

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO.



FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS.
Colegio de Geografía.

**“Efectos del cambio climático en el sector primario de dos especies de
importancia económica para el estado de México “**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
LICENCIADA EN GEOGRAFÍA
P R E S E N T A :

VICTORIA ERIKA VELÁSQUEZ ALFARO.

ASESOR: M.C. ANTONIO GONZÁLEZ HERNÁNDEZ

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO DEL 2011.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CONTENIDO

Resumen	iv
Objetivos	vii
Introducción	viii
CAPÍTULO 1. MODELOS DE CIRCULACIÓN DE LA ATMÓSFERA PARA GENERAR ESCENARIOS CLIMÁTICO	1
1.1 Modelos de Circulación de la Atmósfera y escenarios del Cambio Climático	1
1.2 Modelo “HADLEY” (HadCM3) y Modelo CCCma (CGCM_2.0)	5
1.3 Programa Downscaling SDSM 4.2. (Ampliación de Escalas)	7
CAPÍTULO 2. EL CAMBIO CLIMÁTICO Y SUS EFECTOS EN LA AGRICULTURA	9
2.1 Antecedentes	9
2.2 El Cambio Climático y sus efectos en la agricultura de México	13
2.3 El Cambio Climático y sus efectos en la agricultura del Estado de México	15
CAPÍTULO 3. CULTIVOS DE IMPORTANCIA ECONÓMICA EN EL ESTADO DE MÉXICO.	13
3.1 La agricultura en el Estado de México	13
3.2 Importancia del cultivo de maíz de grano en el Estado de México	17
3.3 Requerimiento del cultivo de maíz de grano en el Estado de México	22
3.4 Importancia del cultivo de la papa en el Estado de México	23
3.5 Requerimiento del cultivo de la papa en el Estado de México	28
3.6 Conceptos de zonificación Agro-ecológica en México	29
3.7 Antecedentes de zonificación agroecológica	30
CAPÍTULO 4. MATERIALES Y MÉTODOS	32
4.1 Ubicación del área de estudio	32
4.2 Procedimiento para la generación de escenarios downscaling (ampliación de escala)	34
4.3 Generación de los mapas con escenarios de Cambio Climático	37
4.4 Generación de los mapas de zonas aptas de cultivo actuales.	40
4.4.1 Generación del mapa de áreas aptas para el cultivo del maíz de grano actual	42
4.4.2 Generación del mapa de áreas aptas para el cultivo de la papa actual	45
4.5 Generación de los mapas de aptitud con cambio climático.	46
	48

CAPÍTULO 5. RESULTADOS

5.1 Modelos y escenarios en el Estado de México	48
5.1.1 Precipitación media actual en contraste con Precipitación media de los modelos, escenarios y periodos	48
5.1.2 Precipitación máxima actual en contraste con Precipitación máxima de los modelos, escenarios y periodos.	51
5.1.3. Temperatura máxima anual actual en contraste con Temperaturas máximas de los modelos, escenarios y periodos.	57
5.1.4 Temperatura mínima anual actual en contraste con Temperaturas mínimas de los modelos, escenarios y periodos.	60
5.2 Zonas aptas actuales productoras del cultivo de maíz de grano.	61
5.3 Impacto del cambio climático sobre las zonas de aptitud del maíz de grano.	62
5.4 Zonas aptas actuales productoras del cultivo de papa	69
5.5 Impacto del cambio climático sobre las zonas de aptitud de la papa.	70

CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1 Precipitación	76
6.2 Temperaturas	78
Conclusiones	81
Referencias bibliográficas	
Anexos	

RESUMEN.

Las condiciones climáticas (temperatura – precipitación) y algunos atributos del suelo, son los elementos fundamentales que determinan la distribución espacial de las especies vegetales y en las zonas áridas y semiáridas, la disponibilidad de agua es el factor más importante que controla la sobrevivencia de las plantas y su producción. Así, el uso potencial se puede considerar como la aptitud y capacidad de uso que posee un área de terreno, determinado por las características climáticas, topográficas y edáficas (Lozano, 1996; Lane *et al.*, 1995).

El presente estudio estuvo enfocado en determinar los posibles escenarios en los cuales el fenómeno del Cambio Climático puede impactar, particularmente fueron analizados sus efectos en el cultivo del maíz de grano y de la papa en el Estado de México. Para ello, se elaboraron las proyecciones futuras correspondientes a 74 estaciones climatológicas (60 del estado de México y 14 de los estados colindantes), para las décadas 2030, 2050 y 2080. Todo esto en relación con el proyecto “Definición de acciones sobre el riesgo en materia de adaptación y vulnerabilidad para el sector primario ante el cambio climático en el Estado de México”. La construcción de los escenarios fue a partir de las salidas de dos modelos de circulación general, el HadCM3 (Hadley Centre Coupled Model, versión 3), y el CGCM2 (Coupled General Circulation Model Second Generation). Dado que los modelos de circulación general proporcionan escenarios con resolución entre 2.5° de latitud x 3.5° de longitud, fue necesario utilizar el modelo de ampliación de escala (downscaling) con el programa SDSM 4.2 para aumentar la resolución espacial y obtener escenarios más exactos. Se utilizaron los escenarios socioeconómicos A2 y B2, documentados por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático en el Reporte Especial de Escenarios de Emisiones (SRES, por sus siglas en inglés).

Los resultados que se obtuvieron de los escenarios fueron muy variados, ya que se realizaron análisis cuantitativos y cualitativos. La comparación entre la precipitación actual con la precipitación del modelo CGCM2 (A2) se obtuvo que para los años 2030, 2050 y 2080 presentan un aumento, pero también disminuciones como en agosto del año 2080, la precipitación disminuye más que la precipitación actual. Con el escenario B2, la precipitación también es mayor en relación con la actual, también hay disminuciones sobre todo en el mes de agosto.

Los resultados del modelo HadCM3, A2 muestran un aumento en todos los periodos y cabe mencionar que con este modelo no se presentan disminuciones y mucho menos no hay ningún mes que se iguale con la precipitación actual. El escenario B2, la precipitación de los meses iniciales del año, presentan un ligero aumento con relación a la precipitación actual, no obstante la precipitación aumenta considerablemente a partir del mes de junio, teniendo una baja en el mes de septiembre, pero reponiéndose para el mes de octubre, noviembre y diciembre. Este mismo fenómeno se presenta en todos los periodos. Espacialmente la precipitación presenta una mayor concentración en la parte noreste del Estado con el modelo HadCM3, además se duplica la precipitación para cada escenario y cada año. Con el modelo CGCM2 no existe una precipitación en la misma zona noroeste del estado. Los resultados de las temperaturas máximas anuales muestran un incremento para años posteriores en ambos modelos, y en ambos escenarios. El análisis espacial muestra que el modelo HadCM3 presenta un aumento de temperatura en el centro y noreste del Estado de México. Las temperaturas mínimas anuales muestran el mismo fenómeno que en las temperaturas máximas. El análisis espacial de las temperaturas de mínimas disminuye en el centro y noreste del Estado, con el modelo HadCM3 en comparación con el modelo del CGCM2 en donde las temperaturas mínimas cubren una mayor parte del Estado de México.

Los resultados permitieron vislumbrar un aumento y disminución en las zonas “muy buenas” del cultivo de maíz con el modelo CGCM2, mientras que los resultados con el modelo HadCM3 fueron benéficos para las zonas “muy buenas” y “buenas” debido a la precipitación y a la temperatura proyectada, en donde hay un incremento, de tal motivo existen mayores zonas propicias para el desarrollo de este cultivo.

Con el cultivo de la papa los resultados fueron más espaciales que cuantitativos. Los resultados cuantitativos apuntan una zona potencial buena en un futuro, con ambos modelos, escenarios y periodos. No obstante, el resultado espacial del cultivo de la papa mostrara un desplazamiento hacia el noreste del Estado de México.

Las zonas actuales de maíz al ser comparadas con las del modelo CGCM2 reflejan que solo para la década de los 30 existirán zonas “muy buenas” mientras que para los años posteriores la zona más favorecida será la “mediana, misma que es la que encabeza las zonas actuales. Con el modelo HadCM3 se proyecta un beneficio para las zonas “muy buenas” y “buenas” y la “mediana” se convierte en la menos favorecida.

Comparando la superficie de la papa actual en donde las zonas consideradas como “muy buenas” prevalecían, con el modelo CGCM2, esta área disminuye en los años posteriores y con cada uno de los escenarios. Lo mismo ocurre con el modelo HaDCM3 las zonas “muy buenas” disminuyen considerablemente.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

❖ Evaluar los efectos del cambio climático bajo diferentes escenarios, modelos y periodos en el maíz de grano y la papa para el Estado de México.

OBJETIVOS PARTICULARES:

❖ Obtener dos escenarios de temperatura y precipitación (A2 y B2) para 2 modelos contrastantes de cambio climático en el Estado de México con ampliación de escala (SDMS).

❖ Estimar cuantitativamente los cambios en la temperatura y precipitación bajo los escenarios A2 y B2 de los modelos HadCM3 y CGCM2.

❖ Determinar las superficies aptas, actuales productoras de maíz de grano y papa con un análisis multicriterio en el Estado de México.

❖ Localizar espacialmente las zonas de aptitud bajo escenarios de cambio climático en tres periodos (2030, 2050 y 2080) para maíz de grano y papa en el Estado de México.

❖ Estimar el impacto de la temperatura y precipitación sobre la vulnerabilidad de las áreas aptas actuales para el maíz de grano y papa bajo dos escenarios, dos modelos, y tres periodos de cambio climático obtenidos con ampliación de escala.

INTRODUCCIÓN

A partir de la Revolución Industrial las actividades humanas se han ido incrementando, dando como resultado una disminución de diversos sistemas ecológicos que ayudan a mantener varios gases de la atmósfera en equilibrio. Se entiende por cambio climático al aumento y acumulación de gases tanto de origen natural como antropogénico. Los principales son dióxido de carbono (CO₂), óxido nitroso (N₂O), metano (CH₄), ozono (O₃) y vapor de agua (H₂O) los cuales se encuentran de manera natural en la atmósfera terrestre; los halocarbonos, hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF₆), se encuentran en menor cantidad y su generación es totalmente antropogénica. Estos gases generan el llamado efecto de invernadero, dentro del cual, como su nombre lo indica se forma un invernadero en la Tierra que atrapa y bloquea la radiación de ondas largas, ocasionando con esto un aumento en la temperatura del sistema terrestre y generando por lo tanto, una transformación en el clima. En todo el país las investigaciones acerca del cambio climático se incrementaron en los años 90 debido al impacto que podría ocasionar en actividades humanas, principalmente al sector primario.

La agricultura es una actividad extremadamente vulnerable al cambio climático debido a la estrecha relación que tiene con los elementos del clima, particularmente con la temperatura y la precipitación. La temperatura tiene un gran efecto en el desarrollo de varios procesos fisiológicos de los cultivos, que pueden aumentar o disminuir la producción de los cultivos, de la misma manera puede provocar la propagación de malas hierbas y plagas. La precipitación caracterizada por presentar una variabilidad espacial y temporal, además de ampliar las probabilidades de fracaso de las cosechas a corto plazo y la disminución de la producción a largo plazo (Ojeda W. et al., 2008) . Aún en el siglo XXI el sector agrícola sigue siendo uno de los más importantes en algunos estados de la República Mexicana, tal es el caso del Estado de México en el cual el maíz de grano y la papa son de gran importancia económica y de acuerdo con datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2007), a nivel estatal el cultivo del maíz de grano y la papa representa el 65% del total de hectáreas sembradas en aproximadamente 38 municipios de dicho Estado. Precisamente estos cultivos inevitablemente sufrirían los impactos generados por el cambio climático principalmente por aumentos y disminuciones de la temperatura y la precipitación, dos variables que al ser alteradas podrían ocasionar modificaciones en los ciclos de siembra y cosecha.

Este estudio contribuirá en la comprensión sobre el impacto del Cambio Climático en los cultivos de maíz y papa; se utilizó un esquema parecido al *Climate Predictability Tool (CPT)* que permite relacionar patrones de gran escala con condiciones regionales del clima y aprovecha las salidas de los modelos de circulación general y estima con mayor detalle condiciones regionales del clima, es decir, para predicciones de alta resolución espacial además la llamada CPT aprovecha la física de los modelos de circulación general reduciendo su escala espacial mediante esquemas estadísticos. Sin embargo, la herramienta utilizada en este estudio fue el SDSM (Statistical DownScaling Model) que es un modelo estadístico que usa la resolución espacial y a la resolución temporal de los modelos de clima que actualmente son capaces de suministrar los predictores (predictor) en línea. El SDSM 4.2 permite las relaciones espaciales diarias del predictor-predictand (predictor- predictado) usando múltiples técnicas de regresión lineales. Los modelos utilizados para este estudio son: el modelo HadCM3, es un modelo atmósfera-océano dispone 19 niveles (una malla de 96 x 73 celdas) y para el océano 20 niveles, también cuenta con un total de 14 bandas espectrales y dispone de un nuevo esquema para el tratamiento del agua sobre la superficie terrestre (nieve y hielo). Es un modelo muy reciente y con unas características muy aceptables. El otro modelo corresponde al CGCM3 (Coupled Global Climate Model) del CCCma (Canadian Center for Climate Modelling and Analysis) Centro que ha desarrollado gran número de modelos de simulación climática para la predicción del clima, el estudio del cambio climático y su variabilidad, para entender mejor los procesos que gobiernan nuestro sistema climático. Este modelo cuenta con las siguientes características: La siguiente versión CGCM3.2 tiene un “rejilla” (Grid) superficial cuya resolución espacial es aproximadamente 2.8° lat/lon y 31 niveles en el vertical. La resolución del océano es por lo tanto aproximadamente 1.4 ° en la longitud y 0.94° en la latitud. Esto proporciona una ligera, pero mejor resolución de las corrientes en los trópicos, y una mediana resolución en los meridianos que convergen en el Ártico

Ambos modelos tienen parte de incertidumbre, esto quiere decir que el proceso de calentamiento, resultado del aumento de gases de efecto invernadero, es lo suficientemente intenso como para determinar la región donde preferencialmente se va a encontrar un mayor número de variaciones climáticas. Es necesario evaluar las incertidumbres que surge de un escenario de emisiones a otros, lo cual constituye la segunda fuente de incertidumbre, de igual o mayor importancia que la incertidumbre entre los modelos.

El estudio se centra bajo dos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero (SRES: Special Reportson Emission Scenarios) por sus siglas en inglés el A2, y el B2. Dado que los SRES A2 y B2 están enfocados hacia el desarrollo regional, consideran los valores intermedios en cuanto al crecimiento de emisiones de GEI, y de crecimientos poblacionales de entre 100 y 160 millones respectivamente, para el año 2100 ambos han sido considerados en este estudio además de que actualmente existe gran confianza en que el incremento de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero (GEIs) en la atmósfera producirá un aumento de la temperatura global. Sin embargo, la estimación de cómo las altas concentraciones de esos gases pueden afectar los climas regionales tiene una confianza muy baja y está acompañada de numerosas incertidumbres. También es incierto cómo los cambios climáticos podrían variar (IPCC 1990, 1992) y cómo serán las futuras condiciones socioeconómicas y ambientales. A pesar del reto de valorar la incertidumbre, resulta necesario ofrecer una idea de cómo podrían verse afectados los ecosistemas actuales, la vida humana o la economía, ofreciendo un poco de claridad a los tomadores de decisiones, para los cuales, la componente científica de este problema resulta a veces tan compleja y oscura, que puede tornarse irrelevante.

La generación de los escenarios de cambio climático es una de las etapas más importantes dentro de los estudios de riesgo ante cambio climático, pues de ellos depende la dirección de los resultados del estudio

MODELOS DE CIRCULACIÓN DE LA ATMÓSFERA PARA GENERAR ESCENARIOS CLIMÁTICO.

1.1 Modelos de Circulación de la Atmósfera y escenarios del Cambio Climático.

El recurso más avanzado del que se dispone para el estudio del clima es, sin lugar a dudas, el conjunto de modelos de Circulación General (GCM por sus siglas en inglés). Los modelos (GCM) indican que las crecientes concentraciones de gases de efecto invernadero tendrán alcances importantes para el clima en escalas mundiales y regionales. En menor medida también se extenderá a los procesos meteorológicos que existen en ciertos lugares, pero también serán afectados (Conde y Gay 2008).

Los GCM son representaciones numéricas tridimensionales, que se emplean para simular el comportamiento del sistema climático global (incluyendo la atmósfera, los océanos, la biosfera, la criosfera y la superficie terrestre). Los resultados de los experimentos desarrollados con GCM pueden ser combinados con las salidas de modelos climáticos más simples para poder evaluar los resultados de los primeros, bajo una gran variedad de supuestos sobre las futuras emisiones de gases de efecto invernadero (Magaña y Caetano 2007).

Es importante tomar en cuenta que cuanto mayor nivel de reducción de escala (temporal y espacial) que se desee, mayor nivel de incertidumbre deberá asumirse debido a que cualquier método que se escoja para reducir la escala necesariamente introducirá incertidumbre adicional al escenario (Conde y Gay 2008). Las variables sobre las que se presta más atención, por su indiscutible importancia, son la temperatura de superficie y la precipitación y, comúnmente, los horizontes proyectados se extienden hasta el 2100 (Ibíd. 2008).

Ruddiman (2001), considera que los MCG requieren una simulación del clima de alrededor de 20 años, debido a que es en los primeros 15 años cuando el modelo puede alcanzar un estado de equilibrio y en los otros 5 años produce los datos climáticos que son las salidas reales del modelo.

Por otro lado, los modelos de Circulación de General de la Atmósfera del Océano (O/AGCMs) por sus siglas en inglés, incluyen componentes tanto de los océanos como de las tierras superficiales, el mar y el hielo (Wilby y Dawson, 2007). También consideran procesos como la formación de nubes, el calor y el transporte de humedad en la atmósfera entre la tierra y el aire (Robinson y Henderson-Sellers, 1999; Henderson-Sellers y McGuffie, 2005).

Los mismos autores mencionan que para resolver lo anterior se deben especificar las condiciones atmosféricas en una retícula de puntos, obtenidos al dividir la superficie terrestre en una red regular. En cada punto se especifican las condiciones para la superficie (temperatura del suelo, flujos de agua y energía) y las diversas capas de la atmósfera (vectores de viento, humedad, nubes, temperatura y altura). Posteriormente, con técnicas numéricas se resuelven las ecuaciones antes mencionadas para cada punto.

De las técnicas existentes la mayoría emplean una aproximación de intervalo de tiempo de resolución y un esquema de interpolación entre los puntos del retículo que están separados entre 3° de latitud y 5° de longitud, a su vez se emplean intervalos de tiempo de aproximadamente 30 minutos. Figura 1

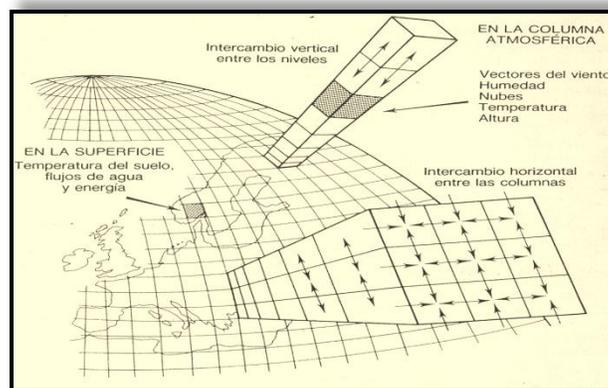


Figura 1. Características básicas de un modelo Climático de Circulación General (Henderson-Sellers y McGuffie, 1990)

Con los Modelos de CGM se pueden construir escenarios de cambio climático, estos se definen como: *“Una representación del clima futuro que es internamente consistente, que ha sido construida empleando métodos basados en principios científicos y que puede ser utilizada para comprender las respuestas de los sistemas medio ambientales y sociales ante el futuro cambio climático”* (Magaña y Caetano 2007).

La generación de los escenarios de cambio climático es una de las etapas más importantes dentro de los estudios de riesgo ante cambio climático, pues de ellos depende la dirección de los resultados de la evaluación. Los escenarios de cambio climático deben ser seleccionados para brindar información que sea: fácil de obtener o derivar; suficientemente detallada para ser utilizada en los estudios de impacto; representativa del rango de incertidumbres de las proyecciones y; físicamente consistente en el sentido espacial. En la práctica sin embargo, es difícil poder reunir todas esas características en un escenario, pues la representación de ellas depende, en buena medida, del método que se emplee en la creación del escenario (Ibíd. 2007).

Los escenarios de cambio climático (ECC) usados para describir un posible estado futuro del mundo están basados en las condiciones climáticas observadas (generalmente durante un periodo de treinta años; actualmente se emplea el periodo 1961-1990) denominados *“escenario base”* (Palma et al., S/F).

En el Tercer Informe del IPCC (2001) se proponen cuatro líneas evolutivas y familias de escenarios de emisiones: A1, A2, B1 y B2 (SRES: Special Reportson Emission Scenarios) posibles de ocurrir en el futuro. Figura 2

- Escenario A1: un crecimiento humano con énfasis en la riqueza a nivel global
- Escenario A2: un crecimiento humano con énfasis en la riqueza a nivel regional
- Escenario B1: un crecimiento sostenible, en equidad entre la economía y el medio ambiente a nivel global
- Escenario B2 un crecimiento sostenible, en equidad entre la economía y el medio ambiente a nivel regional.

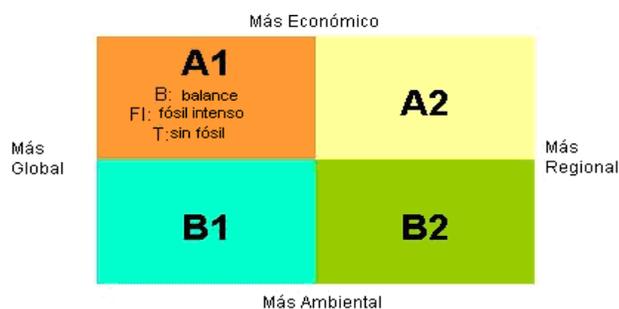


Figura 2. Representación esquemática de la familia de los escenarios
Fuente: <http://www.grida.no/climate/ipcc/emission/index.htm>

Dado que los SRES A2 y B2 están enfocados hacia el desarrollo regional, consideran los valores intermedios en cuanto al crecimiento de emisiones de GEI, y de crecimientos poblacionales de entre 100 y 160 millones, respectivamente, para el año 2100 ambos han sido considerados en este estudio. Además, los escenarios A2 y B2 han sido empleados en estudios de impacto por cambio y variabilidad climática para México (Conde et al., 2006), así como por el grupo del IPCC encargado de la evaluación de los impactos por cambio climático.

Como se menciona anteriormente la familia A2 describe un mundo muy heterogéneo. *“Sus características más distintivas son la autosuficiencia y la conservación de las identidades locales. El índice de natalidad en el conjunto de las regiones converge muy lentamente, con lo que se obtiene una población en continuo crecimiento. El desarrollo económico está orientado básicamente a las regiones, y el crecimiento económico por habitante así como el cambio tecnológico están fragmentados y son más lentos que en otras líneas evolutivas”* (IPCC, 2001).

Por otro lado la familia B2 describe *“un mundo en el cual predominan las soluciones locales a la sostenibilidad económica, social y ambiental. Es un mundo cuya población aumenta progresivamente a un ritmo menor que en A2, con niveles de desarrollo económico intermedios, y con un cambio tecnológico menos rápido y más diverso que en las líneas A1 y B1. Aunque este escenario está también orientado a la protección del medio ambiente y a la igualdad social, se centra principalmente en los niveles local y regional”* (Ibid, 2001).

