, Durango, Nayarit, Jalisco, Zacatecas, Coahuila, Nuevo Leon, Tamaulipas, San Luis Potosi, Veracruz, Michoacan, Guerrero, Queretaro, Guanajuato, State of Mexico, Oaxaca and Puebla (Figure 2).

**Group 7: moderate to moderate-severe warming, superficial to moderate drying, and very superficial continentalization.**

In this region the warming rate for 2050 will be 1 to 2 °C in OI and 2 to 3 °C in PV. OT both in PV and in OI is minimal (0 to 0.5 °C), while the precipitation PV will decrease from 100 to 150 mm and precipitation OI will decrease from 10 to 50 mm. The spatial distribution of these climate change types is found in Veracruz and Chiapas, with little presence in Oaxaca, Tabasco and Campeche (Figure 2).

**Group 8: moderate - severe warming, superficial - moderate to severe drying, and very superficial to superficial continentalization.**

The warming level is from 2 to 3 °C in both PV and OI, while OT is from 0 to 0.5 °C in PV and 0.5 to 1 °C in OI. The level of precipitation loss is the highest of all regions in both OI

somero, de 1 a 2 °C, mientras que la OT en ambos periodos es poco significativa (0 a 0.5 °C). La distribución de esta condición de cambio climático se concentra en Yucatán, Quintana Roo, Campeche, Tabasco, Chiapas y Oaxaca, con pequeñas áreas dispersas en Veracruz, Oaxaca, Michoacán, Puebla y Colima (Figura 2).

**Grupo 10: enfriamiento somero, desecación muy somera, tropicalización muy somera.**

Este grupo se distingue por ser el único con decremento de temperatura tanto en PV como en OI (-1 a 0 °C) y por una disminución en la OT tanto de PV como de OI (-0.5 a 0 °C). Los niveles de reducción de la precipitación también son los más bajos identificados en todos los grupos, esto es -10 a 0 mm en PV y OI. La representatividad de este tipo de cambio climático en términos de superficie es significativa, sin embargo su distribución espacial es muy dispersa, incluyendo pequeñas áreas de Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa, Chihuahua, Durango, Nayarit, Jalisco, Michoacán, Estado de México, Hidalgo, Tamaulipas, Guerrero, Oaxaca, Chiapas y Campeche (Figura 2).

**Grupo 11: calentamiento somero, desecación somera, tropicalización muy somera a continentalización muy somera.**

En este grupo se ubica la tasa de calentamiento más baja (0 a 1 °C) tanto en PV como en OI, con un incremento de la OT en PV muy bajo (0 a 0.5 °C) e incluso un decremento de la OT en OI (-0.5 a 0 °C). La tasa de pérdida de precipitación es similar a la de los Grupos 1, 3 y 5, esto es -50 a -10 mm, tanto en PV como en OI. Este grupo se encuentra distribuido a manera de pequeñas áreas en Sonora, Chihuahua, Durango, Sinaloa, Zacatecas, Aguascalientes, Jalisco, Guanajuato, Tamaulipas, Veracruz, Michoacán, Estado de México, Guerrero, Oaxaca y Chiapas (Figura 2).

## Conclusiones

Las técnicas de análisis multivariado permitieron identificar 11 grupos de celdas con características de cambio climático diferentes. Con base en dichos grupos se puede afirmar que la regionalización del cambio climático del año 2050 Rep4.5 está dada principalmente por características de cambio térmico y en segundo término por características de cambio pluvial.

(-100 to -50 mm) and PV (-300 to -150 mm). This condition of climate change is of little territorial representation and can be seen only in small areas of Veracruz and Chiapas (Figure 2).

**Group 9: moderate warming, very superficial humidification to superficial-moderate drying, very superficial continentalization.**

This is the only cluster in which there are no precipitation losses for any period, since in OI the change in precipitation sets a gain of 0 to 10 mm; not like this for the period PV where a reduction from -100 to -50 mm is expected. The warming level in both PV and OI is superficial, from 1 to 2 °C, while OT in both periods is insignificant (0 to 0.5 °C). The distribution of this condition of climate change concentrates in Yucatan, Quintana Roo, Campeche, Tabasco, Chiapas and Oaxaca, with small scattered areas in Veracruz, Oaxaca, Michoacan, Puebla and Colima (Figure 2).

**Group 10: superficial cooling, very superficial drying, and very superficial tropicalization**

This group is distinguished by being the only one with decrease in temperature in both PV and OI (-1 to 0 °C) and by a decrease of OT in both PV and OI (-0.5 to 0 °C). Reduced levels of precipitation are also the lowest identified in all clusters, this is -10 to 0 mm in PV and OI. The representativeness of this type of climate change in terms of area is significant, but their spatial distribution is very disperse, including small areas of Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa, Chihuahua, Durango, Nayarit, Jalisco, Michoacan, State of Mexico, Hidalgo, Tamaulipas, Guerrero, Oaxaca, Chiapas and Campeche (Figure 2).

**Group 11: superficial warming, superficial drying, very superficial tropicalization to very superficial continentalization.**

In this group locates the lowest warming rate (0 to 1 °C) in both PV and OI, with an increase of OT in PV very low (0 to 0.5 °C) and even a decrease of OT in OI (-0.5 to 0 °C). The precipitation loss rate is similar to that from Clusters 1, 3 and 5; this is -50 to -10 mm, in both PV and OI. This cluster is distributed in smaller areas in Sonora, Chihuahua, Durango, Sinaloa, Zacatecas, Aguascalientes, Jalisco, Guanajuato, Tamaulipas, Veracruz, Michoacan, State of Mexico, Guerrero, Oaxaca and Chiapas (Figure 2).