Dado que existen diversas formas de construcción de escenarios climáticos, Jones and Mearns, 2006 recomiendan que para tomar en cuenta las incertidumbres asociadas al clima futuro se haga uso de diferentes modelos de circulación general atmósfera-océano, con *forzamientos* (se llama así a las variables del clima por factores externos) para distintos escenarios de emisiones.

Para tratar con el dilema relativa a las emisiones, se seleccionaron los escenarios A2 y B2 para este estudio, basándose en las sugerencias de los economistas involucrados en proyectos anteriores (Gay et al., 2006). Además de los argumentos anteriores, existe el hecho de que la mayoría de los modelos de circulación general han obtenido resultados para la familia de escenarios A2 y B2, y sólo algunos de ellos tienen los experimentos completos para las familias A1 y B1.

1.2 Modelo “HADLEY” (HadCM3) y Modelo CCCma (CGCM_2.0).

Según el IPCC 2005, el modelo HadCM3, es un modelo atmósfera-océano creado en el Hadley Center de Inglaterra en el año 2000 por Gordon y Pope. Para la resolución atmosférica dispone 19 niveles (una malla de 96 x 73 celdas) y para el océano 20 niveles, también cuenta con un total de 14 bandas espectrales y dispone de un nuevo esquema para el tratamiento del agua sobre la superficie terrestre (nieve y hielo). Es un modelo muy reciente y con unas características muy aceptables.

Este modelo puede utilizarse para los escenarios A2, B2, A2b, A2c. No necesita ningún tipo de ajuste de flujo para realizar una buena simulación, aunque ha sido utilizado en periodos de tiempo de unos mil años y se han observado pequeñas desviaciones en el clima en la superficie terrestre (IPCC, 2005).

Características más relevantes

Dispone de 6 bandas espectrales para longitudes de onda cortas y 8 para longitudes de onda larga. Los efectos de los gases como el CO₂, el vapor de agua y el ozono están representados explícitamente y también incluye un simple parámetro para los aerosoles (Hardy y Wiley, 2003).

Se ha renovado el esquema para la superficie terrestre, donde se incluye la representación de las aguas que se congelan y se funden. En cuanto a la evaporación, se incluye una resistencia sobre la temperatura, la presión y la concentración de CO₂. El albedo en la superficie es en función del espesor de la nieve, del tipo de vegetación y de la temperatura alrededor de la nieve y el hielo. El modelo también incluye explícitamente las corrientes bajas y el impacto de la convección sobre el momento (IPCC, 2005).

La componente oceánica del HadCM3 dispone de 20 niveles con una resolución de 1.25° x 1.25°, lo que hace posible la representación de importantes detalles de corrientes oceánicas y sus estructuras. También muestra un esquema de difusión adiabática y no aparecen direcciones de difusión explícitas. La viscosidad del momento varía entre unos 3000 y 6000 m² / s entre polos y ecuador (Hardy y Wiley, 2003).

El IPCC, 2005 dice que el modelo CCCma (Canadian Center for Climate Modelling and Analysis). Forma parte de la rama del estudio climático del Servicio Meteorológico y de Medio Ambiente de Canadá. Conduce la investigación de: modelos atmosféricos y oceánicos, la variabilidad y la predicción del clima, el ciclo del carbón, y muchas otras áreas más.

El CCCma ha desarrollado gran número de modelos de simulación climática para la predicción del clima, el estudio del cambio climático y su variabilidad, y para entender mejor los procesos que gobiernan nuestro sistema climático. Estos modelos son:

- AGCM1, AGCM2, AGCM3: Primera, segunda y tercera generación Atmospheric General Circulation Model.
- CGCM1, CGCM2, CGCM3: Primera, segunda y tercera generación del Coupled Global Climate Model.

Características más relevantes

Es un modelo atmosférico y usa como referencia al de la Segunda Generación, sin embargo su componente principal es el día atmosférico, eso es lo que hace considerablemente importante este modelo. Es incluido también en esta versión el componente del hielo con dos categorías (el grosor y la concentración) combinando la dinámica de los fluidos y la termodinámica como en la primera generación y la segunda generación.

La versión CGCM3.2 tiene un “rejilla” (Grid) superficial cuya resolución espacial es aproximadamente 2.8° lat/lon y 31 niveles en el vertical. La resolución del océano es por lo tanto aproximadamente 1.4 ° en la longitud y 0.94° en la latitud. Esto proporciona una ligera, pero mejor resolución de las corrientes en los trópicos, y una mediana resolución en los meridianos que convergen en el Ártico (Environment Canada, 2010).

1.3 Programa Downscaling (Ampliación de Escalas).

El SDSM 4.2 (Statistical DownScaling Model), es un modelo estadístico, desarrollado por Rob Wilby y Christian Dawson en el Reino Unido, su técnica “Downscaling” (Ampliación de escala), usa la resolución espacial y a la resolución temporal con modelos de clima.

El programa SDSM 4.2 (StatisticalDownScalingModel) es una herramienta para evaluar los impactos de cambio climático locales, usando una técnica de estadística “Ampliación de escalas” (Downscaling) esta técnica se puede entender como el desarrollo de datos climáticos para un punto o una pequeña área de información climática regional. Los datos de clima regional pueden provenir de un modelo climático (MCG_HADGEN y MCG_GFDL 2.0) o de observaciones meteorológicas. “Downscaling” puede relacionar procesos que funcionan a través de diferente tiempo y/o escala espacial (Wilby y Dawson, 2007).

El SDSM 4.2 facilita un rápido desarrollo de múltiples escenarios y a bajo costo, con sitios sencillos en la web con las variables climáticas diarias de la superficie. Al mismo tiempo, el software lleva a cabo las tareas de control de calidad de los datos de entrada, la selección de variables, la transformación de estos mismos, la revisión de variables, la calibración de modelo automática, analiza las variables y crea variables para después analizarlas estadísticamente, también crea de gráficos de los datos de clima y lo más importante la generación de escenarios futuros.

El SDSM 4.2 permite las relaciones espaciales diarias del predictor-predictand (predictor- predictado) usando múltiples técnicas de regresión lineales. El concepto de predictor se puede definir de la siguiente manera, es la variable que asume la habilidad predictiva de otra variable de interés como los predictandos, un ejemplo de un predictor son las variaciones cotidianas en la presión atmosférica o también son las que proporcionan el estado diario en la atmósfera a gran escala, mientras que el predictando describe las condiciones en la escala de sitio y que puede ser deducida por el comportamiento de una o varias variables de predictoras, ejemplo de una predictand es la precipitación.

Por otro lado las variables observadas (predictand) como la Temperatura Máxima, la Temperatura Mínima muestran una uniformidad y un comportamiento aceptable, por desgracia con la precipitación

diaria de las estaciones sigue siendo la variable más problemática y la de poca calidad, porque no se tienen una previsibilidad de las cantidades de precipitación diaria. Sin embargo el SDSM modela series con desigualdad para tener una mayor concordancia con las observaciones diarias. Aún así, el modelo puede producir un comportamiento poco realista si el componente aleatorio no es correctamente manejado.

Los autores advierten que el software no debería ser usado como "una caja negra" ya que representaría un verdadero peligro empleando de una manera errónea la técnica de regresión. Más bien la técnica "downscaling" está basada sobre compromisos físicos sin forzar la escala y la respuesta meteorológica local. Por lo tanto, la práctica exige una buena evaluación rigurosa de los predictores (predictand) candidatos con las relaciones que usan datos independientes. Además, el conocimiento local es una fuente de información incalculable que determina las combinaciones de los predictores.

Finalmente, los autores dan la bienvenida a sugerencias constructivas sobre el diseño y el uso de SDSM, en particular al cambio climático que afecta a una amplia comunidad. Los autores también apreciarían las copias de cualquier publicación o informes en donde se empleo SDSM. Esto ayuda a compartir la experiencia con otros usuarios, y se añade al conocimiento de cambios climáticos proyectados en regiones diferentes.

EL CAMBIO CLIMÁTICO Y SUS EFECTOS EN LA AGRICULTURA.

2.1 Antecedentes

El clima medio global terrestre está determinado por la energía entrante del Sol y por las propiedades de la Tierra y su atmósfera, llámense reflexión, absorción y emisión de energía dentro de la atmósfera y en la superficie. Sin embargo, a partir de los últimos 50 años ciertos cambios han ocurrido en varios aspectos de la atmósfera y la superficie terrestre, mismos que alteran el almacenamiento de energía global terrestre y que por lo tanto pueden causar que el clima cambie. Por ello el cambio climático constituye uno de los mayores problemas que la humanidad enfrentará en el curso del siglo XXI. Para el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), el término “cambio climático” denota un cambio en el estado del clima identificable (por ejemplo, mediante análisis estadísticos) a raíz de un cambio en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un periodo prolongado, generalmente cifrado en decenios o en periodos más largos. Denota todo cambio del clima a lo largo del tiempo, tanto si es debido a la variabilidad natural como si es consecuencia de la actividad humana. Este significado difiere del utilizado en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC), que describe el cambio climático como un cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que viene a sumarse a la variabilidad climática natural observada en periodos de tiempo comparables (IPCC, 2007).

El clima es el principal factor que determina las pautas mundiales de la vegetación, su estructura, la productividad y la mezcla de especies animales y vegetales. Muchas plantas se pueden reproducir y crecer con éxito únicamente dentro de un rango específico de temperaturas, y responder a determinadas

cantidades y patrones estacionales de precipitación. Asimismo, pueden verse desplazadas debido a la competencia con otras plantas, o incluso pueden sobrevivir si el clima cambia. Los cambios en la variabilidad climática, en los extremos y en los valores medios, determinan los impactos del cambio climático sobre los ecosistemas. La variabilidad y los extremos climáticos pueden también ser influenciados de forma recíproca mediante actividades humanas (Ibid. 2007).

El aumento de emisiones de gases que incrementan la temperatura del planeta, ocasiona derretimiento de glaciares, aumento de precipitaciones, de la frecuencia de eventos meteorológicos extremos, así como modificaciones en las estaciones del clima. El ritmo acelerado de cambio climático, junto con el aumento de la población y la explotación de recursos naturales a nivel mundial, amenaza a la agricultura y por lo tanto a la disponibilidad de alimentos (SEMARNAT, 2008; IFPRI, 2009).

Un aumento en la temperatura incrementará la tasa de desarrollo de los cultivos y su demanda hídrica. Aunque cada especie responde fisiológicamente a los cambios ambientales, existe un rango óptimo por especie y etapa fenológica, para las variables ambientales como: temperatura, humedad relativa, radiación solar y dióxido de carbono. Estos rangos están relacionados con las tasas de actividad en las que se realizan los procesos fisiológicos de la planta como transpiración, fotosíntesis, respiración y fotoperiodo. Durante el proceso de fotosíntesis se combina el CO₂ con el agua para producir carbohidratos en presencia de luz visible. La energía almacenada en los compuestos formados durante la fotosíntesis es utilizada en los procesos fisiológicos de la planta por medio de la respiración. Ambos procesos presentan cambios en su tasa de actividad en función de los cambios en las variables ambientales como radiación solar y temperatura. Varios cultivos agrícolas presentan un mayor estrés térmico a temperaturas mayores de 30°C, propiciando una mayor tasa de respiración con una reducción en la fotosíntesis, que se traduce en una disminución en la asimilación de CO₂, tal como se muestra en la Figura 3. (Ojeda W., *et al.* 2008).

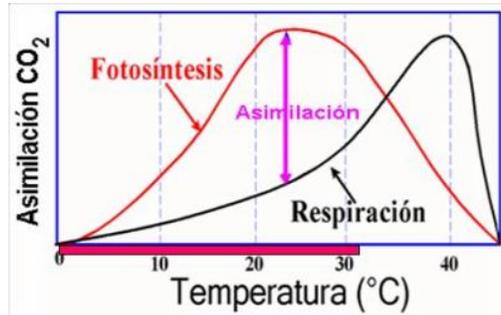


Figura 3. Variación simplificada de las tasas de fotosíntesis y respiración de los cultivos.

Sin embargo, existen algunos cultivos en ciertas regiones del mundo que pueden beneficiarse, con el incremento de bióxido de carbono (CO_2), principalmente a través del incremento en la tasa de fotosíntesis y en la eficiencia en el uso del agua (Rosenberg, 1981; Cure y Acock, 1986). Las plantas C_3 como algodón, arroz, trigo, soya, girasol, papa y la mayoría de las leguminosas, responden mejor al incremento de CO_2 que las plantas C_4 ¹ como maíz, sorgo, caña de azúcar, plantas halófitas y una gran variedad de forrajes. Sin embargo, las plantas C_4 responden mejor que las C_3 a un incremento en la temperatura, requiriendo menos agua por unidad de carbono asimilado (Young y Long, 2000). Un incremento en las concentraciones de CO_2 también puede disminuir el agua transpirada al reducir el tamaño de la apertura estomática (Adams, et al. 1998), siempre y cuando no se encuentre bajo un estrés térmico.

En general se espera que los impactos del cambio climático sean negativos para la agricultura por que un aumento de las temperaturas termina por reducir la producción de los cultivos deseados, a la vez que provoca la proliferación de malas hierbas y pestes, y por otro lado, los cambios en los regímenes de lluvias aumentan las probabilidades de fracaso de las cosechas a corto plazo y de reducción de la producción a largo plazo, amenazando la seguridad alimentaria mundial. Probablemente las poblaciones más afectadas sean la de los países en vías de desarrollo, como por ejemplo, el Sahel, el Asia central y la mayoría de los países de América Latina, ya que en el año 2005, casi la mitad de la población económicamente activa de estos países (dos mil quinientos millones de personas) dependía de la agricultura para asegurar sus medios de vida. A la fecha, el 75% de los pobres del mundo viven en áreas rurales (SEMARNAT, 2008 y Nelson et al., 2009).

¹ PLANTAS C_3 Y C_4 : Se llaman así porque en las de tipo C_3 el primer compuesto orgánico fabricado en la fotosíntesis tiene 3 átomos de carbono y en el tipo C_4 tiene 4. (Existe también un tercero, muy minoritario, denominado CAM, combinación del C_3 y C_4 al que pertenecen algunos cactus. El 85 % de las plantas son del tipo C_3 (casi todas las arbóreas) y el otro 15 % de las plantas son del tipo C_4 la mayoría pertenecen a las de zonas tropicales.

Al mismo tiempo, la agricultura cercana a litorales con una elevada densidad de población experimentará las consecuencias de la subida del mar, resultado de un aumento de temperatura. Se prevé que suba el nivel de mar en medio metro para al año 2080, si sólo se tiene en cuenta que el agua caliente ocupa más volumen. Pero si se añade la probabilidad de que se fundan grandes capas de hielo de Groenlandia y que se desestabilice la capa de hielo de la Antártida occidental, el aumento podría ser muy superior. Si se produjera un incremento de un metro, desaparecería una tercera parte de las tierras de cultivo del mundo. En las áreas del litoral donde el drenaje ya resulta un problema, como en parte de Egipto, Bangladesh, Indonesia, China, los Países Bajos y Florida, el mantenimiento de la agricultura sería una lucha cuesta arriba (Godrej D., 2002).

Enric J. (1998) menciona que otras que regiones vulnerables al cambio climático son aquellas que presentan un Producto Interno Bruto (PIB) muy bajo; esto es, de acuerdo con cifras del Banco Mundial (2010) de aproximadamente 500 millones de dólares anuales, tal como las zonas subsaharianas en África, el sur y el este de Asia, donde un gran porcentaje de la población depende la agricultura, actividad que representa una fracción importante del PIB. Cabe mencionar que los cultivos de estos países se encuentran poco diversificados y su superficie cultivable se encuentra ocupada prácticamente en totalidad.

Todo lo contrario ocurre en Europa occidental, América del Norte, Japón, y Oceanía, países que tienen el Producto Interno Bruto más alto de todo el planeta, por ejemplo el PIB más alto registrado en el año 2010 fue de 8,889,350 millones de dólares en la Unión Europea, según los reportes del BM. Por otro lado, la población que vive de la agricultura en estos países es tan solo una pequeña fracción del total, su agricultura presenta un alto grado de tecnificación y en muchos casos es tan sólo una pequeña fracción de su economía, por lo tanto se prevé que sean menos vulnerables al cambio climático.

Es importante citar el informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático del (IPCC) del año 2007 en donde se indican algunos impactos del cambio climático en América Latina a lo largo del siglo XXI:

- Para mediados del siglo, los aumentos de temperatura y las correspondientes disminuciones de la humedad del suelo originarían una sustitución gradual de los bosques tropicales por las sabanas en el este de la Amazonia.

- La vegetación semiárida iría siendo sustituida por vegetación de tierras áridas. Podrían experimentarse pérdidas de diversidad biológica importantes con la extinción de especies en muchas áreas de la América Latina tropical.
- En las zonas templadas mejoraría el rendimiento de los cultivos de haba de soja. Los cambios en las pautas de precipitación y la desaparición de los glaciares afectarían notablemente a la disponibilidad de agua para consumo humano, agrícola e hidroeléctrico. (IPPC, 2007)

2.2 El cambio climático en la agricultura de México.

El sector rural mexicano es vulnerable al cambio climático por su situación geográfica, topográfica y sus características socioeconómicas. En la actualidad todavía no se ha determinado claramente la distribución espacial y temporal del impacto del cambio climático en los sectores rurales de México, aunque es probable un gran impacto si no se realizan estrategias integrales de adaptación de manera anticipada complementada con el fomento a la investigación científica, tecnológica y socio-económica. (Ojeda W, et al. 2008)

Un estudio del posible impacto del cambio climático en la agricultura de México se centró en el análisis de la vulnerabilidad de la producción de maíz de temporal, particularmente en el ciclo primavera-verano. Si bien las variables macro económicas del país no indican una contribución importante de este grano en el producto interno bruto, indudablemente de su producción dependen millones de campesinos a todo lo largo y ancho del país. El maíz se cultiva a nivel del mar y a más de 2,000 metros de altura, y ha sido el sustento básico de muchas generaciones en el sector rural. Así, la producción de maíz en México depende fuertemente del clima y se desarrolla prácticamente en todo el territorio nacional. Los bajos rendimientos y la gran superficie siniestrada que se presentan año con año, son indicativos de que este cultivo no se desarrolla ni exclusiva ni fundamentalmente para su comercialización a gran escala; además, se cultiva en áreas en donde no existe aptitud para ello, tanto en el ámbito climatológico como en el de suelos y pendientes, lo que en parte explica las altas pérdidas en las cosechas de este cultivo y los bajos rendimientos (menores a 2 t/ha) en más de la mitad del territorio nacional (Conde, *et. al.* 1997).

Otro estudio realizado por el Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM y el Latin American Center de la Universidad de Arizona titulado “Estudio de la vulnerabilidad de la agricultura de maíz de temporal mediante el modelo (MCG) CERES – Maize”. El modelo CERES - Maize (Jones, 1986 and Ritchie, et al., 1989) simula los incrementos diarios de crecimiento, desarrollo y producción del cultivo del maíz. Para el estudio de los efectos de un cambio climático en la producción de maíz se utilizaron dos tipos de escenarios.

Uno con incrementos arbitrarios, construidos mediante el aumento de temperatura de 2 y 4°C, y modificaciones en la precipitación de $\pm 20\%$, así como combinaciones de éstos. El segundo tipo de escenarios corresponde a las salidas generadas por dos modelos de circulación general GFDL-R30² y CCC³. El modelo GFDL-R30 propone, en general, incrementos positivos para las tres variables climáticas empleadas, mientras que el CCC sugiere a su vez decrementos en la precipitación y la radiación. Es importante destacar el efecto que tienen los cambios climáticos proyectados por los modelos en la sequía intraestival en los sitios del estado de Veracruz. El mínimo de precipitación tiene un mes de adelanto con respecto al escenario base. Las estimaciones de los modelos para la temperatura máxima indican que Ixcamilpa, en el estado de Puebla, estaría fuera de los rangos óptimos supuestos para el cultivo de maíz. En contraste, sitios como Atlacomulco, en el Estado de México, resultarían beneficiados en términos de la temperatura mínima, ya que ésta alcanzaría valores por encima de la temperatura base.

Además se han reportado evidencias que en el noroeste de México, se encuentra en un proceso de transición hacia un clima más árido debido a una reducción en la precipitación y a un incremento en la evaporación. Adicionalmente, se pronostica un incremento en la frecuencia e intensidad de eventos extremos como sequías, ciclones y lluvias torrenciales resultado del cambio climático (Lawlor, 2005).

² GFDL-R30: *Geophysical Fluids Dynamics Laboratory (GFDL-R30)*. El modelo GFDL-R30 tiene una resolución espacial de 2.22° de latitud por 3.75° de longitud, lo que define una malla con 96 x 80 puntos. Tiene, además, 9 niveles verticales y arroja un incremento en la temperatura promedio de +4°C, si hubiera un calentamiento global.

³ CCC: *Canadian Climate Center (CCC)*. Tiene una resolución de 3.75° latitud por 3.75° longitud, con 10 niveles en la vertical y un total de 96 x 48 puntos de malla y pronostica un incremento global promedio de 3.5 °C en la temperatura.

2.3 El cambio climático en la agricultura del Estado de México.

En el Estado de México (Conde, 1997), se aplicó el modelo de simulación de crecimiento del maíz Ceres-Maize (Jones y Kiriny, 1986) con cambio climático, tomando en cuenta datos desde 1997 hasta el año 2000, para lo cual fue necesario especificar variedad, etapas fenológicas, tipo de suelo, manejo de cultivo, entre otras particularidades del cultivo en las localidades en estudio. El modelo reportó incrementos en los rendimientos probablemente asociados a un aumento en la temperatura mínima, lo que alejaría el peligro de las heladas que siniestran frecuentemente a los cultivos de temporal en el centro del país. Los mismos autores mencionan que cuando en el Ceres-Maize se realizan cálculos simples del impacto que tendría el retiro de los subsidios que apoyaban la producción de maíz de temporal -hecho que ocurrió plenamente antes del año 2000- los cambios económicos que se estaban impulsando en el país tendrían tanto o más impacto negativo que las condiciones de cambio climático previstas por los modelos, aun si se aplicaran las medidas de adaptación simuladas mediante el modelo Ceres, que se centraron en los posibles cambios en el manejo del cultivo: cambio en la fecha de siembra, cambio en la variedad de semilla empleada, aplicación de fertilizante, etc.

Otro estudio de este tipo fue el realizado por Alvarado (2008) en la Cuenca Alta del Río Lerma, la cual se localiza en la porción oeste del Estado de México; cuyo objetivo fue analizar la variación de los elementos climáticos de la precipitación y temperatura durante el periodo de 1960 a 2000. Sus resultados muestran que en el curso Alto de la Cuenca, correspondiente a las estaciones Toluca, Nevado de Toluca y Zinacantepec, la precipitación tendió a disminuir y la temperatura a aumentar. En el Curso Medio, donde se encuentran las estaciones de San Felipe y Atlacomulco la precipitación disminuyó al igual que la temperatura. En el Curso Bajo, donde se encuentra la estación de “Temascalcingo” y la estación “El Oro”, los resultados mostraron que en la primera tanto la precipitación como la temperatura disminuyó, mientras que en la segunda la precipitación tendió a disminuir y la temperatura a aumentar.

Como puede observarse, el comportamiento de la temperatura y precipitación en los Cursos Alto, Medio y Bajo de la Cuenca Alta del Lerma presenta transiciones entre una y otra estación; por lo que se infiere que es debido a variaciones climáticas que se han presentado posiblemente a causa de elementos naturales, crecimiento de la población, urbanización, intensificación de la producción industrial y agropecuaria, desarrollo comercial y de las comunicaciones, desaparición de áreas verdes y de zonas hidrológicas entre otras; lo que ha motivado una transformación ambiental en dicha Cuenca.

CULTIVOS DE IMPORTANCIA ECONÓMICA EN EL ESTADO DE MÉXICO.

3.1 La agricultura en el Estado de México

No obstante que el Estado de México, no es una región eminentemente agrícola debido a que la vocación del suelo más que nada es forestal, la agricultura ha sido fuente de trabajo y satisfactor para el autoconsumo. Según estadísticas de SAGARPA, en 2009 el estado ocupó el primer lugar como productor de ganado ovino y el séptimo lugar en producción de leche; en el ámbito agrícola es el primer productor de papa de temporal con el 35.8% de la producción nacional y el 25.2% de la superficie sembrada total; segundo productor de maíz de grano de temporal con el 11% de la producción nacional y el 7% de la superficie sembrada total (SAGARPA, 2009).

No obstante, las actividades relacionadas con la agricultura se han visto disminuidas ante la cercanía de los centros fabriles y la facilidad para transportarse a ellos, lo cual ha originado que gran parte de la fuerza de trabajo se contrate en la industria y no se trabajen las tierras. Dentro del régimen ejidal o comunal existen 8,176.85 ha. que en la práctica no son productivas ya que se carece de organización, capital, tecnología y seguridad en la tenencia de la tierra.

Los cultivos tradicionales son el maíz, avena y haba; aunque existen áreas mayores que se destinan a la siembra de la papa, tubérculo con probabilidad de ser rentable y que por falta de una adecuada organización su comercialización es deficiente (Estado de México, 2010).

3.2 Importancia del cultivo del maíz de grano en el Estado de México

El maíz es el principal cultivo dentro agrícola en el país, y su consumo es la base de la alimentación de la gran mayoría de la población nacional (Appendini, 1988). El Estado de México presenta características muy particulares respecto al nivel nacional, que inciden en su forma de producir maíz, esto debido a que el proceso de reforma agraria se desarrolló y concluyó más rápidamente que en otras entidades del país. En tal contexto se propició un tipo de campesinado minifundista y una agricultura dedicada al monocultivo del maíz y aunque la superficie relativa ocupada por las unidades campesinas en la entidad y el país es similar, en el agro mexiquense, gran parte se encuentra en los estratos con menores recursos (Vargas, 1996).

Según el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (Siap) la producción estatal de maíz grano ha tenido variaciones considerando los últimos nueve años y los ocho Distritos de Desarrollo Rural⁴ (DDR) que tiene el Estado de México; el volumen más alto se presentó en el año 2001 con 2'284,681.72 toneladas mientras que el año con menos volumen de producción fue el 2005 con 1'211,436.01 toneladas. Figura 4

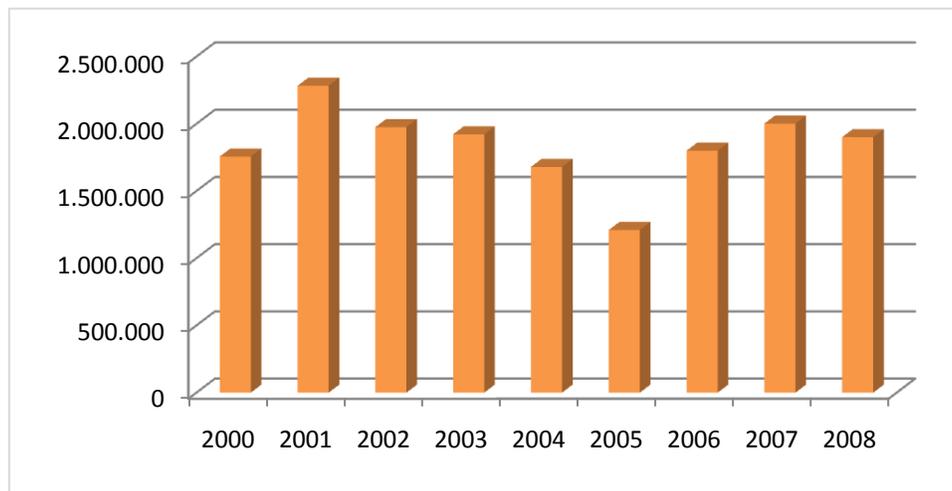


Figura 4. Volumen de Producción del cultivo Maíz de grano de todos los DDR.
Ciclo: Primavera-Verano. Modalidad: Riego + Temporal
Fuente: <http://www.siap.gob.mx>

En el Estado de México, el maíz se cultiva en su mayoría bajo condiciones de temporal y con muy variados niveles de tecnología, los rendimientos van desde menos de 1 t/ha, hasta de más de 8 t/ha en sistemas de producción tecnificados.

En el Estado de México, históricamente se cultivan en promedio alrededor de 620 mil hectáreas, de los cuales el 20% se cultiva bajo riego, el 26% bajo temporal favorable y el 54% restante se cultiva bajo temporal limitado. Existe una alta variación en los rendimientos, los cuales están asociados con los sistemas de producción. Los rendimientos se asocian con el desarrollo tecnológico, el uso de insumos, equipos y maquinaria, así como de las condiciones agroclimáticas y edáficas contrastantes en las zonas productoras de maíz en la entidad (Soria, 2009).

Los DDR que obtuvieron una mayor producción de maíz en el año 2000 fueron los de Atlacomulco y Toluca, para el 2005 el DDR Jilotepec y Valle de Bravo y para el 2008 Atlacomulco y Toluca volvieron a ser los más altos. Figuras 5, 6 y 7

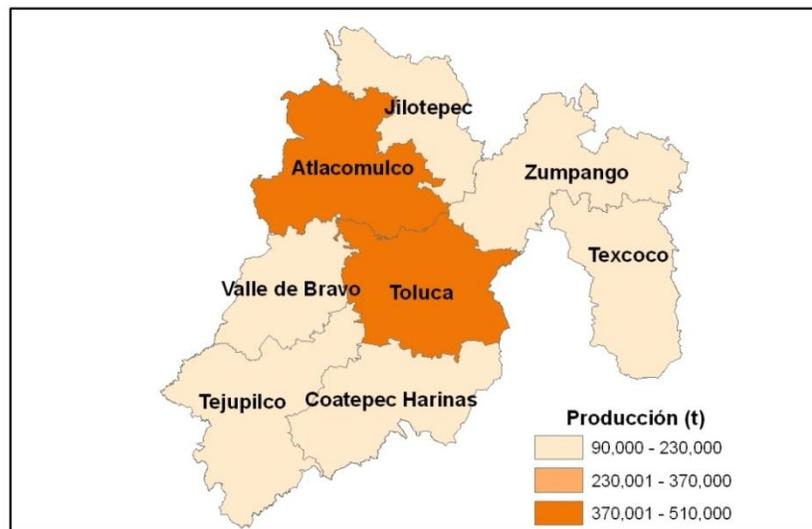


Figura 5. Volumen de producción de maíz de grano 2000
Ciclo: Primavera- Verano; Modalidad: Riego + Temporal
Fuente: <http://www.siap.gob.mx>

⁴ Los distritos de desarrollo rural son las unidades de desarrollo económico y social circunscritas a un espacio territorial determinado para:

- I. Articular y dar coherencia regional a las políticas de desarrollo rural;
- II. la realización de los programas operativos de la secretaria y la coordinación con las dependencias y entidades de la administración pública federal que participan en el programa nacional de desarrollo rural integral y los programas sectoriales que de él derivan, así como con los gobiernos estatales y municipales y para la concertación con las organizaciones de productores y los sectores social y privado; y
- III. hacer converger las acciones, servicios y recursos destinados a fomentar la producción agropecuaria, forestal, de la agroindustria, la acuicultura y en general el desarrollo integral de los habitantes del campo.

Fuente: <http://www.cem.itesm.mx/derecho/nlegislacion/federal/35/9.htm>

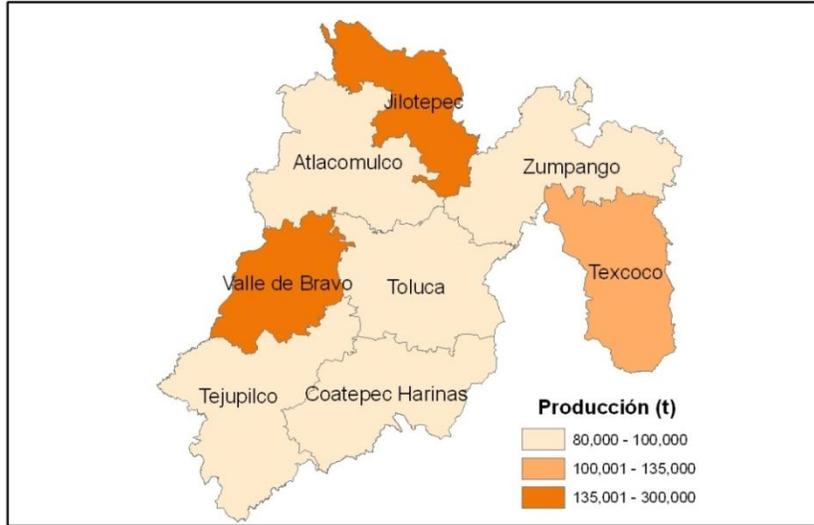


Figura 6. Volumen de producción de maíz de grano 2005
Ciclo: Primavera- Verano; Modalidad: Riego + Temporal
Fuente: <http://www.siap.gob.mx>

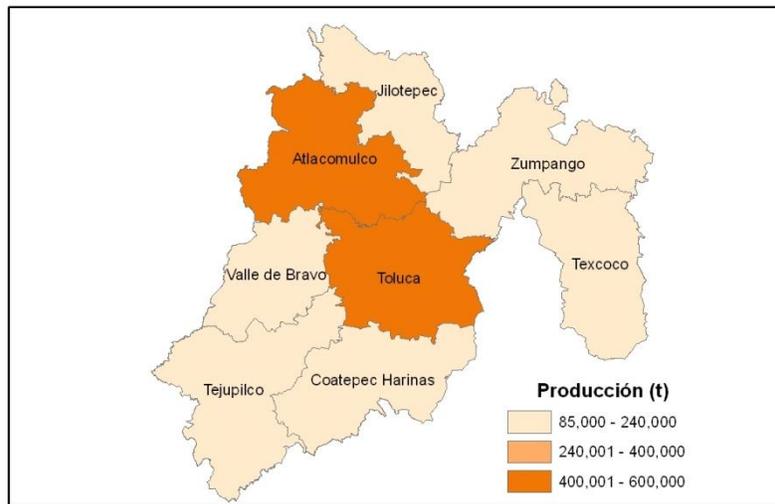


Figura 7. Volumen de producción de maíz de grano 2008
Ciclo: Primavera- Verano; Modalidad: Riego + Temporal
Fuente: <http://www.siap.gob.mx>

Este mismo resultado se presenta con la variable de superficie sembrada de maíz para el 2000 Atlacomulco y Toluca, para el 2005 Jilotepec y Valle de Bravo y para el 2010 los primeros vuelven a destacar. Figuras 8, 9 y 10

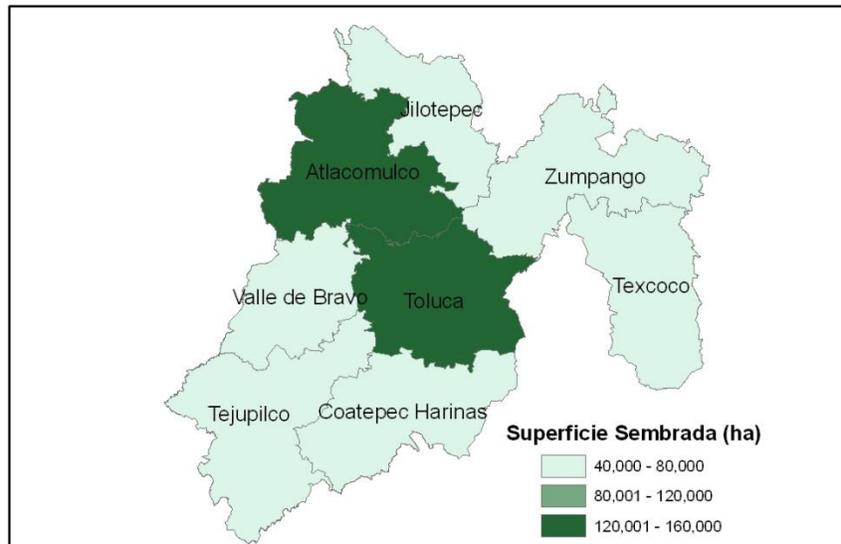


Figura 8. Superficie sembrada de maíz de grano 2000
 Ciclo: Primavera- Verano; Modalidad: Riego + Temporal
 Fuente: <http://www.siap.gob.mx>

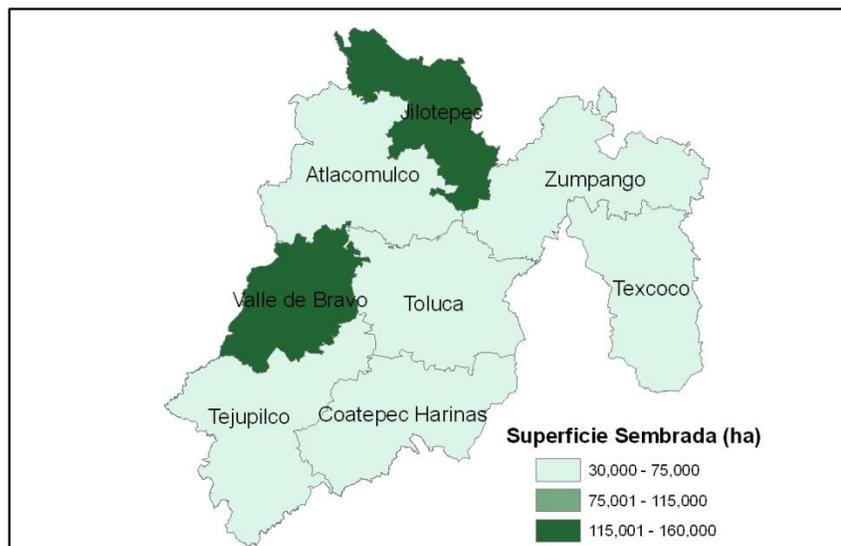


Figura 9. Superficie sembrada de maíz de grano 2005
 Ciclo: Primavera- Verano; Modalidad: Riego + Temporal
 Fuente: <http://www.siap.gob.mx>

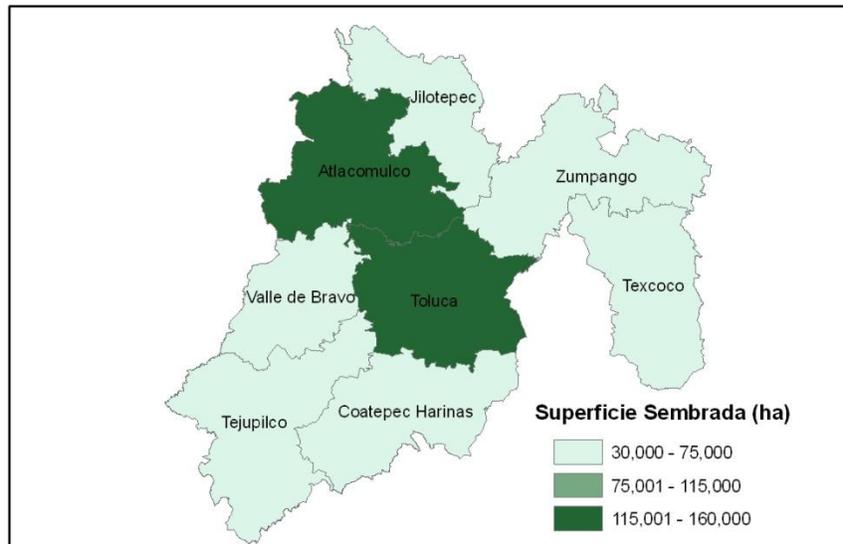


Figura 10. Superficie sembrada de maíz de grano 2008
 Ciclo: Primavera- Verano; Modalidad: Riego + Temporal
 Fuente: <http://www.siap.gob.mx>

3.3 Requerimientos del cultivo de maíz de grano en el Estado de México

Cuadro 1. Requerimientos del cultivo de maíz de grano en el Estado de México					
Maíz Zea mays Gramíneas Género: Zea	INIFAP. Cultivos en México	INIFAP. Cultivo en B.C.S	Con base a la metodología de Turrent (1986; 1992)	InfoAgro 2002	FAO
Temperatura óptima	Para la germinación entre 18 y 21° Crecimiento y desarrollo entre 10 y 28° C Óptima entre 21° a 32° C	Absoluta Max: 47° Absoluta Min: 10°	12-30°C	Requiere:25 a 30°C Germina-ción de la semilla:15 a 25°C Fructificación 20°C	Óptima Max: 33° Óptima Min: 18° Absoluta Max: 47° Absoluta Min: 10°
Precipitación	De la siembra a la madurez: 500 a 800 mm Regiones con precipitación anual de 700 a 1100 mm Requerimiento promedio por ciclo de 650 mm	-----	500-1500 mm	5 mm al día. 2000 mm	Anual (mm) Óptima Max:1200 Óptima Min: 600 Absoluta Max:1800 Absoluta Min:400
Suelos	-----	-----	-----	Suelos profundos, ricos en materia orgánica.	-----
Textura	Franco-limosos, Franco-arcillosos y Franco-arcillo- limosos	Mediana	6-12 m	-----	-----
Altitud	0-3300 m	0-4000m	1-2800 m	-----	Absoluta Max: 4000m

Elaboración: Propia

Fuente: - Ruíz et al, S/F. "Requerimientos agroecológicos de cultivos". Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. (INIFAP).Centro de investigación regional del Pacifico Centro.

- Meza y Martínez, 2004. "Características ambientales y áreas potenciales para cultivos en el municipio de la paz, B.C.S.". (INIFAP).Centro de investigación regional del Noroeste.

- Turrent F., A. (1986). "Estimación del potencial productivo actual de maíz y frijol en la República Mexicana". Colegio de Posgraduados Chapingo, México.

- INFOAGRO.2002. "El cultivo del maíz. Agroalimentación". [Documento en línea]. Disponible en

<http://www.infoAgro.com> [Consulta: enero 2010].

- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) "Maize requirements" [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/u3160e/u3160e04.htm> [Consulta: enero 2010]

3.4 Importancia del cultivo de la papa en el Estado de México.

La papa actualmente se registra como un cultivo de importancia económica y social en por lo menos 120 países; abarca casi todas las latitudes y continentes; además de que es posible cultivarla tanto en altitudes al nivel del mar como hasta 4 300 msnm., en este sentido es posible que sea el cultivo de mayor versatilidad climática y ecológica (Tapia M., Fries A., 2007). Sin contar que constituye el cuarto alimento más sembrado, a nivel mundial, por ser una fuente de alimentación muy importante para la sociedad, por su alto valor nutritivo.

En nuestro país, a pesar de su alto valor alimenticio y de que se produce prácticamente todo el año en más de 20 estados de la República, el consumo por persona apenas alcanza los 14 kilogramos anuales (Luque, S/F).

En general, las variedades de papa que son cultivadas para consumo humano se pueden clasificar en tres grupos, de acuerdo al color y tipo de cáscara (Ibid, S/F).

- 1) Color rosado
- 2) Cáscara lisa y de color blanco o amarillo
- 3) Color rojo, éste no se establece aún en México

En México, las variedades más utilizadas para consumo fresco son las siguientes: Alpha, Adora, Bintje, Cardinal, Diamante, Escord, Felsina, FL1867, Furore, Greta, Gigant, Mondial, Prevalent, Procura, entre otras. (Ibid, S/F).

Se considera que el 51% del total de la superficie cosechada se cultiva bajo condiciones de riego, principalmente en los distritos del Valle de Toluca, Tejupilco y Valle de Bravo. En lo que corresponde a la producción por ciclo agrícola, el 72% se obtiene en el ciclo primavera-verano, mientras que el 28% se produce en el otoño-invierno.

En el Estado de México se produce la papa de color rosado, Cáscara lisa, de color blanco o amarillo, las variedades mexicanas se siembran en el 36% de la superficie y entre ellas sobresalen: Rosita (15%), Marciana (6%) y San José (5%). (Rubio, C.O.A. et. al, 2000). También se cultivan la Motzamba y Tollocan las cuales generalmente se cotizan a menor precio que la variedad blanca o Alpha. (Claridades Agropecuarias, 1998)

Cabe mencionar que existen programas formales de producción de semilla certificada principalmente para las variedades Alpha, Stlantic, Gigant y Mondial; con las que se abastece el 20% de los requerimientos de semilla a nivel nacional y el resto (80%) es sembrado con baja calidad fitosanitaria. (Rubio et. al, 2000)

De acuerdo con datos de potencialidad del INIFAP, existen condiciones con aptitud para el cultivo de papa sobre todo en los municipios de Villa Victoria, Villa de Allende, Valle de Bravo Toluca, Metepec, Lerma, Zinacantepec, de acuerdo con su clima y suelos (Franco, 2005).

Para el año 2003 el Estado de México ocupó el quinto lugar en producción nacional de papa, con una producción de 112,132.4 toneladas, precedido por los estados de: Sinaloa, Sonora, Chihuahua y Nuevo León (SAGARPA. 2005. Subdelegación de Planeación y Desarrollo Rural. Estado de México).