El cambio térmico se producirá tanto en el ciclo primavera-verano como en el ciclo otoño-invierno, siendo de valor similar en ambos periodos, aunque con tendencia a ser mayor en la temporada primavera-verano.

Dentro de los 11 grupos identificados, 10 señalaron incremento de la temperatura PV y OI, y disminución de la precipitación. Sólo en un grupo se encontraron valores de cambio térmico negativo (disminución de la temperatura) tanto en PV como en OI. De igual forma sólo se identificó un grupo con incremento de precipitación pero únicamente durante el ciclo OI.

El nivel predominante de cambio térmico en el ciclo PV será de 2-3 °C, mientras que en OI es de 1-2 °C. En tanto el nivel predominante de decremento de la precipitación será de -50 a -10 mm tanto en PV como en OI.

Los resultados obtenidos del presente estudio permiten identificar las diferentes manifestaciones regionales del cambio climático en México para el año 2050. Sin embargo, se sugiere mejorar la resolución del mapa sobre este tema para hacerlo más operativo.

## Agradecimientos

Este artículo es producto del proyecto INIFAP 1228033017: Cambio climático y su impacto sobre el rendimiento, producción y viabilidad del cultivo de maíz en las áreas agrícolas de México.

## Literatura citada

- Cavazos, T.; Salinas, J. A.; Martínez, B.; Colorado, G.; de Grau, P.; Prieto-González, R.; Conde-Álvarez, A.C.; Quintanar-Isaías, A.; Santana-Sepúlveda, J. S.; Romero-Centeno, R.; Maya-Magaña, M. E.; Rosario de La Cruz, J. G.; Ayala-Enríquez, M. del R.; Carrillo-Tlaczazantza, H.; Santiesteban, O. y Bravo, M. E. 2013. Actualización de escenarios de cambio climático para México como parte de los productos de la quinta comunicación nacional. Informe final del proyecto al INECC, 150 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2013. The physical science basis. Working group I contribution to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Summary for Policymakers. In: Stocker, T. F.; Dahe, Q.; Gian-Kasper, P.; Melinda, M. B.; Tignor, Simon, K. A.; Judith, B.; Alexander, N.; Yu, X.; Bex, V. and Midgley, M. P. (Eds.). Switzerland. 27 p.

## Conclusions

Multivariate analysis techniques allowed identifying 11 clusters of cells with different characteristics of climate change. Based on these clusters, it can be said that regionalization of climate change by year 2050 Rcp 4.5 is given mainly by thermal change characteristics and secondly by precipitation change characteristics.

Thermal change will occur in both spring-summer as in autumn-winter cycle, with similar values in both periods, although with upward trend during the spring-summer season. Within the 11 groups identified, 10 reported increasing temperature PV and OI, and decreased precipitation. Only in one cluster were found negative temperature change values (temperature decrease) in both PV and OI. Likewise, only one group was identified with increased precipitation but only during the OI cycle.

The predominant level of thermal change in the PV cycle will be 2-3 °C, while in OI is 1-2 °C. whereas the prevailing level of precipitation decrease will be from -50 to -10 mm both PV and OI.

The results obtained in this study allowed identifying the different regional manifestations of climate change in Mexico by 2050. However, it is suggested to improve the resolution of the map on this topic to make it operational.

*End of the English version*



- Magaña, V. y Caetano, E. 2007. Informe final del proyecto: pronóstico climático estacional regionalizado para la República Mexicana como elemento para la reducción de riesgo, para la identificación de opciones de adaptación al cambio climático y para la alimentación del sistema: cambio climático por estado y por sector. Núm. Proyecto INE/A1-006/2007. Universidad Autónoma de México (UNAM). México. 19 p.
- Rosenzweig, C.; Jones, J. W.; Hatfield, J. L.; Ruane, A. C.; Boote, K. J.; Thorburn, P.; Antle, J. M.; Nelson, G. C.; Porter, C.; Janssen, S.; Asseng, S.; Basso, B.; Ewert, F.; Wallach, D.; Baigorria, G. and Winter, J. M. 2013. The agricultural model intercomparison and improvement project (AgMIP): Protocols and pilot studies. *Agric. Forest Meteorol.* 170:166-182.
- SAS Institute Inc. 2014. SAS/STAT® 13.2 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.
- Tian, Z.; Yang, X.; Sun, L.; Fischer, G.; Liang, Z. and Pan, J. 2014. Agroclimatic conditions in China under climate change scenarios projected from regional climate models. *Int. J. Climatol.* 34:2988-3000, DOI: 10.1002/joc.3892.

- Trnka, M.; Olesen, K.E.; Kersebaums, K.C.; Kkjelvá, A.O.; Eitzinger, J.; Seguin, B.; Peltonen-Sainio, P.; Rotter, R.; Iglesias, A.; Orlandini, S.; Dubrovsky, M.; Hlavinka, P.; Balek, J.; Eckersten, H.; Cloppet, E.; Calanca, P.; Gobin, A.; Vucetic, V.; Nejedlik, P.; Kumar, S.; Lalic, B.; Mestre, A.; Rossi, F.; Kozyra, J.; Alexandrov, V.; Semerádová, D. and Zalud, Z. 2011. Agroclimatic conditions in Europe under climate change. *Global Change Biology*, 17:2298-2318. Doi: 10.1111/j.1365-2486.2011.02396.x.
- Walton, D.; Meyerson, J. and Neelin, J. D. 2013. Accessing, downloading, and viewing CMIP5 data. Earth System Grid Federation. 25 pp.
- Wishart, D. 2006. *Clustan graphics primer: a guide to cluster analysis*. Clustan Limited, Edinburgh. 67 p.