En el Estado de México la producción estatal de papa no ha tenido considerables variaciones en su producción ya que se ha mantenido constante, tomando en cuenta los últimos nueve años; el volumen más alto de producción se presentó en el año 2007 con 155,458.86 t, mientras que el año con menos volumen de producción fue el 2002 con 89,569.70 t. (Figura 11)

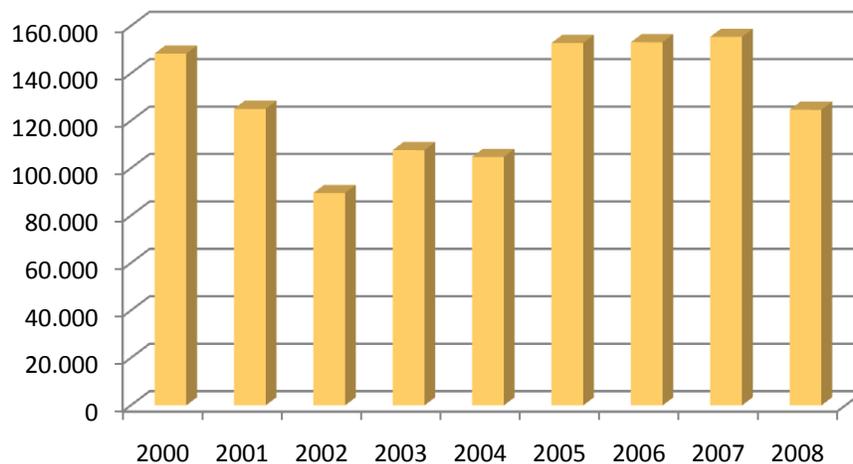


Figura 11. Volumen de Producción del cultivo Papa de todos los DDR.
Ciclo: Primavera-Verano. Modalidad: Riego + Temporal
Fuente: <http://www.siap.gob.mx>

Los DDR como Texcoco, Toluca y Valle de bravo para el año 2000 y 2005 eran los que obtenían una producción mayor en contraste con los demás DDR, sin embargo, para el año 2008 solo Texcoco y Toluca sembraron papa como se observa en las siguientes figuras. Figuras 12, 13 y 14

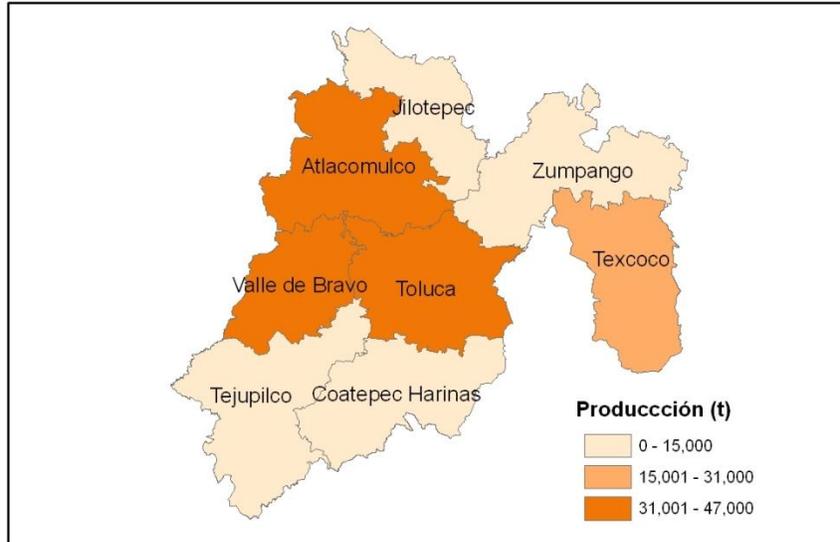


Figura 12. Volumen de producción de papa 2000
 Ciclo: Primavera- Verano; Modalidad: Riego + Temporal
 Fuente: <http://www.siap.gob.mx>

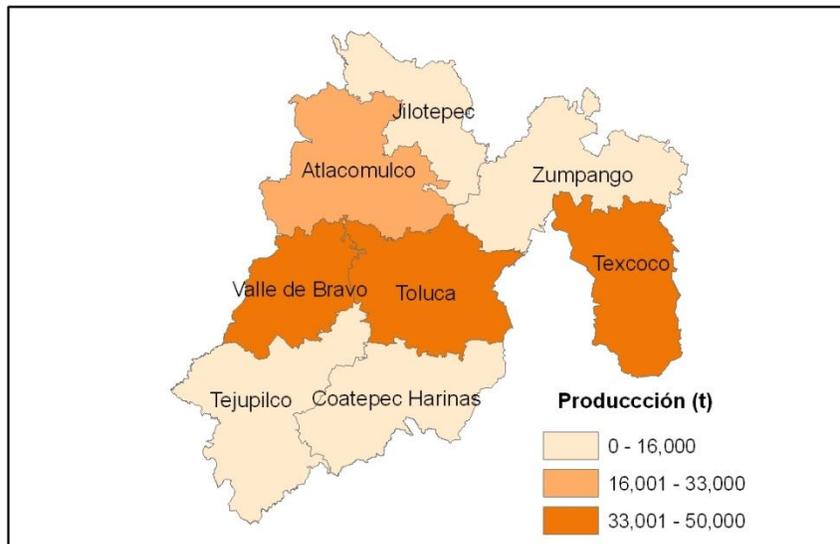


Figura 13. Volumen de producción de papa 2005
 Ciclo: Primavera- Verano; Modalidad: Riego + Temporal
 Fuente: <http://www.siap.gob.mx>

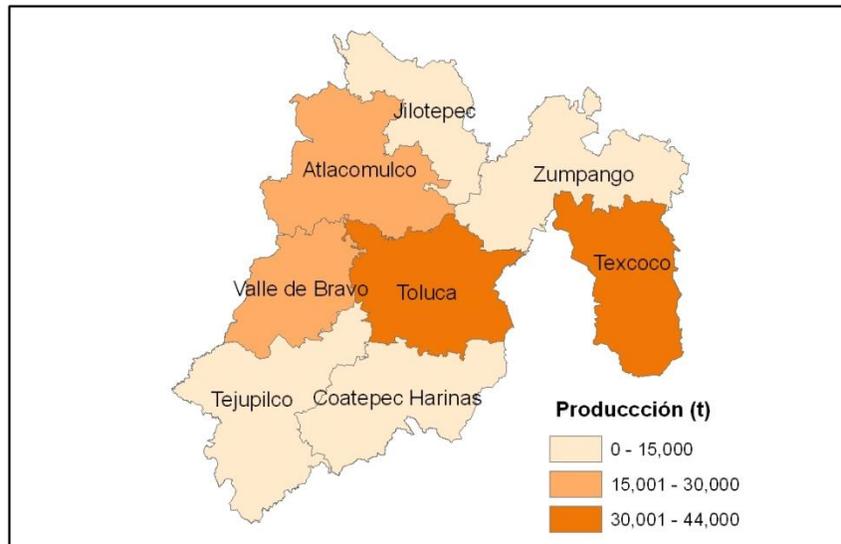


Figura 14. Volumen de producción de papa 2008
Ciclo: Primavera- Verano; Modalidad: Riego + Temporal
Fuente: <http://www.siap.gob.mx>

Los DDR con más superficie sembrada de papa para el año 2000 eran Atlacomulco y Toluca, este último DDR se vuelve a presentar para el año 2005 junto con el DDR Valle de Bravo, y para el año 2008 sólo el DDR de Toluca vuelve a ser importante. Figuras 15, 16 y 17

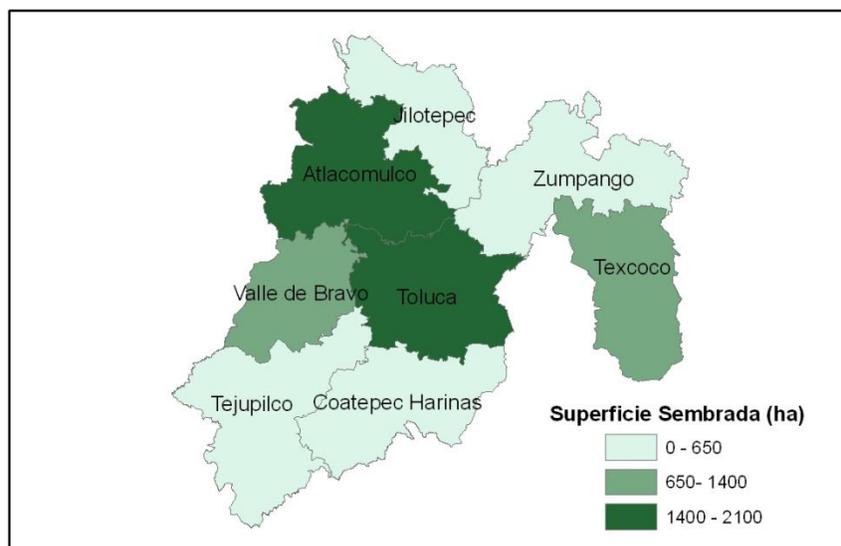


Figura 15. Superficie sembrada de papa 2000
Ciclo: Primavera- Verano; Modalidad: Riego + Temporal
Fuente: <http://www.siap.gob.mx>

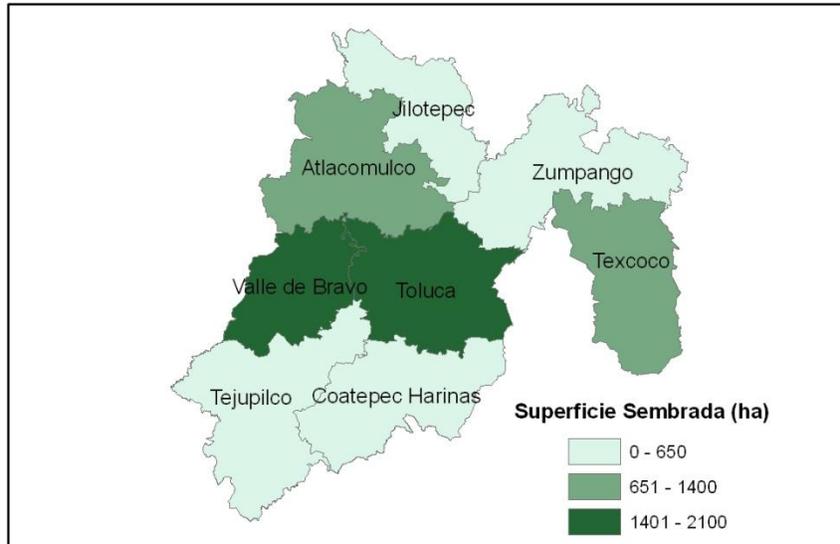


Figura 16. Superficie sembrada de papa 2005
 Ciclo: Primavera- Verano; Modalidad: Riego + Temporal
 Fuente: <http://www.siap.gob.mx>

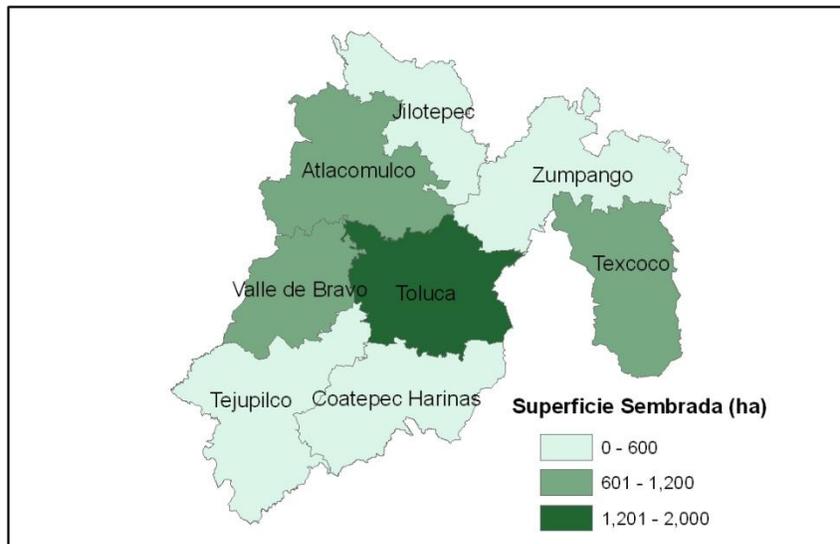


Figura 17. Superficie sembrada de papa 2008
 Ciclo: Primavera- Verano; Modalidad: Riego + Temporal
 Fuente: <http://www.siap.gob.mx>

3.5 Requerimiento del cultivo de la papa en el Estado de México.

Cuadro 2. Requerimientos del cultivo de papa en el Estado de México.				
Papa, patata Solanum tuberosum L.	ECOCROP 1. FAO, 1971.	INIFAP. Cultivos en México	INIFAP. Cultivo en B.C.S	FAO
Temperatura óptima	15-20° C	15.5 a 18.3° C	-----	Óptima Max: 25° Óptima Min: 15° Absoluta Max: 30° Absoluta Min: 7°
Precipitación	900 a 4100 mm	500 a 700 mm Período vegetativo 400-1000 mm Bien distribuidos durante el ciclo del cultivo 1000 a 1200 mm. En regiones temporales.	-----	Anual (mm) Óptima Max: 800 Óptima Min: 500 Absoluta Max: 2000 Absoluta Min: 250
Suelo	Margas arenosas, margas limo y turbas	Regosol, Arenosol, Andosol, Mólico, Castañozem, Feozem, Cambisol, Luvisol y Ferralsol.	-----	-----
Altitud	400-2500 m	3000 m	0-2800	Absoluta Max: 2800m
Textura	-----	Franca, migajón arcillo- limosa y franco- arenosa.	Franca	Óptima: medio orgánico Absoluta: pesado medio
Pendiente óptima	-----	0-4%	0-4 %	0-10%

Elaboración: Propia

Fuente: * Ecocrop. Base de datos elaborada para ubicar las especies de plantas particulares. Disponible en:

<http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/cropView?id=1971>

* Ruíz, et al, S/F. “Requerimientos agroecológicos de cultivos”. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. (INIFAP).Centro de investigación regional del Pacifico Centro.

* Meza y Martínez, 2004. “Características ambientales y áreas potenciales para cultivos en el municipio de la paz, B.C.S” . (INIFAP).Centro de investigación regional del Noroeste.

* Turrent F., A. (1986). “Estimación del potencial productivo actual de maíz y frijol en la República Mexicana”. Colegio de Posgraduados Chapingo, México.

* Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) “Maize requirements”. Disponible en:

<http://www.fao.org/docrep/u3160e/u3160e04.htm> [Consulta: enero 2010].

3.6 Conceptos de zonificación agro ecológica (ZAE).

La zonificación agro-ecológica (ZAE), de acuerdo con los criterios de FAO, define zonas con base en combinaciones de suelo, fisiografía y características climáticas. Los parámetros particulares usados en la definición se centran en los requerimientos climáticos y edáficos de los cultivos y en los sistemas de manejo bajo los que éstos se desarrollan. Cada zona tiene una combinación similar de limitaciones y potencialidades para el uso de tierras, y sirve como punto de referencia de las recomendaciones diseñadas para mejorar la situación existente de uso de tierras, ya sea incrementando la producción o limitando la degradación de los recursos. (FAO, 1997)

La Zonificación Agro-ecológica (ZAE) puede ser definida como el proceso de identificación de áreas con características propias, que las diferencian de otras áreas; su caracterización con respecto a factores físicos (clima, suelo, formas de la tierra), biológicos (vegetación, fauna,) y socio económicos (presencia del hombre y sus actividades), y su evaluación con relación en la aptitud de uso sostenido para algunos Tipos de Uso de la Tierra (TUT). Los TUT considerados pueden ser definidos a diferentes niveles de generalización o, a nivel de cultivos específicos, dependiendo de la finalidad de zonificación y de la información disponible. (Couto, 1996)

Otros autores como Primault, citado por Romo (1985) y Martínez (1994), identifican dos grandes grupos de métodos de zonificación: los agroclimáticos y los agroecológicos. El agroclimático se realiza con escalas relativamente grandes (1: 200,000) y es para dar seguimiento a la evolución de parámetros meteorológicos básicos y su relación con grupos de cultivos con la misma capacidad de repuesta al clima, para luego dar paso a estudios agroclimáticos más detallados de unos cuantos kilómetros cuadrados, donde se analizan parámetros meteorológicos más específicos con relación a una especie vegetal o grupo de variedades. Después de ese nivel, las variaciones espaciales dependen de factores ecológicos como suelo, topografía, biota, etc., y factores agro-técnicos, los cuales pueden proporcionar información a nivel de hectárea o de área.

Romo ,1985 menciona los métodos de zonificación integrales que incluyen tanto el marco biofísico como el marco socioeconómico, ya que los métodos agroclimáticos y agroecológicos abarcan apenas el marco biofísico de la zonificación, descuidando los aspectos socioeconómicos que constituyen un marco de referencia importante a considerar en este tipo de trabajos. (Bárceñas *et al.*, 2002)

Por otro lado, Rojas (1985) menciona que la mayoría de las metodologías para zonificar cultivos tienen como factor común el clima, que delimita zonas con diferentes comportamientos ambientales, dentro de las cuales tendremos condiciones favorables o adversas para el desarrollo y producción del cultivo. Al mismo tiempo menciona que la integración de factores climáticos y edáficos puede definir situaciones que permiten dilucidar cual área es más conveniente para el desarrollo de los cultivos. El clima, a través de sus diversos componentes (luz, temperatura, precipitación, etc.) es un factor fundamental en la exploración de espacios geográficos para el establecimiento de nuevos cultivos, así como reubicar o expandir los ya existentes.

3.7 Antecedentes de Zonificación Agro-ecológica en México.

Una de las metodologías de zonificación más empleadas en México es la que propone la FAO (1976) para realizar caracterizaciones agroecológicas para cultivos de temporal a nivel macro climático.

Los primeros trabajos corresponden a Papadakis (1970b), que consiste en la delimitación de áreas geográficas mediante clasificaciones climáticas tradicionales modificadas para detectar la aptitud agrícola de los distintos climas. Este trabajo fue realizado a nivel mundial (González, 1998).

Por otro lado, Ortiz (1981) realizó un trabajo a nivel nacional utilizando la metodología propuesta por la FAO (1978) para caracterizar zonas agroecológicas de maíz, frijol y sorgo basándose en las cartas de fisiografía, textura y fases físicas del suelo editadas por el ahora Instituto Nacional de Estadística y Geografía, así como en los datos de temperatura y precipitación del Sistema Meteorológico Nacional.

Romo (1985) realizó una zonificación de cinco oleaginosas a nivel nacional para ello requirió un conocimiento de las zonas productoras de los cultivos bajo análisis, así como datos promedios de sus respectivos rendimientos. Las zonas se identificaron al menos a nivel municipal, y en cuanto a los rendimientos deberían ser promedios de periodos recientes mínimo de 5 años.

Turrent (1986) con base en la información estadística y experimental (1950-1980) sobre maíz y frijol, existente en el país, evalúa el potencial productivo actual de estos cultivos en toda la república, identificando las regiones agrícolas con mayor oportunidad para aumentar su producción.

García (1988) realizó la Zonificación del Estado de Guanajuato para sorgo, maíz, frijol y trigo bajo condiciones de riego, por lo que las modificaciones a la metodología implica la adecuación de irrigación, considerando los datos de rendimiento disponibles (6 años). Se utilizó cartografía 1:500 000.

A partir de 1993, la entonces Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH), a través del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) utilizó la metodología de la FAO y el apoyo de un sistema de información geográfica para la zonificación de cultivos anuales y perennes en diferentes estados de la República Mexicana. Este procedimiento, que se sigue utilizando a la fecha, adecúa la zonificación a la información disponible y al sistema de cómputo utilizado Sistemas de Información Geográfica (SIG). Hasta el momento, esta institución cuenta con una base de datos muy amplia sobre información climática, edafológica y fenológica a nivel Nacional. (Bárceñas *et al.*, 2002)

CAPÍTULO 4.

MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Ubicación del área de estudio.

Geográficamente el Estado de México se ubica en la parte sur de la altiplanicie central en una de las regiones más elevadas del país. Sus coordenadas geográficas extremas son al norte $20^{\circ}17'$, al sur $18^{\circ}22'$ de latitud norte; al este $98^{\circ}36'$, al oeste $100^{\circ}37'$ de longitud oeste. (INEGI, 1995). Figura 18

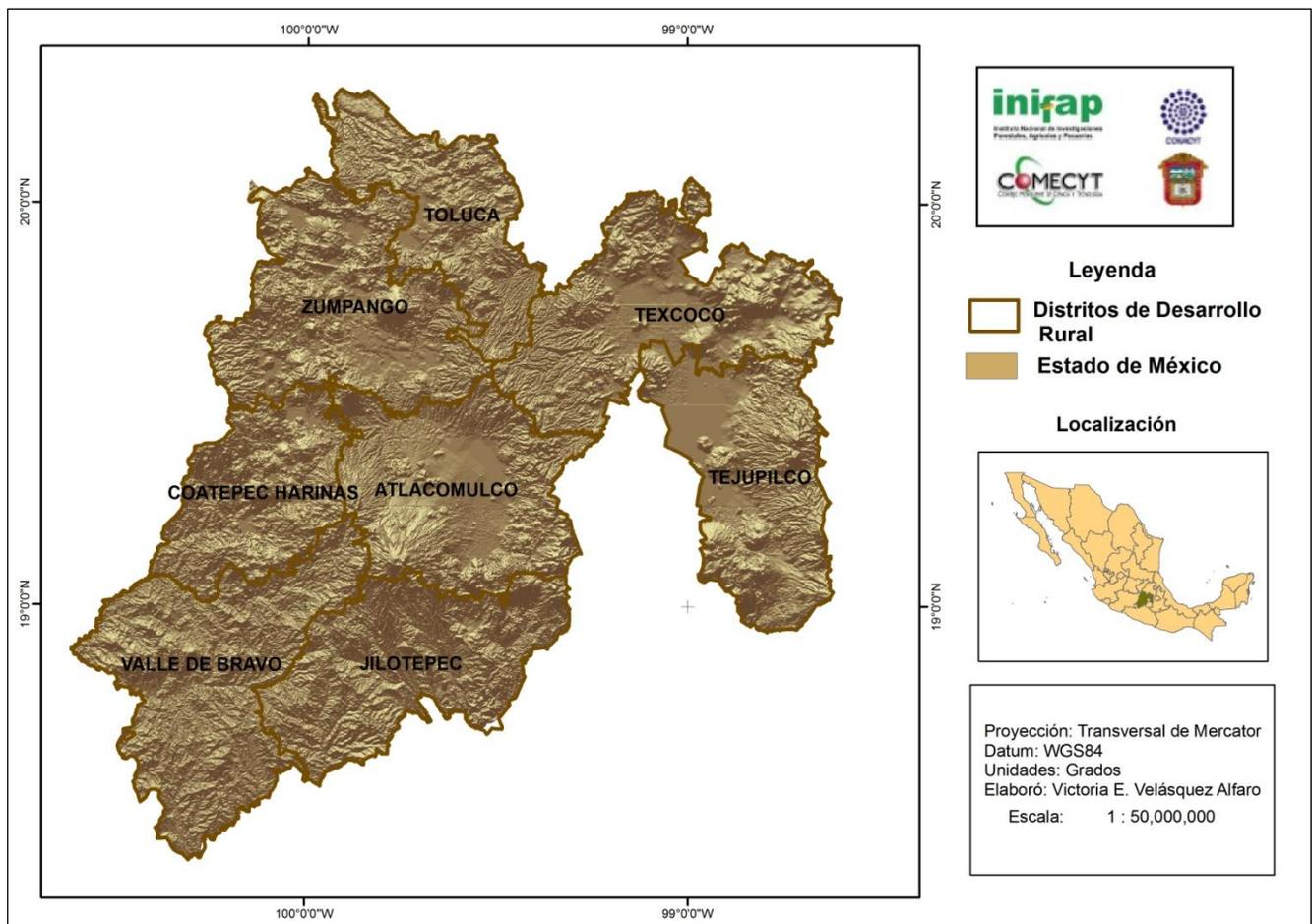


Figura 18. Localización del Estado de México

Colinda al norte con Michoacán de Ocampo, Querétaro de Arteaga e Hidalgo; al este con Tlaxcala, Puebla, una porción del estado Hidalgo y el Distrito Federal; al sur con Morelos y Guerrero; al oeste con Guerrero y Michoacán de Ocampo. (INEGI, 1995).

El territorio del estado de México representa el 1.1 % del porcentaje territorial de la superficie total del país con una superficie estatal de 22 357 Km² (INEGI, 1995) de los cuales el 34% es de uso Agrícola, 17% de uso pecuario, 34% de uso forestal, 0.69% ocupada por cuerpos de agua, 4% le corresponden a zonas urbanas, 0.27% a zonas erosionadas y el restante 10% lo acaparan otros usos (Soria, et al., 2005). Políticamente el estado se divide en 125 municipios, cuya capital es la ciudad de Toluca de Lerdo (Soria, 2009).

Entre la variedad de climas que se presentan en el Estado de México predominan el templado o mesotérmico. Las temperaturas medias anuales en el suroeste son mayores a los 20° C, en tanto que en el centro y norte están por debajo de 13° C. La precipitación media anual oscila entre los 600 y 1800 mm. (INEGI, 2000).

Los climas templados se concentran en los valles altos de la parte norte, centro y este de la entidad, particularmente en las inmediaciones del Valle de México. Siguen en importancia, por su influencia y extensión, el clima semifrío, que se encuentra distribuido en regiones del centro y este, principalmente en las cercanías de Toluca en menor grado se encuentra los climas cálidos y semicálidos, los cuales se localizan en el extremo sur, esto es en los límites con el estado de Guerrero. El clima frío rige sólo en algunas zonas pequeñas en las partes más elevadas de la entidad como son el Nevado de Toluca y el Popocatepetl (Ibid., 2000).

La orografía de la entidad es definida por valles, mesetas y altas montañas. Destacan el Volcán Popocatepetl, con 5,500 msnm; el Volcán Iztaccíhuatl, con 5,220 msnm y el Volcán Xinantecatl o Nevado de Toluca, con 4,680 msnm. Cabe mencionar que Toluca de Lerdo, la capital del estado, es la capital más alta del país al ubicarse a una altitud de 2,660 metros.

En cuanto a la hidrografía del territorio, podemos mencionar los principales ríos que abastecen al estado de agua como el Lerma, San Felipe, Temascaltepec, Sultepec, Tejalpa, La Asunción, La Venta y San Juan del Río, entre otros. También encontramos los lagos de Zumpango y Nabor Carrillo. Ocho presas almacenan el agua de la región, Valle de Bravo, Villa Victoria, Huapango, Tepetitlán,

Guadalupe, Danxhó, Ignacio Ramírez y Antonio Alzate (Explorando México, 2010). Cabe mencionar que el estado está comprendido en tres grandes cuencas: Lerma, ocupa el 27.3 por ciento de la superficie estatal; el Balsas 37.2 por ciento y el Pánuco 35.5 por ciento (Gobierno del Estado de México, 2010).

4.2 Procedimiento para la generación de los escenarios downscaling (Ampliación de escala).

Los datos que se utilizaron para la generación de escenarios, se obtuvieron del Meteorológico Nacional y corresponden a los obtenidos diariamente (DLY) hasta marzo del 2007 de los siguientes estados: Estado de México, Guerrero, Hidalgo, Michoacán, Morelos, Puebla y Tlaxcala.

Como los datos estaban en un formato que no se podía trabajar directamente se ordenaron en Excel y posteriormente, con una sistematización que se desarrolló para el programa SAS (Statistical Analysis System). Se obtuvieron todas aquellas estaciones que poseían 30 años o más de información. Figura 19

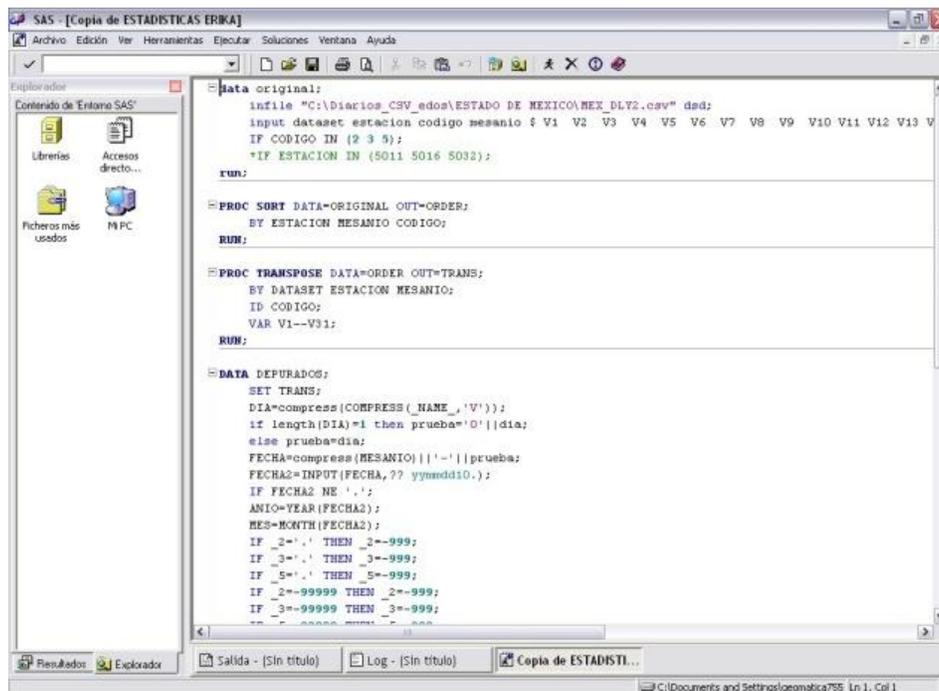


Figura 19. Programa de SAS

El programa SAS colocó cada estación en un formato listo para procesarlos, en Excel nuevamente para completar años, meses, días faltantes en cada una de las estaciones, con tablas dinámicas. Figura 20

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	FECHA2	fecha_CRO1Mes	AÑO	estacion_2	_3	_5								
2	3288	01/01/1969	1	1969	15130	25	10.5	0						
3	3289	02/01/1969	1	1969	15130	23	11	2.3						
4	3290	03/01/1969	1	1969	15130	23.5	10.5	0						
5	3291	04/01/1969	1	1969	15130	22	11	2.2						
6	3292	05/01/1969	1	1969	15130	20	9.5	0						
7	3293	06/01/1969	1	1969	15130	19	7	0						
8	3294	07/01/1969	1	1969	15130	22	7	0						
9	3295	08/01/1969	1	1969	15130	22.5	7	0						
10	3296	09/01/1969	1	1969	15130	23	8	0						
11	3297	10/01/1969	1	1969	15130	23	9	0						
12	3298	11/01/1969	1	1969	15130	23.5	10	0						
13	3299	12/01/1969	1	1969	15130	24	8.5	0						
14	3300	13/01/1969	1	1969	15130	23	10	0						
15	3301	14/01/1969	1	1969	15130	23	10	0						
16	3302	15/01/1969	1	1969	15130	22	10	0						
17	3303	16/01/1969	1	1969	15130	22.5	8.5	0						
18	3304	17/01/1969	1	1969	15130	21	8.5	0						
19	3305	18/01/1969	1	1969	15130	20.5	9	0						
20	3306	19/01/1969	1	1969	15130	20.5	7	0						
21	3307	20/01/1969	1	1969	15130	21	8	0						
22	3308	21/01/1969	1	1969	15130	22.5	8	0						
23	3309	22/01/1969	1	1969	15130	22	8	0						
24	3310	23/01/1969	1	1969	15130	22.5	8	0						
25	3311	24/01/1969	1	1969	15130	24	7.5	0						
26	3312	25/01/1969	1	1969	15130	23	8	0						

Figura 20. Estación con datos faltantes

Las tablas dinámicas se utilizaron especialmente para ubicar los valores perdidos y rellenarlos cuando mostraban el número -999 valores asignados en SAS para identificarlas más rápidamente. Las variables que se procesaron para el análisis fueron la Temperatura Máxima, la Temperatura Mínima y Precipitación. Para las dos primeras variables se obtuvieron sus promedios mensuales y para la tercera variable se acumulan los datos diarios para obtener los mensuales. Se tuvieron que completar los faltantes debido a que había sólo 30 estaciones que cumplían con el criterio de 30 años como mínimo, (1961-1990) así como también para procesarlo en el programa SDSM 4.2 como no eran las suficientes para cubrir todo el Estado de México se realizó un radio de distancia “buffer”⁵ de 20 km alrededor de este mismo quedando 74 estaciones que cubrieron todo el estado. Figura 21

⁵ Polígono con forma envolvente trazado alrededor de un objeto geográfico (punto, línea o polígono). Generalmente, se crean parámetros de distancia o área para crear un buffer que sirven de esqueleto para el trazado de la envoltura.

<http://www.gabrielortiz.com/>

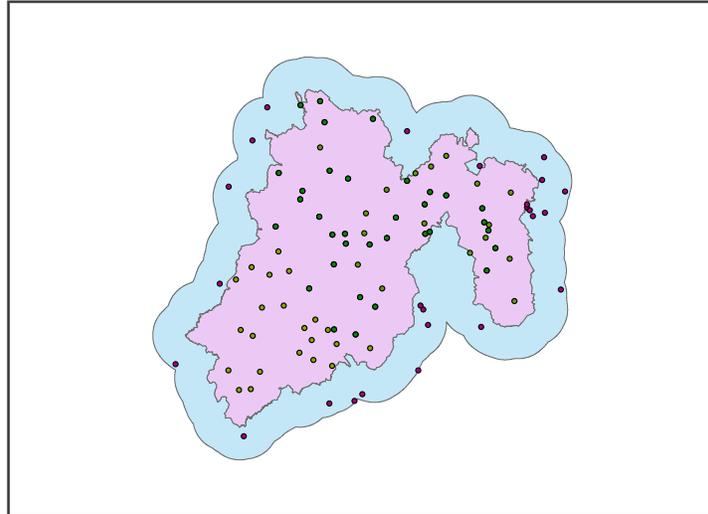


Figura 21. Estaciones del Estado de México y Estados colindantes.

Una vez ordenados y completos los datos de cada una de las estaciones, el siguiente paso fue guardar cada variable en un archivo con extensión DAT, en carpetas con el nombre de cada estación, también, se le añadió la carpeta de los predictores que se descargo del siguiente enlace:

http://www.ccsn.ca/Download_Data/Statistical_Downscaling_Input_Introduction-e.html.

Por último se crearon los escenarios A2 y B2 de los modelos HadCM_3 y el CGCM_2 utilizando cada una de las interfaces del SDSM 4.2 y manipulando ciertos detalles y cuyos menús principales se listan a continuación:

1. **QUALITY CONTROL.** Esta interfaz es la primera del programa y como su nombre lo dice controla la calidad de los datos (preeditand)
2. **TRANSFORM DATA:** Sin cambios
3. **SCREEN VARIABLES** la tercera interfaz, nos permite elegir los predictores que tengan mayor correlación con las variables.
4. **CALIBRATE MODEL** esta interfaz como su nombre lo dice va a calibrar las variables independientes (predictor) con las variables dependientes que son los de la carpeta NCEP además de generar el archivo que nos ayuda a generar los escenarios posteriormente.
5. **WEATHER GENERATOR,** en esta interfaz se crea un archivo que se ocupo para comparar los resultados en la interfaz **Compare Results.**
6. **SUMMARY STATISTICS,** la interfaz crea un archivo con extensión TXT., a partir de otro archivo con extensión OUT., uno para las variables dependientes que son las Modeladas y otras para las variables independientes (Observadas)
7. **COMPARE RESULTS,** esta interfaz sirve para comparar los resultados de los dos archivos que se crearon con anterioridad, y lo presentan en gráficas de barras y de líneas dando un click en **Bar** y **Line.**
8. **SCENARIO GENERATOR,** En esta intefaz se crean los escenarios A2 y B2. Figura 22

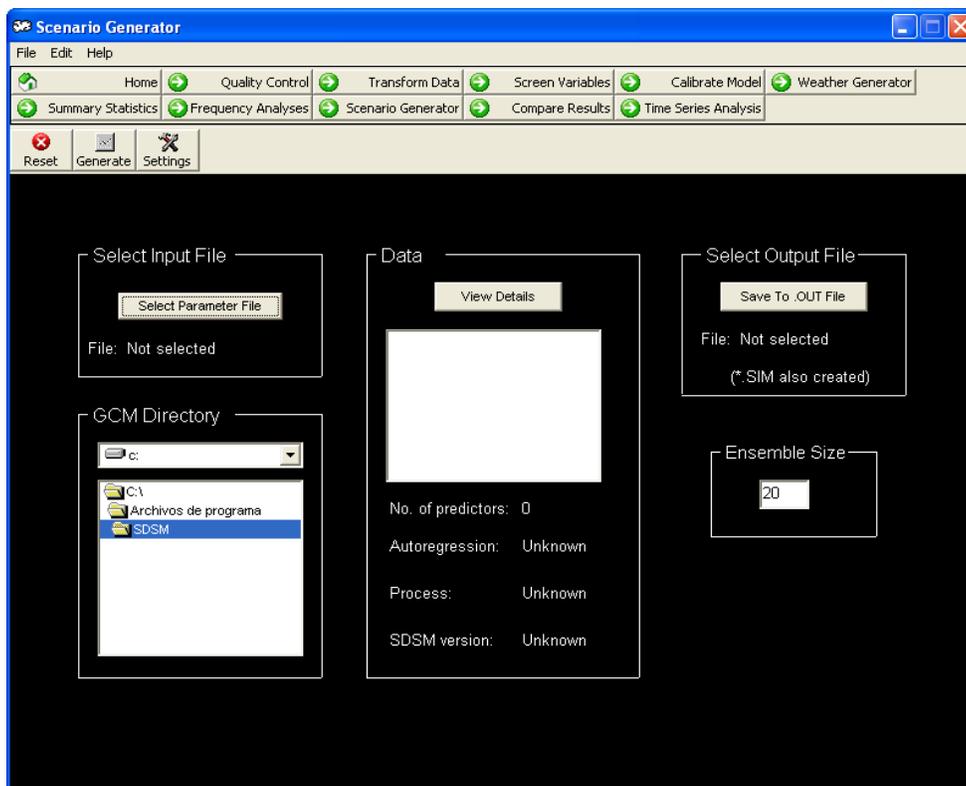


Figura 22. Interfaz de Downscaling

4.3 Generación de los mapas con escenarios de cambio climático.

El Programa SDMS 4.2 generó archivos con extensión “TXT “por cada estación que fueron procesados en hojas de cálculo de Excel. Primeramente se importaron y fueron dispuestos en columnas para realizar un promedio diario de las 20 simulaciones. En el caso de las variables temperatura máxima y mínima se realizaron promedios mensuales, respectivamente; en precipitación y acumulación mensual de las 74 estaciones consideradas en el estudio.

Una vez obtenidos los datos mensuales de todas las estaciones climáticas, se recopilaron en un archivo separado por variable mensual (Temperatura máxima, mínima y precipitación), por modelo (HadCM3 y CGCM2), por escenario (A2 y B2) y por año de interés (2030, 2050 y 2080). Se elaboraron un total de 36 archivos para cada modelo (Cuadro 3).

Cuadro 3. Total de mapas elaborados para cada modelo

Modelo CGCM_2	Modelo HadCM_3
Precipitación 2030 escenario A2	Precipitación 2030 escenario A2
Precipitación 2030 escenario B2	Precipitación 2030 escenario B2
Precipitación 2050 escenario A2	Precipitación 2050 escenario A2
Precipitación 2050 escenario B2	Precipitación 2050 escenario B2
Precipitación 2080 escenario A2	Precipitación 2080 escenario A2
Precipitación 2080 escenario B2	Precipitación 2080 escenario B2
Temperatura máxima 2030 escenario A2	Temperatura máxima 2030 escenario A2
Temperatura máxima 2030 escenario B2	Temperatura máxima 2030 escenario B2
Temperatura máxima 2050 escenario A2	Temperatura máxima 2050 escenario A2
Temperatura máxima 2050 escenario B2	Temperatura máxima 2050 escenario B2
Temperatura máxima 2080 escenario A2	Temperatura máxima 2080 escenario A2
Temperatura máxima 2080 escenario B2	Temperatura máxima 2080 escenario B2
Temperatura mínima 2030 escenario A2	Temperatura mínima 2030 escenario A2
Temperatura mínima 2030 escenario B2	Temperatura mínima 2030 escenario B2
Temperatura mínima 2050 escenario A2	Temperatura mínima 2050 escenario A2
Temperatura mínima 2050 escenario B2	Temperatura mínima 2050 escenario B2
Temperatura mínima 2080 escenario A2	Temperatura mínima 2080 escenario A2
Temperatura mínima 2080 escenario B2	Temperatura mínima 2080 escenario B2

A los archivos generados se les asignaron coordenadas geográficas de cada estación climática luego, se convirtieron a formato TXT y posteriormente, en el Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcGIS 9.3, se transformaron al formato de datos geográficos vectoriales “*shape*”⁶ y por último a cobertura (Coverage).

⁶ *Shape*: Formato de datos geográficos vectoriales desarrollado por ESRI e implementado en sus programas de Sistemas de Información Geográfica (SIG's) (ArcView, ArcGIS) Es un formato de gran versatilidad y cuya estructura es ha sido publicada. Aun que tiene el enorme inconveniente de no ser topológico, su solución es muy parecida a la topología real, lo que hace ideal para la difusión de base de datos geográficos con atributos asociados. Literalmente, *Shape* significa ‘forma’ (forma de un objeto geográfico). <http://www.gabrielortiz.com/>

En el módulo ArcInfoWorkstation de ArcGis 9.3 se realizó la interpolación de cada variable climática con el método “Inverse Distance Weighting”(IDW) utilizando 8 estaciones climatológicas vecinas, generando mapas mensuales en formato “*raster*”⁷ de modelos, variables y escenarios para los años 2030, 2050 y 2080, los cuales fueron “recortados” para la cobertura del Estado de México.

⁷ *Raster*: Modelo de datos geográfico que representa la información a través de una malla regular de tipo un mosaico, donde cada celda (pixel) es la unidad mínima de información que lleva asociado un número. Este número corresponde a un valor de un fenómeno geográfico en el punto de la superficie terrestre que representa la celda. En general las estructuras de los datos raster son más efectivas que el modelo vectorial para representar datos continuos de objetos geográficos sin límites precisos (ejemplo un modelo digital de un terreno o una nube de contaminación) <http://www.gabrielortiz.com/>

4.4 Generación de los mapas de zonas aptas de cultivo actuales.

Por medio del Análisis Multicriterio ⁵ y utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG), se determinaron zonas potenciales para el cultivo de maíz de grano y papa. Los criterios fueron valorados por medio de una encuesta de opinión a expertos, usando la información de cada uno, así como el mecanismo de valoración dentro y entre cada uno de ellos. Conseguidos los resultados y el peso de importancia para cada variable se emplearon dos metodologías. La primera se trata de la Metodología de Turrent (1986) para el cultivo de Maíz de grano y la segunda se trata de la metodología de la FAO (1976).

La metodología de Turrent, 1986 se caracteriza por utilizar la relación: precipitación/evaporación (P/E) de junio a septiembre, la profundidad del suelo y la altitud como los principales criterios para estratificar las tierras de labor (García, et al. 1998). (Cuadro 4)

Cuadro 4. Provincias agronómicas para maíz de temporal en el Estado de México.

Provincia Agronómica	Cociente p/e*	
	Junio - Septiembre	Profundidad de suelo (m)
Muy buena productividad	0.9 – 2.0	> 1.0
Buena productividad	> 2.0	> 1.0
Mediana productividad	0.7 – 2.0	>1.0
	0.5 – 0.9	< 1.0
Baja productividad	< 0.5	>1.0
	0.5 – 0.7	< 1.0
Tierras marginales	< 0.5	> 1.0

* p/e = precipitación/evaporación.

⁵ El análisis multicriterio es un proceso de aprendizaje continuo y cíclico, que comienza con un análisis del contexto de decisión, pasa por definir los diferentes elementos del modelo de evaluación y vuelve de tanto en tanto a las fases iniciales hasta que se logre definir una estructura de evaluación estable, que produzca tranquilidad al evaluador. El resultado final del análisis es una valoración numérica de las opciones, lo cual nos permite tomar una decisión con la tranquilidad que se puede justificar tanto cualitativa como cuantitativamente: al cabo del análisis podremos explicar a cualquiera, en detalle, las razones de nuestra elección. (Sánchez, 2010) es una herramienta muy necesaria en aplicaciones de las ciencias ambientales como evaluación de impactos ambientales, evaluación estratégica ambiental de políticas, programas y proyectos, planificación territorial, etcétera (García, 2004).

En forma resumida, Partovi y Hopton (1994) mencionan que las etapas principales del Análisis Multicriterio son:

- a) El diseño de la estructura jerárquica del problema,
- b) El procedimiento de priorización o asignación de los pesos de las preferencias del decisor, y
- c) El cálculo de los resultados (síntesis).

Se utilizaron las siguientes variables climáticas, edáficas y topográficas de información cartográfica digital en formato *raster*, para obtener las áreas aptas del cultivo de maíz de grano.

- Altura
- Tipo de Suelo
- Fases Físicas
- Textura
- Pendiente
- Precipitación
- Evaporación

En el caso del cultivo de la papa los *raster* empleados fueron los siguientes:

- Tipo de Suelo
- Textura
- Altura
- Fases Físicas
- Pendiente
- Temperatura
- Precipitación

Los *raster* fueron generados o procesados por el INIFAP con anterioridad, la fuente de la mayoría de los mapas es el servidor de INEGI

(<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/servicioswms/default.aspx>) para este estudio. A los *raster* se asignó un peso por cada variable Cuadros (5,6) obtenido de la opinión de los expertos como ya se mencionó anteriormente, para después procesarlas por medio del software ArcGis9.3 y realizando *raster* base para cada cultivo.

Cuadro 5. Cultivo Maíz		
Maíz		
Núm.	Criterios	Peso
1	P/E *	100
2	Altura	90
3	Tipo de suelo	80
4	Fases	30
5	Textura	20
6	Pendiente	10

* Precipitación sobre Evaporación

Cuadro 6. Cultivo Papa		
Papa		
Núm.	Criterios	Peso
1	Tipo de suelo	90
2	Textura	80
3	Altura	60
4	Fases	50
5	Pendiente	20
6	Temperatura	100
7	Precipitación	95

4.4.1 Generación del mapa de áreas aptas para el cultivo de maíz de grano actual.

Para la generación de los mapas fue importante conocer el método de modelado cartográfico, conocido como álgebra de mapas “*map algebra*”. El método incluye un amplio conjunto de operadores que se ejecutan sobre una o varias capas raster de entrada para producir una o varias capas raster de salida. Por operador se entiende un algoritmo que realiza una misma operación en todas las celdas de una capa raster. Estos operadores se definen mediante ecuaciones, por ejemplo el operador $B = A * 100$ genera una nueva capa (B) asignando a cada celda el valor de la celda correspondiente en la capa (A) multiplicado por 100. Cada capa raster es una matriz de números y la operación se realiza para todos los números de la matriz, por tanto para todas las celdas de la capa raster. Sin embargo aunque ambas operan sobre matrices, el álgebra de mapas tiene poco más que ver con el concepto matemático de álgebra matricial y representa errores⁶.

El primer *raster* en el que se trabajó fue el P/E para el cultivo del maíz de grano esté se generó sumando la precipitación de los meses abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre; del mismo modo también se obtuvo la variable de evaporación. Una vez que se obtuvieron los *raster* se hace una división en *Raster Calculator* de ArcGis 9.3. Entre los *raster* obtenidos se encuentran $P_{abr-oct} / E_{abr-oct}$.

Posteriormente se multiplicó el *raster* P/E por el *raster* de profundidad (>1m y <1m) dando como resultado dos nuevos *raster* llamados “*p/e * prof_>1* y *p/e * prof_<1*”. Estos dos *raster* se reclasificaron con la herramienta “Spatial Analyst – Reclassify”⁷ del software ArcGis 9.3 (Figura 23) y con base en la metodología de Turrent 1986 explicada anteriormente.

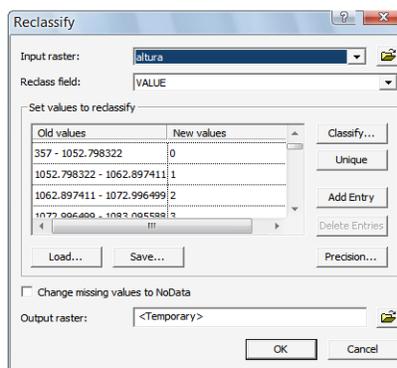


Figura 23. Herramienta de “Reclassify” ArcGis 9.3

Una vez reclasificados los *raster* anteriores se sumaron entre sí, y se multiplicaron por un valor que se asigno con base al análisis multicriterio, la operación algebraica consistió en multiplicar el *raster* de precipitación sobre evaporación por 100 ($p/e * 100$) y así obtener finalmente un nuevo *raster*.

Los cuadros que a continuación se presentan, son las variables para cultivo del maíz con su respectiva ponderación, asignado mediante el análisis multicriterio que se ejecuto con anterioridad. (Cuadros 7-11).

Altura	Calificación
300-1200	75
1200-2200	100
2200-2750	95
>2750	10

% Pendiente	Calificación
0-8	100
8 - 15	95
15 - 30	80
> 30	10

Tipos de suelos	Calificación
Feozems	100
Vertisoles	90
Planosoles	85
Cambisoles	80
Histosoles	75
Regosoles	70
Fluvisoles	95
Andosoles	100
Acrisoles	50
Luvisoles	45
Leptosoles	40
Solonchaks	10
Gleysoles	10
Agua	0
Zona Urbana	0

Fases Físicas	Calificación
1 - 2	80
2 - 3	100
3- 4	50
4 - 5	10
5 - 6	100
6 - 7	100
7 - 8	10
8 - 9	80
9 - 10	0
10 - 20	0

Cuadro 11. Texturas del maíz	
Texturas	Calificación
Textura 1: Arena, arena migajonosa y migajón arenosa.	75
Textura 2: Franca, migajón limosa, limo y migajón areno arcillosa.	100
Textura 3: Migajón arcillosa, migajón arcillo arenosa, arcilla arenosa, arcilla limosa y arcilla.	95

La última operación utilizada fue una suma de todos los *raster*, para obtener el modelo de datos geográficos final de las zonas aptas para el maíz de grano utilizando la herramienta de “Spatial Analyst – Raster Calculator” del mismo programa.

Elaborados los *raster* se volvieron a multiplicaron por una nueva ponderación basado en el análisis multicriterio. Dando como resultado los "*raster de aptitud actual de maíz*",

- p/e * 100
- altura * 90
- tipo de suelo * 80
- Fases Físicas * 30
- Textura * 20
- Pendiente * 10

⁶Toda operación de álgebra de mapas implica la estimación de una variable a partir de otras, por tanto implica la existencia de errores. Los errores pueden proceder de las fuentes u originarse en el proceso de digitalización y posterior procesado de los datos. Además los errores pueden propagarse y aumentar al llevar a cabo operaciones con los datos. Sería deseable que las fuentes de los datos informaran acerca de los errores esperables en los datos. La digitalización supone errores en la localización de los objetos digitalizados. Un error de digitalización de un milímetro en un mapa 1:50.000 supone un error de 50 metros que se añade al propio error de partida del mapa.

Fuente: Sarriá F., S/F

⁷ Acción de variar los valores de uno de los atributos de un fichero geografico en función de criterios de rango aplicados sobre los datos originales. Generalmente, este procedimiento es utilizado para pasar datos continuos a discretos, ejemplo al reclasificar en rangos de 10 metros los datos continuos de un MDT (intervalos entre 10 y 29 m, etc.

Fuente: Sarriá F., S/F

4.4.2 Generación del mapa de áreas aptas para el cultivo de papa actual.

Para la papa el procedimiento fue el mismo, sin embargo, debido a su diferente ciclo de cultivo la temperatura se obtuvo a partir de los meses mayo, junio, julio, agosto, septiembre y octubre. Además de que la calificación de cada variable es diferente, como lo muestran los cuadros 12 a 18.

Temperatura	Calificación
5 - 10	0
10 - 15	50
15 - 20	100
20 - 25	70
25 - 30	50

Precipitación	Calificación
400 - 600	50
600 - 800	70
800 - 1000	100
1000 - 1200	90
1200 - 1400	70
1400 - 1600	50
> 1600	0

Tipos de suelos	Calificación
Feozems	100
Vertisoles	50
Planosoles	70
Cambisoles	75
Histosoles	30
Regosoles	50
Fluvisoles	70
Andosoles	90
Acrisoles	60
Luvisoles	40
Leptosoles	10
Solonchaks	10
Gleysoles	10
Agua	0
Zona Urbana	0

Altura	Calificación
300-1200	30
1200-1800	50
1800-2200	55
2200-2600	70
2600-2750	100
2750-3500	70
3500- 4500	40
4500- 6000	0

% Pendiente	Calificación
0-8	100
8 - 15	80
15 - 30	55
> 30	0

Fases Físicas	Calificación
1 - 2	20
2 - 3	95
3 - 4	20
4 - 5	10
5 - 6	100
6 - 7	100
7 - 8	80
8 - 9	50
9 - 10	0
10 - 20	0

Texturas	Calificación
Textura 1: Arena, arena migajonosa y migajón arenosa.	60
Textura 2: Franca, migajón limosa, limo y migajón arenoso arcillosa.	100
Textura 3: Migajón arcillosa, migajón arcillo arenoso, arcilla arenosa, arcilla limosa y arcilla.	50

Seguendo el mismo procedimiento que en el maíz, los *raster* obtenidos para el cultivo de la papa fueron:

- Altura * 60
- Fases Físicas * 50
- Pendiente * 20
- Precipitación * 95
- Temperatura * 100
- Textura * 90

Estos *raster* se nombraron "raster de aptitud actual para papa".

4.5 Generación de los mapas de aptitud con cambio climático.

Se utilizaron las mismas herramientas del programa ARCGIS 9.3 y los mismos procedimientos de las metodologías que para los de aptitud actual.

Para la generación de estos mapas se ocuparon los *raster* de aptitud actual de cada cultivo y sólo se cambiaron la variable de precipitación en el cálculo del índice P/E, en el caso del cultivo del maíz.

En el caso de la papa las variables modificadas fueron temperatura y precipitación, esto con el fin de estimar y cuantificar la superficie que cambió de cada cultivo bajo los diferentes modelos, escenarios y periodos de cambio climático generados del programa downscaling. Los mapas utilizados fueron los mapas con escenarios de cambio climático (Cuadro 3).

Una vez obtenidos los mapas de reclasificaron de acuerdo al análisis multicriterio; en el caso del maíz se reclasificó de la siguiente manera para ambos modelos.

Maíz

- 2000 – 7000
- 7000 – 9000
- 9000 – 10000 (Mediana)
- 10000 – 11000 (Buena)
- 11000 – 13500 (Muy Buena)

Papa

1. 14800 – 35500
2. 35500 – 40000
3. 40000 – 44000 (Buena)
4. 44000 – 49500 (Muy Buena)

RESULTADOS

5.1 Los modelos y escenarios en el Estado de México

5.1.1 Precipitación media actual en contraste con Precipitación media de los modelos, escenarios y periodos

La comparación entre la precipitación actual con la del modelo CGCM2 (A2) muestran que para el 2030 habrá un aumento distintivo en junio y julio, que disminuirá en agosto. El modelo CGCM2 A2 de 2080 muestra que la precipitación será menor a la actual. En seguida la lluvia aumentará en los meses posteriores de septiembre y octubre. En 2050 habrá también un aumento de la precipitación, pero el aumento mayor se presentará en el mes de julio. Lo que se observa claramente es que mientras la precipitación actual media del Estado de México tendrá una distribución normal, la de los modelos tiene forma bimodal. Figura 24

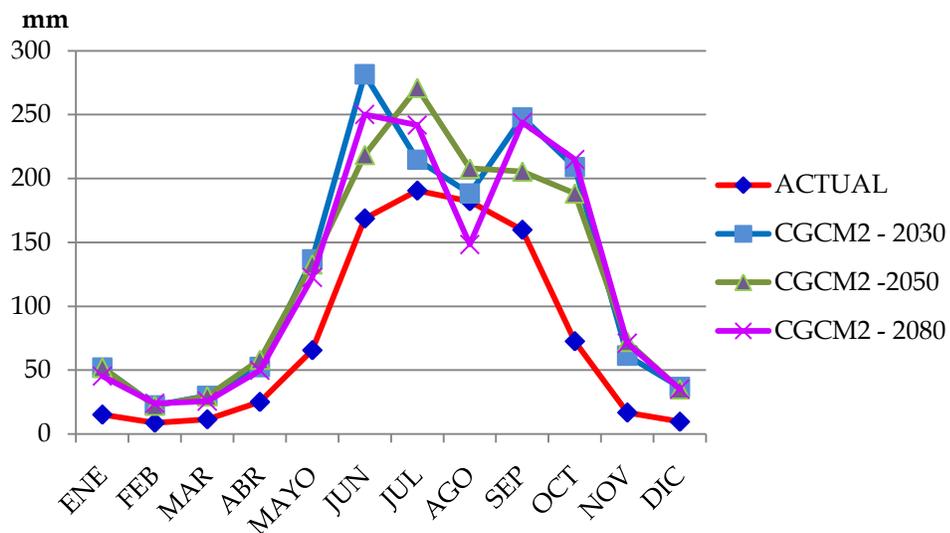


Figura 24. Diferencias entre la precipitación actual con el modelo CGCM_2.0, escenario A2

Con el escenario B2 en 2030 la precipitación alcanzará su valor más alto en junio y un descenso en agosto, registra otro aumento alto en septiembre. Existirá una tendencia similar de la década de los 50, solamente hay un desplazamiento del registro mayor de lluvia hacia julio para la siguiente década, del 2080 se presenta el mayor aumento en relación con los otros periodos. Sin embargo, presenta la menor cantidad de lluvia en agosto con 160.06 mm con respecto a la precipitación actual que es de 182.20 mm. Figura 25

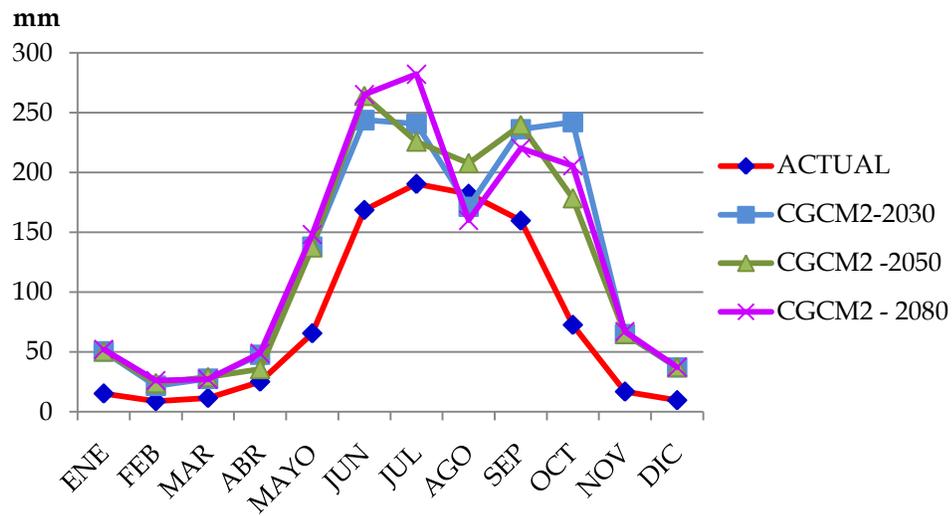


Figura 25. Diferencias entre la precipitación actual con el modelo CGCM_2.0, escenario B2

Los resultados del modelo HadCM3 escenario A2 muestran también un aumento para todos los periodos de estudio y cabe mencionar que con este modelo no hay declives que se distingan, por lo que presenta una distribución unimodal. En el 2030, se prevé que existirá el mayor aumento de precipitación en agosto llegando 303.91 mm en comparación con la precipitación actual del mismo mes que es de 182.20 mm. Para el 2080 el aumento mayor se presentará en los últimos tres meses del año. Figuras 26 y 27

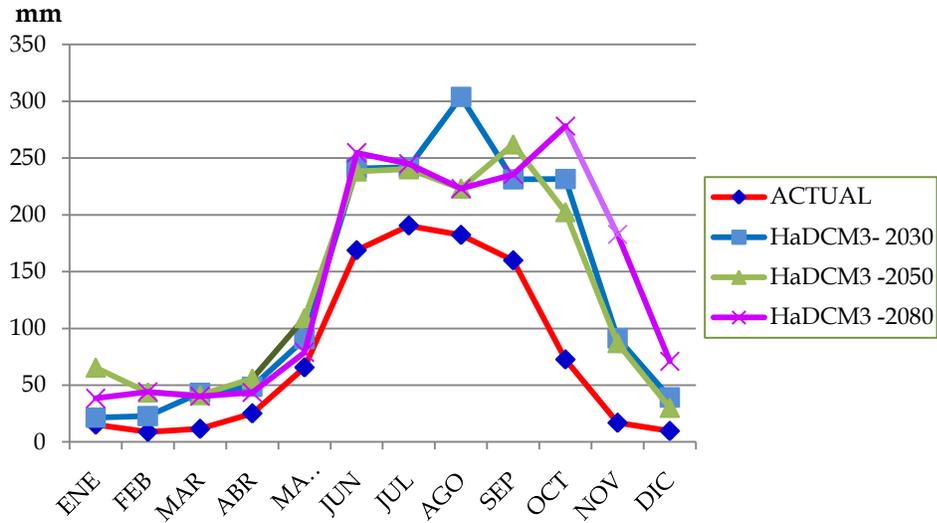


Figura 26. Diferencias entre la precipitación actual con el modelo HadCM3, escenario A2

En el escenario B2, modelo HadCM3, la precipitación de los meses iniciales del año presentarán un ligero aumento en relación con la precipitación actual, un ejemplo de esto es que para abril del 2030 en el mes de mayo se tendrá la misma precipitación en relación con la precipitación actual de 60.30 mm, no obstante la precipitación aumentará considerablemente a partir del mes de junio, teniendo una pequeña baja en el mes de agosto, pero reponiéndose para los meses de septiembre y octubre. Este mismo fenómeno se presenta en todos los periodos.

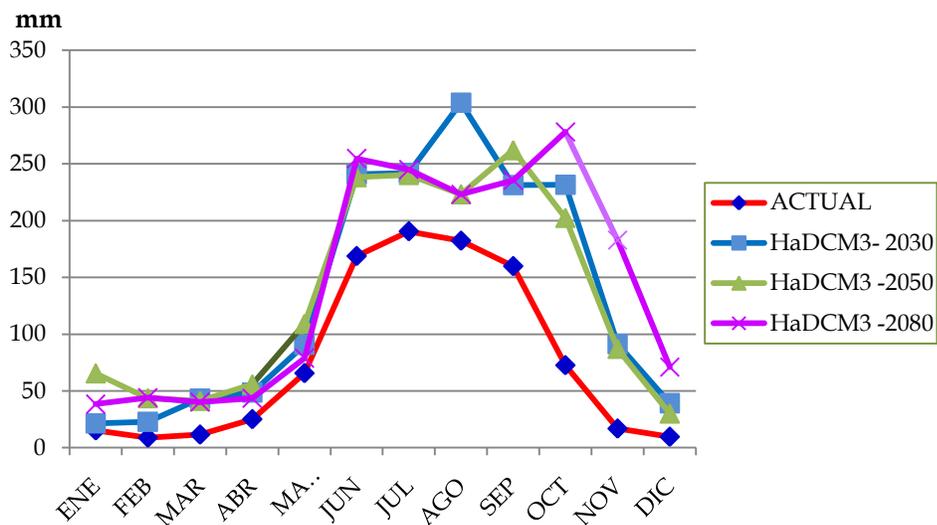


Figura 27. Diferencias entre la Precipitación Actual con las del modelo HadCM3, escenario B2

5.1.2. Precipitación máxima actual en contraste con Precipitación máxima de los modelos, escenarios y periodos.

Al comparar la precipitación actual con el valor máximo de la precipitación del modelo CGCM2 hay un aumento con respecto a la precipitación actual en cada uno de los periodos seleccionados y con cada uno de los escenarios utilizados. Figuras 28 y 29

Sin embargo, los resultados más significativos fueron los del modelo HadCM3 ya que la precipitación proyectada para los tres periodos es muy notoria en comparación con la precipitación actual para ambos escenarios. Figuras 30 y 31

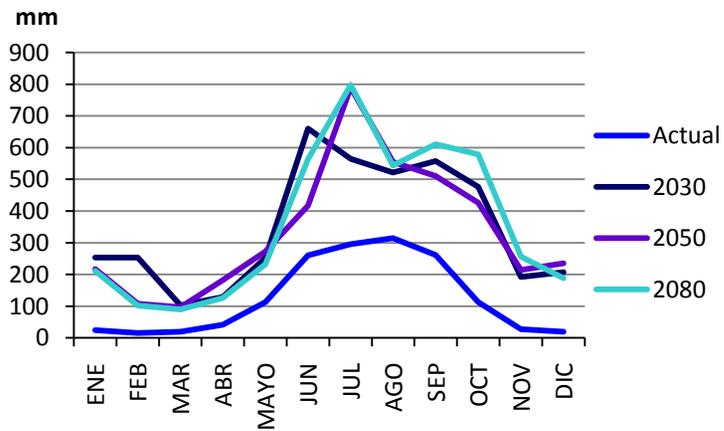


Figura 28. Comparación de la precipitación actual con el valor máximo del modelo CGCM2, escenario A2.

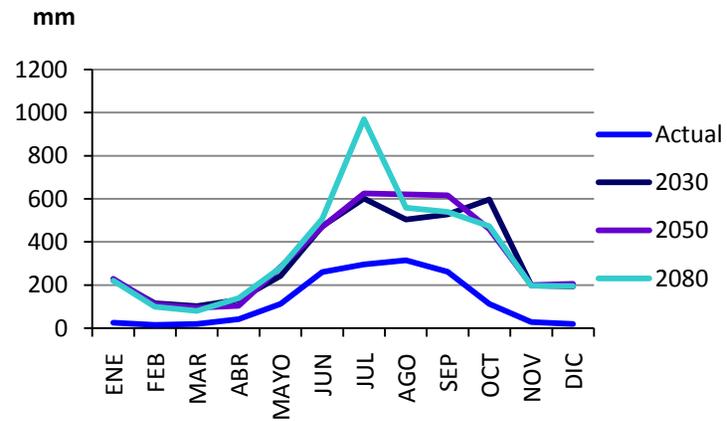


Figura 29. Comparación de la precipitación actual con el valor máximo del modelo CGCM2, escenario B2.

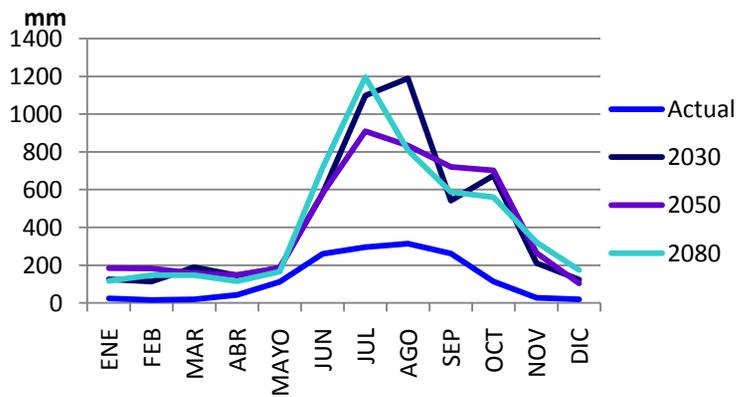


Figura 30. Comparación de la precipitación actual con el valor máximo del modelo HadCM3, escenario A2.

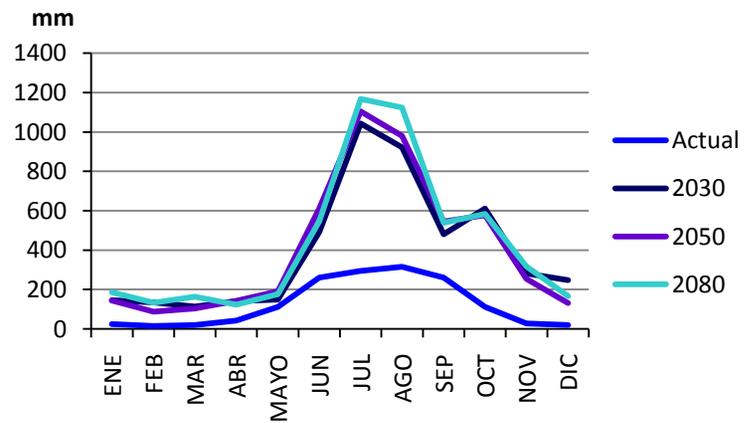


Figura 31. Comparación de la precipitación actual con el valor máximo del modelo HadCM3, escenario B2.

En un análisis espacial con respecto a esta misma variable se puede notar que la precipitación del modelo HadCM3 es casi lo doble que la del modelo CGCM2, además con este modelo, la lluvia disminuye, lo mismo que sucede en los periodos (2050 y 2080) y en el otro escenario (B2). De presentarse estos escenarios de precipitación baja o nula en esas áreas traería consecuencias muy graves para los habitantes y productores agrícolas de esas zonas por lo que podrían verse en la necesidad de abandonar sus tierras al volverse áridas y desérticas. Cabe destacar que esta misma variable meteorológica presenta un aumento en la parte sur del Estado con el modelo HadCM3. Figuras 32, 33 y 34.

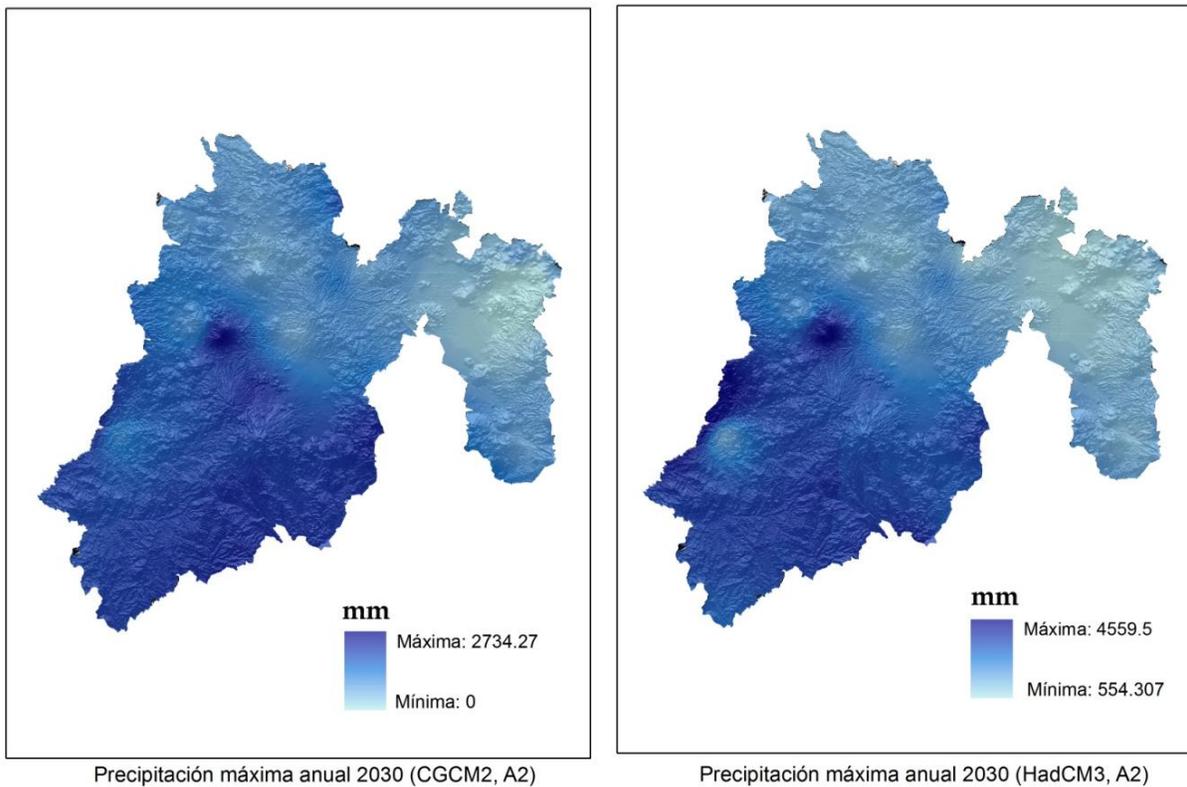
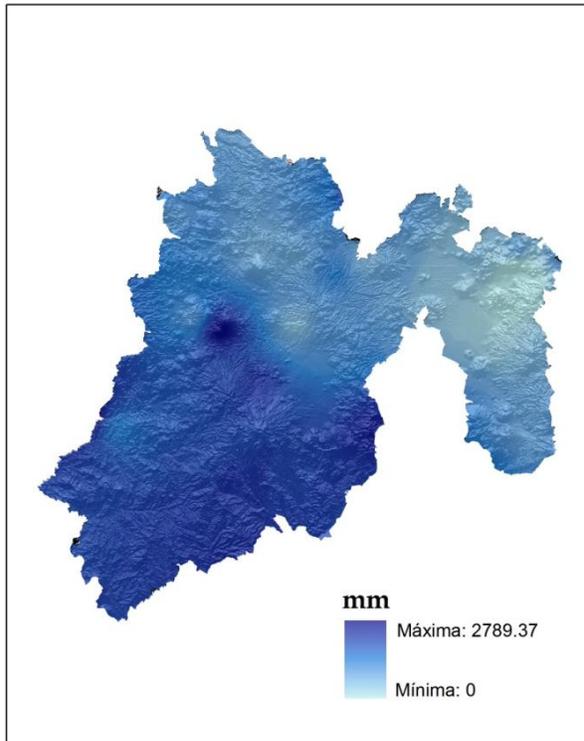
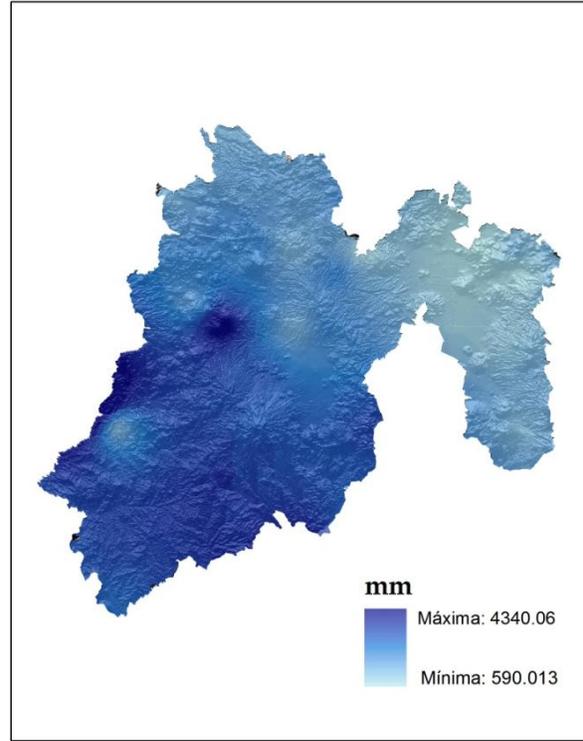


Figura 32. Comparación de la precipitación entre los modelos CGCM2 y HadCM3. Año 2030. Escenario A2

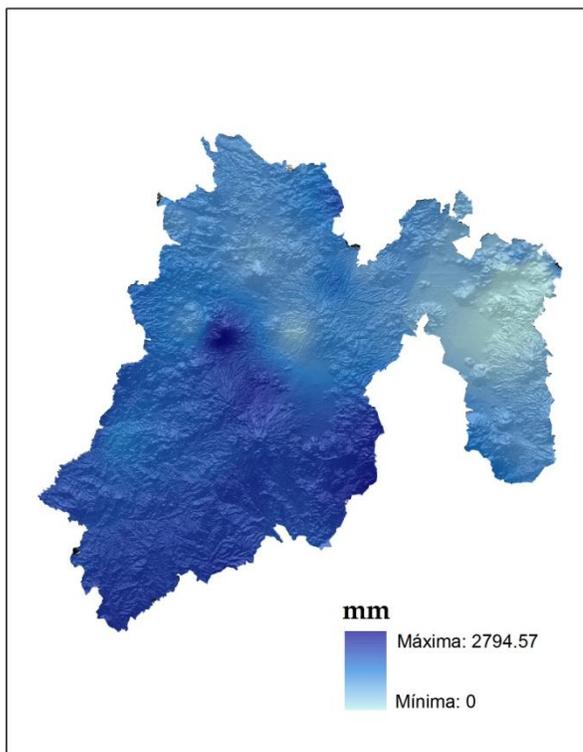


Precipitación máxima anual 2050 (CGCM2, B2)

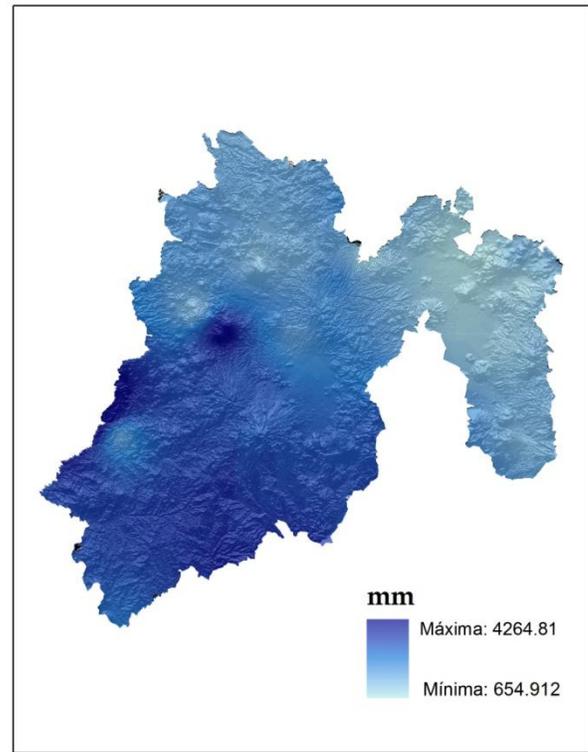


Precipitación máxima anual 2050 (HadCM3, B2)

Figura 33. Comparación de la precipitación entre los modelos CGCM2 y HadCM3. Año 2050. Escenario B2



Precipitación máxima anual 2080 (CGCM2, A2)



Precipitación máxima anual 2080 (HadCM3, A2)

Figura 34. Comparación de la precipitación entre los modelos CGCM2 y HadCM3. Año 2080. Escenario A2

5.1.3. Temperatura máxima anual actual en contraste con Temperaturas máximas de los modelos, escenarios y periodos.

Los resultados de la temperaturas máximas anuales muestran un incremento para años posteriores en ambos modelos y en ambos escenarios, pero el aumento más distintivo es el del año 208 escenario A2, modelo HadCM3 con 3.32 °C con respecto a la temperatura actual anual que es de 23.22 °C. Cuadro 19 y Figura 35 y la menor anomalía es de 1.49 °C con el modelo CGCM2 en 2030 y escenario A2.

Cuadro 19. Incremento de la temperatura máxima anual en °C

	2030 A2	2030 B2	2050 A2	2050 B2	2080 A2	2080 B2
CGCM2	1.49	1.50	1.94	1.82	2.97	2.24
HadCM3	1.79	1.73	2.02	2.18	3.32	2.57

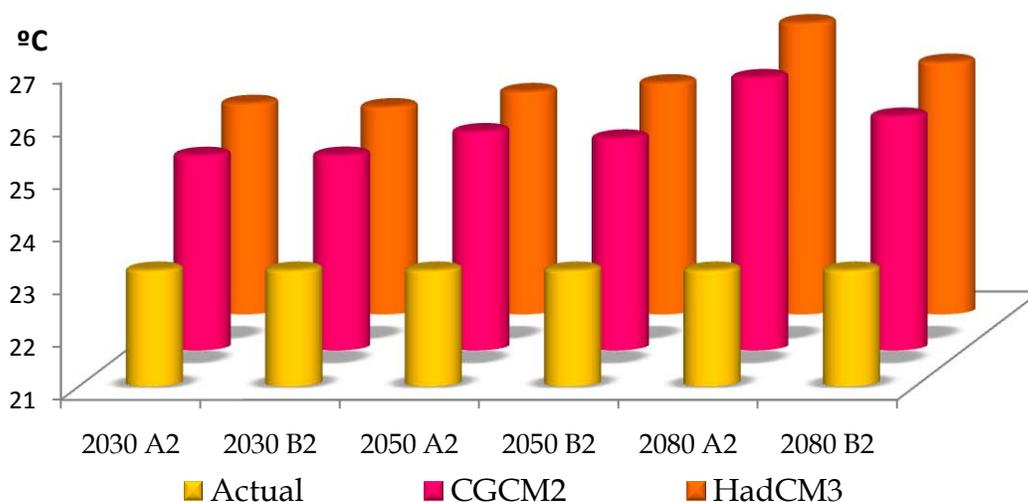


Figura 35. Comparación entre las temperaturas máximas anuales.

El valor máximo de la temperatura se comportó de la siguiente manera; para el modelo HadCM3 la temperatura máxima anual prevé 36.62 °C en 2080 con el escenario A2. Del mismo modo, se repite con

el valor máximo de las temperaturas mínimas anuales llegando a los 22.68 °C en el año 2080 con el mismo escenario y el mismo modelo. Figura 36.

Estos aumentos de temperatura en el futuro implicarán que algunos cultivos se vean favorecidos ante la disminución de riesgos por heladas. Sin embargo, aquellos cultivos que requieren de horas frío para su desarrollo, como algunos frutales o plantas criófilas como la papa, chícharo, zanahoria etc. se verán afectados y será necesario tomar medidas de adaptación o en casos extremos cambiar de patrón de cultivos haciendo reconversiones productivas.

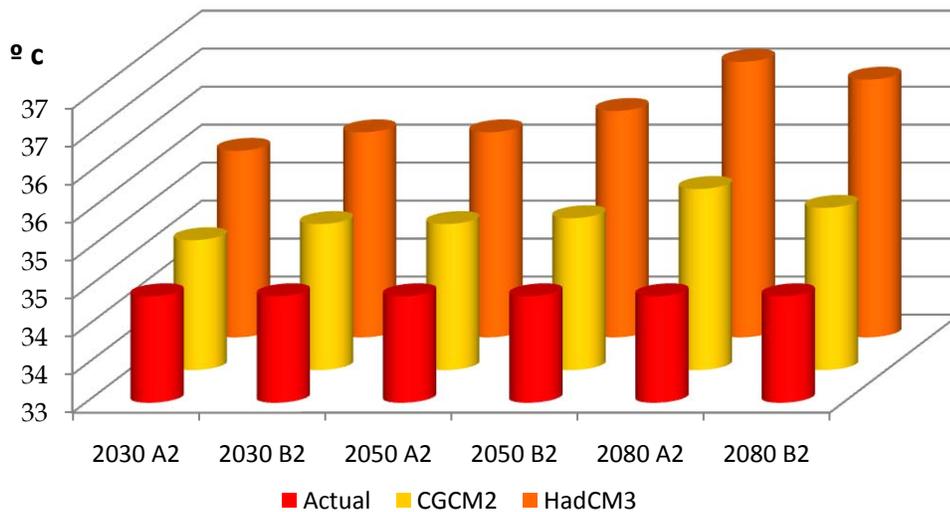


Figura 36. Comparación del valor máximo de la temperatura máxima actual vs el valor máximo de las temperaturas máximas de los modelos y escenarios.

En el análisis espacial observamos que en el modelo HadCM3 y CGCM2 se presenta un aumento de temperatura en el suroeste del Estado de México Figura 37 y 38.

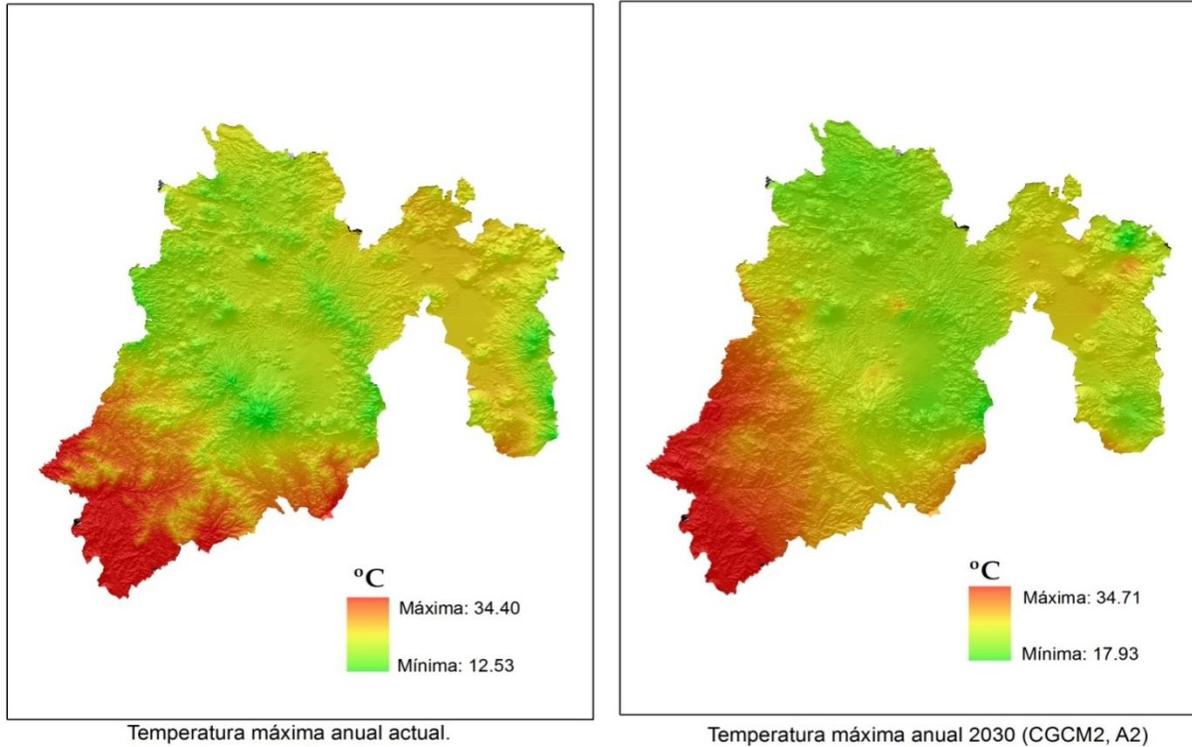


Figura 37. Comparación del valor máximo de la temperatura actual vs el valor máximo de la temperatura máxima modelo CGCM2. Año 2030. Escenario A2

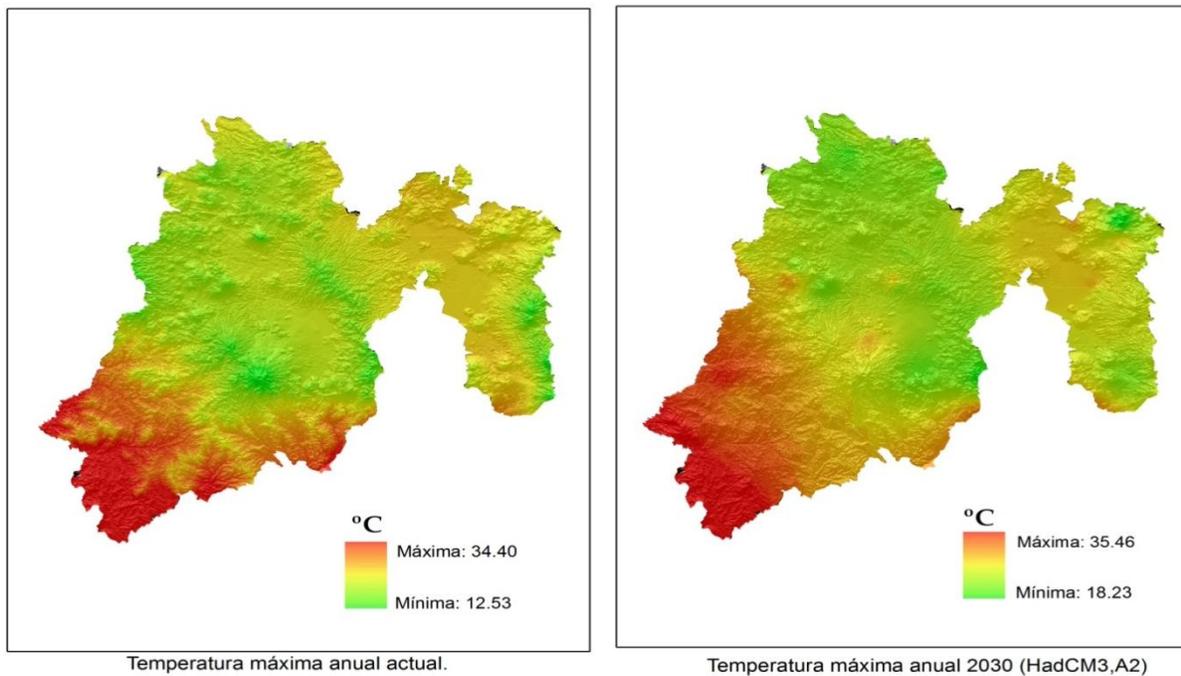


Figura 38. Comparación del valor máximo de la temperatura actual vs el valor máximo de la temperatura máxima modelo HadCM_3. Año 2030. Escenario A2.

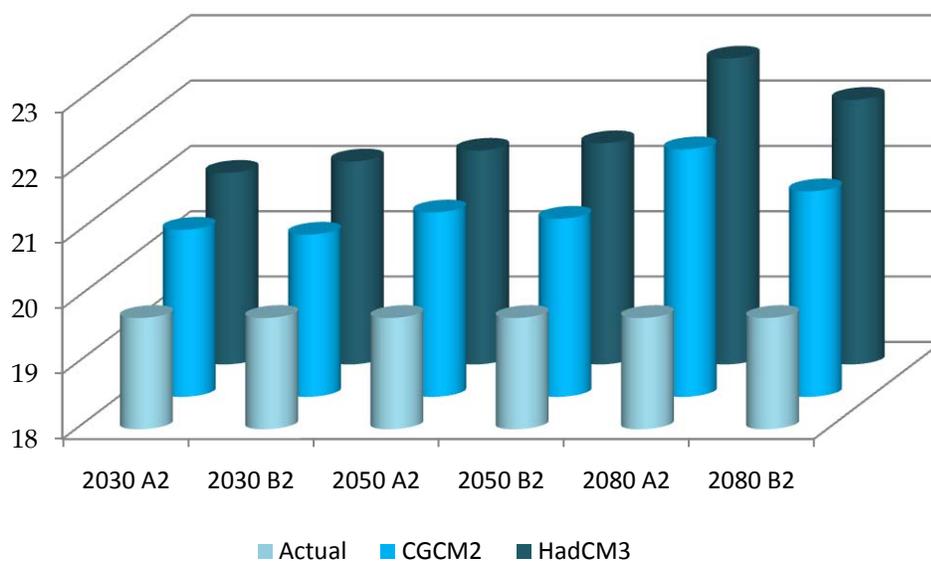


Figura 39. Comparación del valor máximo de la temperatura mínima actual vs el valor máximo de las temperaturas mínimas de los modelos y escenarios.

5.1.4 Temperatura mínima anual actual en contraste con Temperaturas mínimas de los modelos, escenarios y periodos.

Las temperaturas mínimas anuales muestran resultados similares a las temperaturas máximas donde existe una anomalía de 3.31 °C con el modelo HadCM3, año 2080, escenario A2 con respecto a la temperatura mínima actual que es de 7.94 °C. Cabe mencionar que en todos los años hay un aumento que va de 1.23 a 3.31°C (Cuadro 20 y Figura 40).

Cuadro 20. Incremento de la temperatura mínima anual en °C

	2030 A2	2030 B2	2050 A2	2050 B2	2080 A2	2080 B2
CGCM2	1.60	1.23	1.78	1.39	2.38	1.69
HadCM3	1.88	2.01	2.17	2.22	3.31	2.59

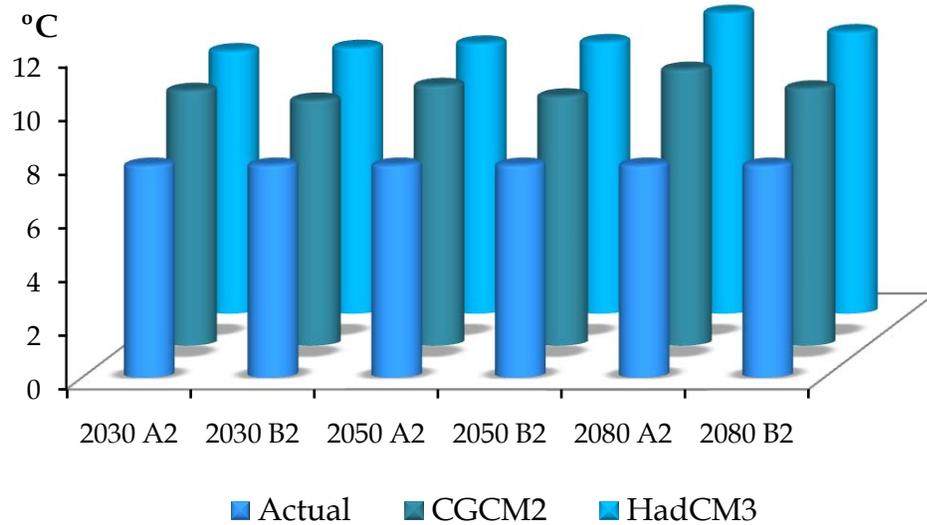


Figura 40. Comparación entre las temperaturas mínimas anuales

El análisis espacial de las temperaturas de mínimas muestra que los valores más bajos se ubican en el centro y noroeste del Estado, con el modelo HadCM3 en comparación con el modelo del CGCM2 cubren una mayor parte del Estado de México. Figuras 41 y 42

Al igual que en las temperaturas máximas, los aumentos de la temperatura mínima promedio afectara seriamente los cultivos que necesiten de horas frío como es el caso de algunos frutales, esto debido a que de no reunir la cantidad de horas frío necesarias, no podrán florecer y por lo tanto no podrán producir frutos. Además en los cultivos criófilos también verán afectada su producción y amenazada su sobrevivencia lo cual podría ocasionar la reconversión de esos cultivos por otros.

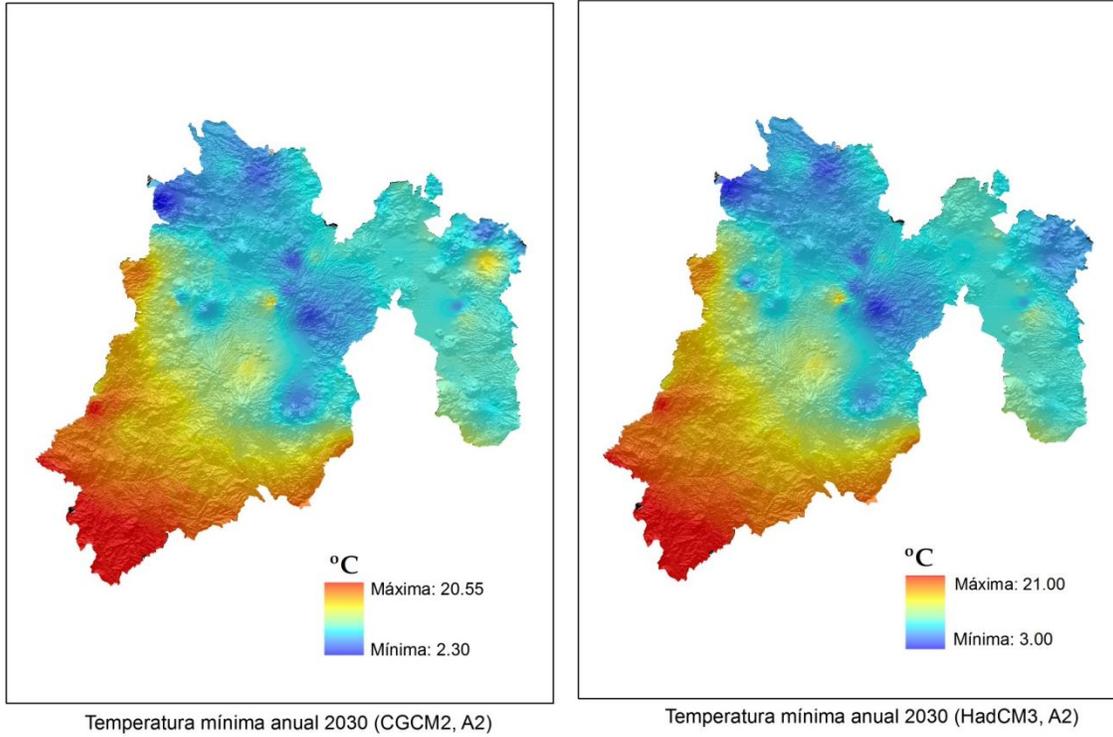


Figura 41. Comparación del valor máximo de la temperatura mínima del modelo CGCM_2 vs el valor máximo de la temperatura mínima modelo HadCM_3. Año 2030. Escenario A2.

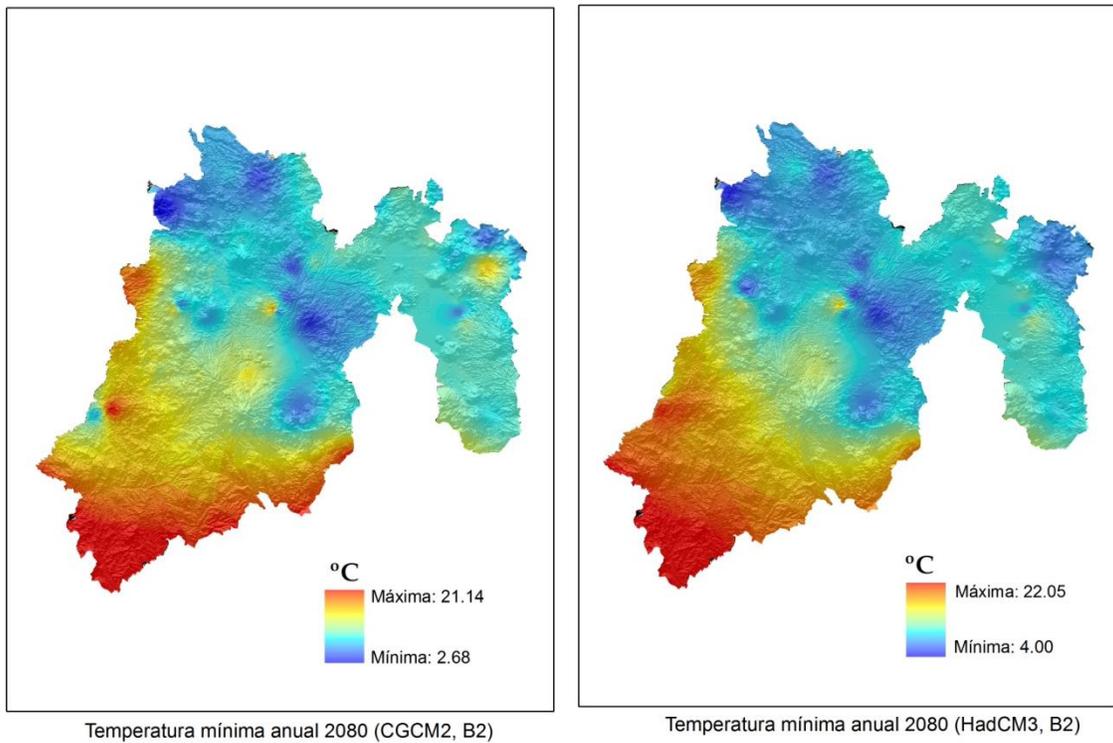


Figura 42. Comparación del valor máximo de la temperatura mínima del modelo CGCM_2 vs el valor máximo de la temperatura mínima modelo HadCM_3. Año 2080. Escenario B2.

5.2 Zonas aptas actuales productoras del cultivo de maíz de grano.

Con la metodología llevada para obtener las zonas aptas actuales productoras del maíz se obtuvieron los siguientes resultados. La categoría que obtuvo la mayor área de fue la "Mediana" con un total de 417,498.30 ha en toda el área agrícola del Estado de México y el segundo lugar la "muy buena" con 291,807 ha Figura 43 y Figura 44. La distribución espacial de la categoría "muy buena" se encuentra en los DDR's de Atlacomulco, Valle de Bravo, Toluca y Texcoco.

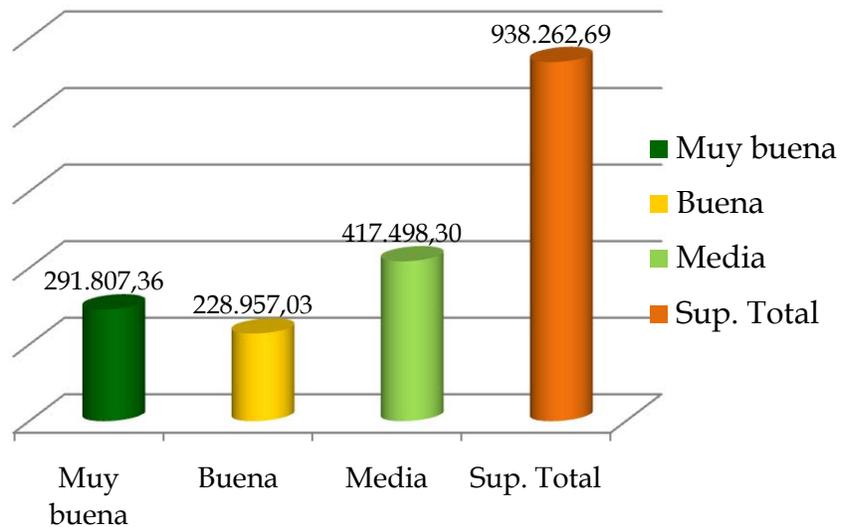


Figura 43. Superficies (ha) de zonas aptas de cultivo para maíz actual.

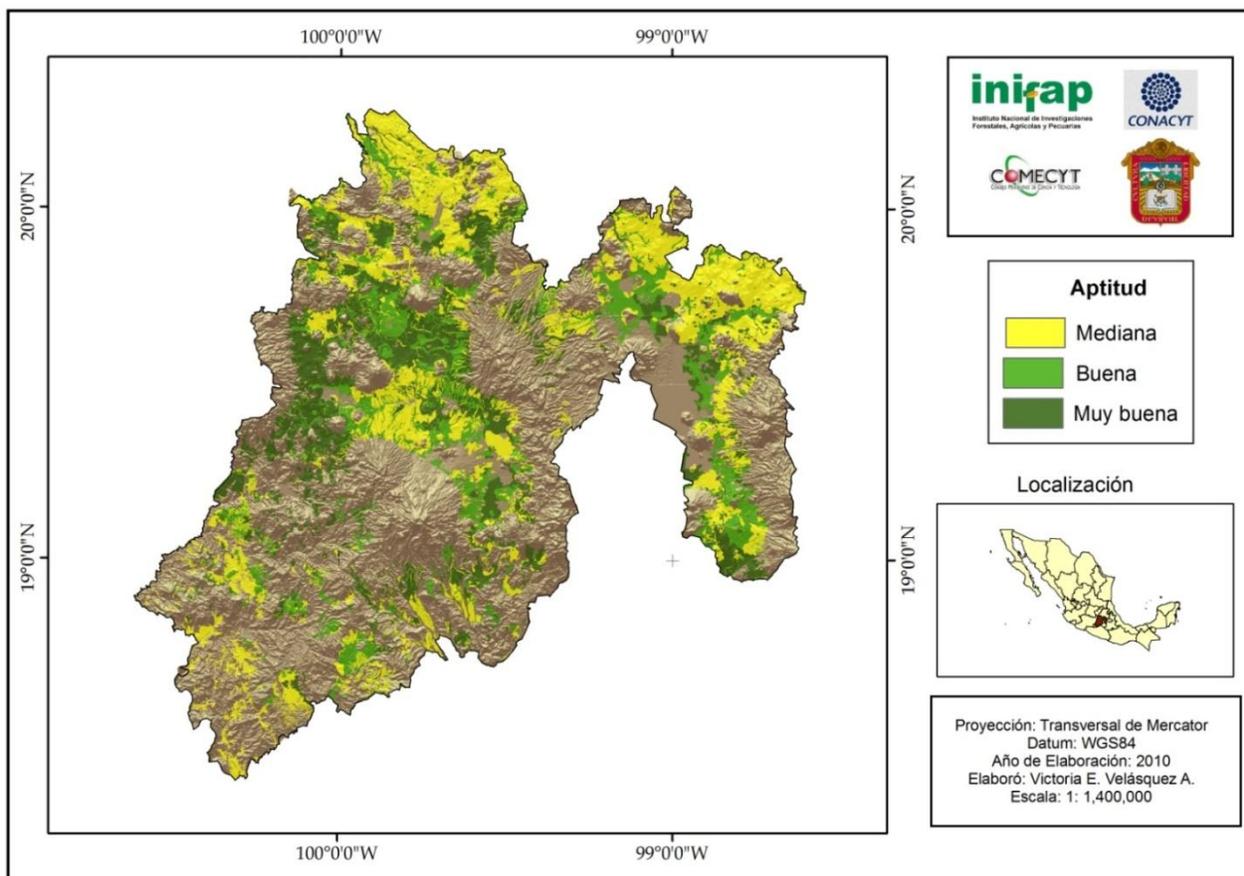


Figura 44. Zonas aptas para el cultivo de maíz.

5.3 Impacto del cambio climático sobre las zonas de aptitud del maíz de grano.

El resultado más favorable para el cultivo de maíz se presenta en el año 2030 con el modelo CGCM2 y en los escenarios A2 y B2 porque las zonas "muy buenas" tienen un gran aumento con relación a las otras clasificaciones e incluso en comparación con los otros años evaluados. Sin embargo, para los años 2050 y 2080 la aptitud "muy buena" baja a casi la mitad de la alcanzada en el 2030 lo que indica primero un efecto favorable por el cambio climático, pero luego una disminución drástica de más del 50% y lo que se va perdiendo pasa a "buena" y "mediana" lo que traería como consecuencia rendimientos más bajos y menor producción estatal y por lo tanto escasez de grano de maíz en el futuro. Figuras 45 y 46

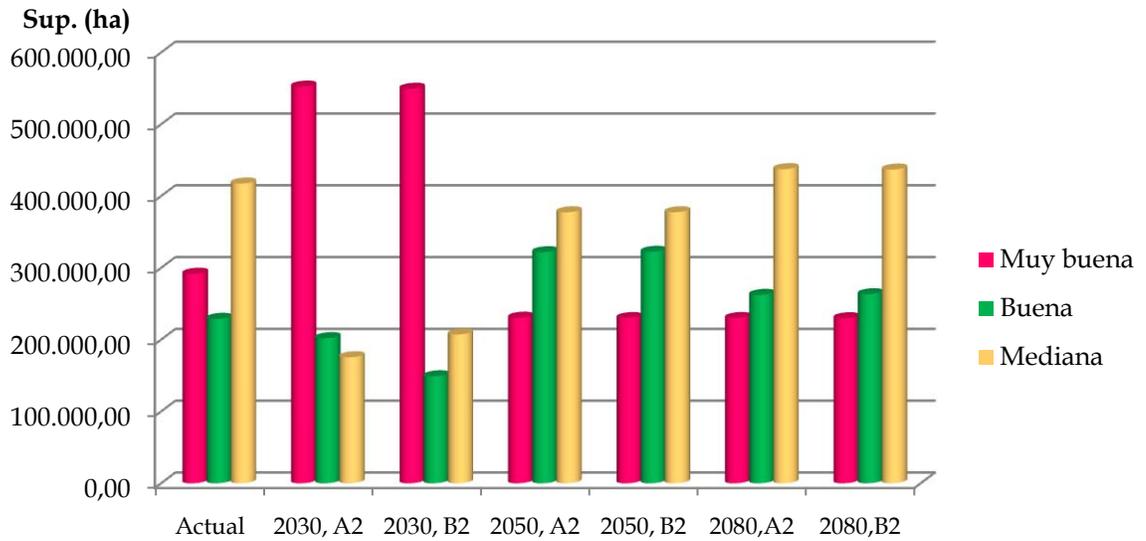


Figura 45. Diferencias entre la superficie (ha) actual de maíz y las superficies con el modelo CGCM2.

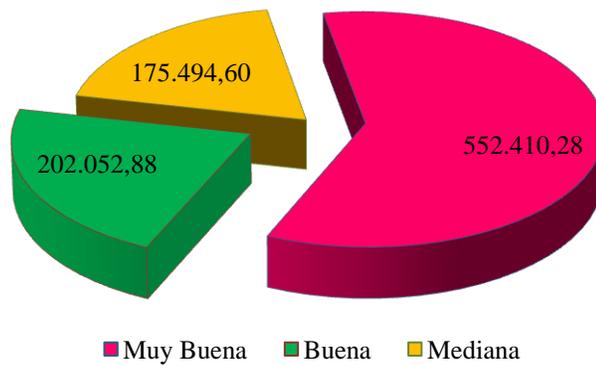


Figura 46. Maíz CGCM2, año 2030, escenario A2

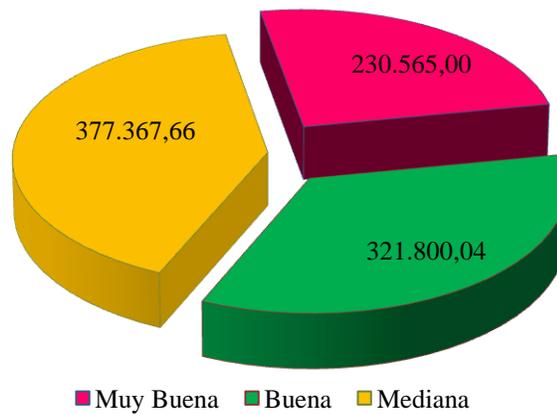


Figura 47. Maíz CGCM2, año 2050, escenario A2

En el modelo HadCM3 se proyectan aumentos para las zonas “muy buenas” y “buenas” en comparación con la actual en el 2030, B2 alcanzando su valor máximo en el 2050, B2. Esto se debe a que los escenarios de precipitación y temperatura del modelo HadCM3 estiman una mayor cantidad de lluvia y temperatura más altas que son más favorables para cultivo de maíz de grano Figuras 48, 49 y 50. Sin embargo para el 2080 empieza una tendencia a la baja probablemente porque los aumentos de lluvia y temperatura son mayores.

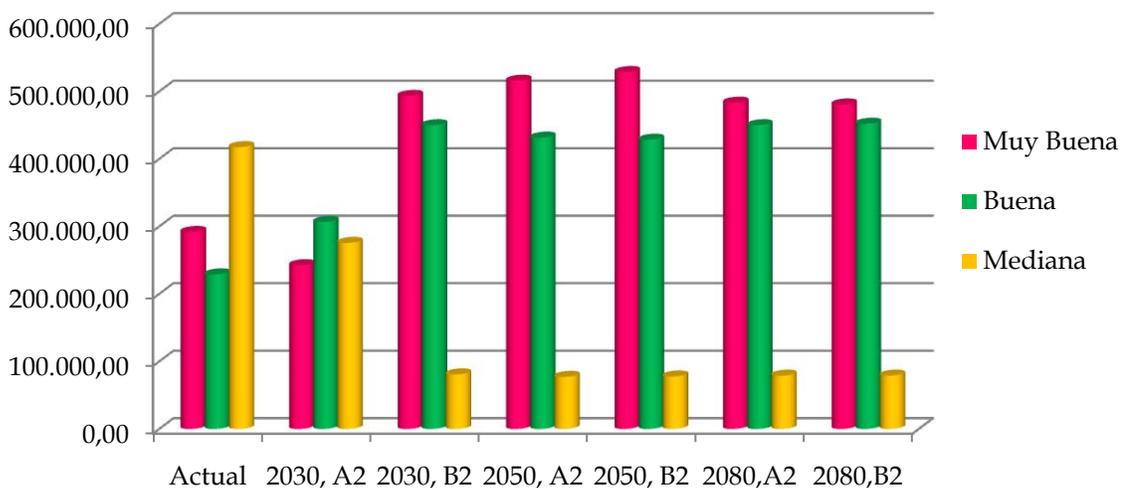


Figura 48. Diferencias entre la superficie (ha) actual de maíz y las superficies con el modelo HadCM3

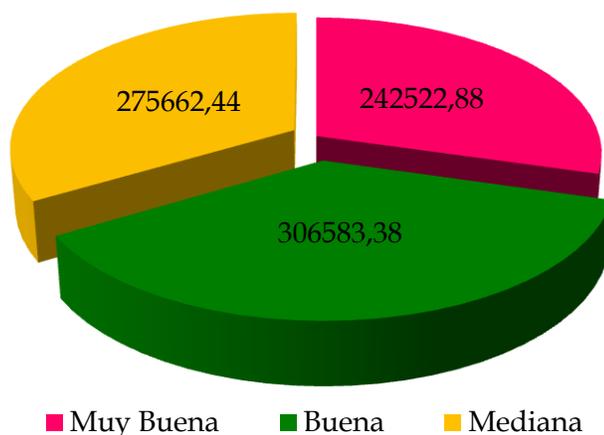


Figura 49. Maíz HadCM3, año 2030, escenario A2

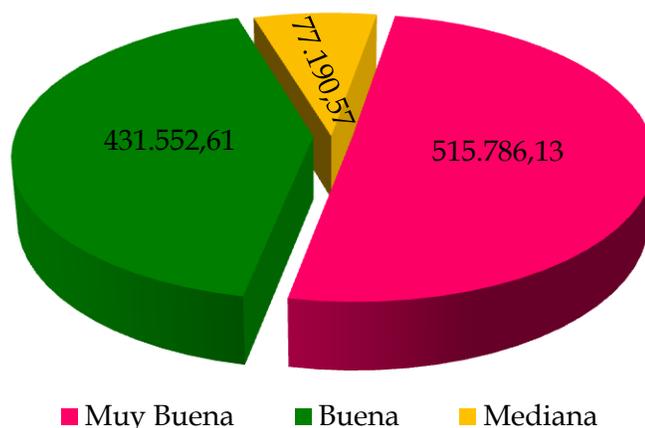


Figura 50. Maíz HadCM3, año 2050, escenario A2

En un análisis espacial del maíz en 2030 con el escenario A2 al compararse con un B2 y con el mismo modelo CGCM_2 y año, se obtuvieron resultados con una amplia diferencia entre ambos; en el escenario A2 el área con aptitud “muy buena”, se redujo a casi la mitad de lo que mostro el escenario B2, sucediendo lo mismo con la categoría “buena”. Lo anterior es una confirmación del rango de error inherente al uso de modelos de proyección, en los que los resultados están supeditados al tipo de datos y escenarios que se construyan; por lo que, tan solo variando el escenario pueden ser muy grandes las diferencias para un mismo cultivo y bien podrían manejarse estos escenarios como pesimistas u optimistas dependiendo para el uso que se les designe. No hay que olvidar que cada modelo utilizado en esta investigación fue de acuerdo al proyecto antes mencionado y que cada uno de estos modelos presentan un grado de incertidumbre. Figuras 51 y 52

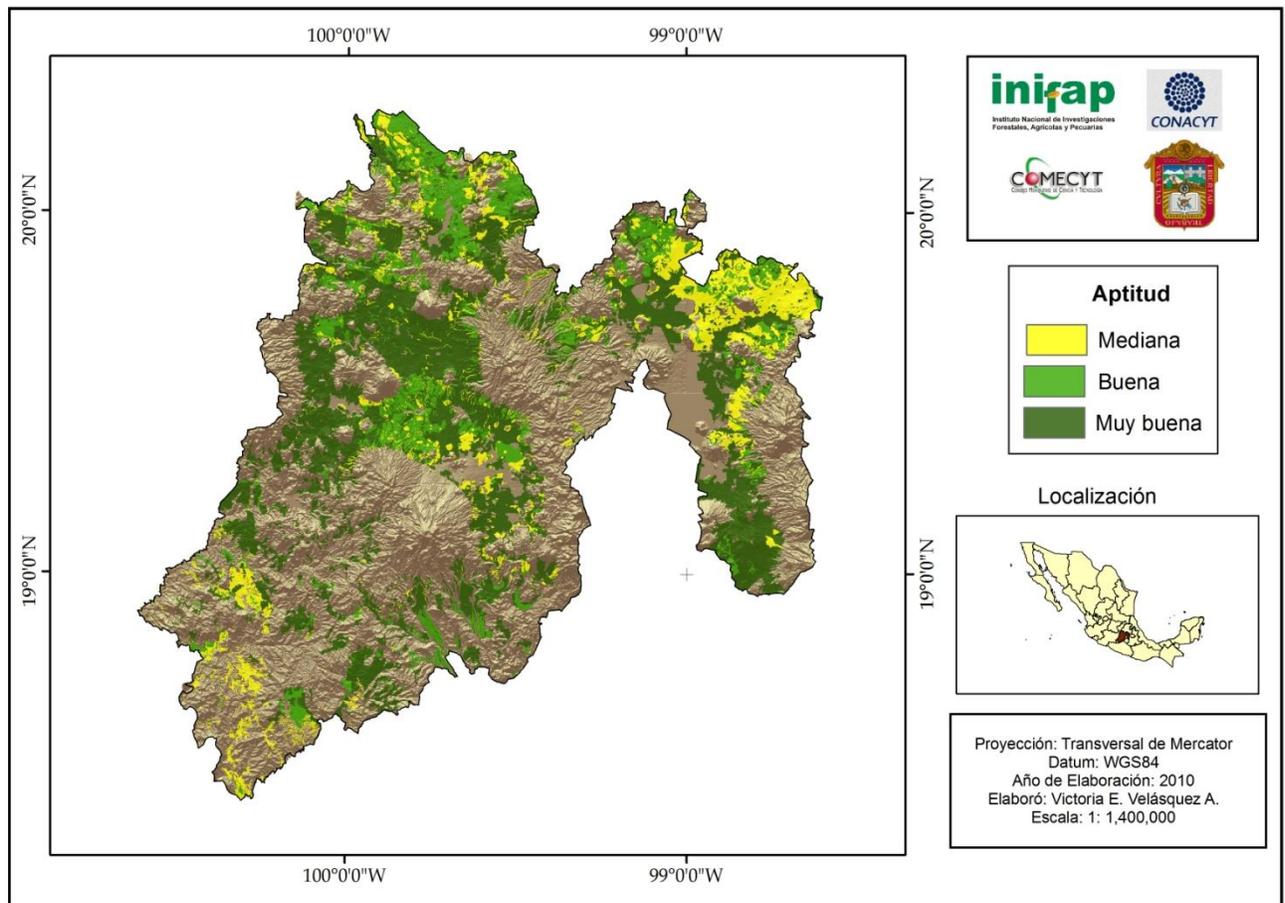


Figura 51. Maíz 2030 con el modelo CGCM2, escenario A2.

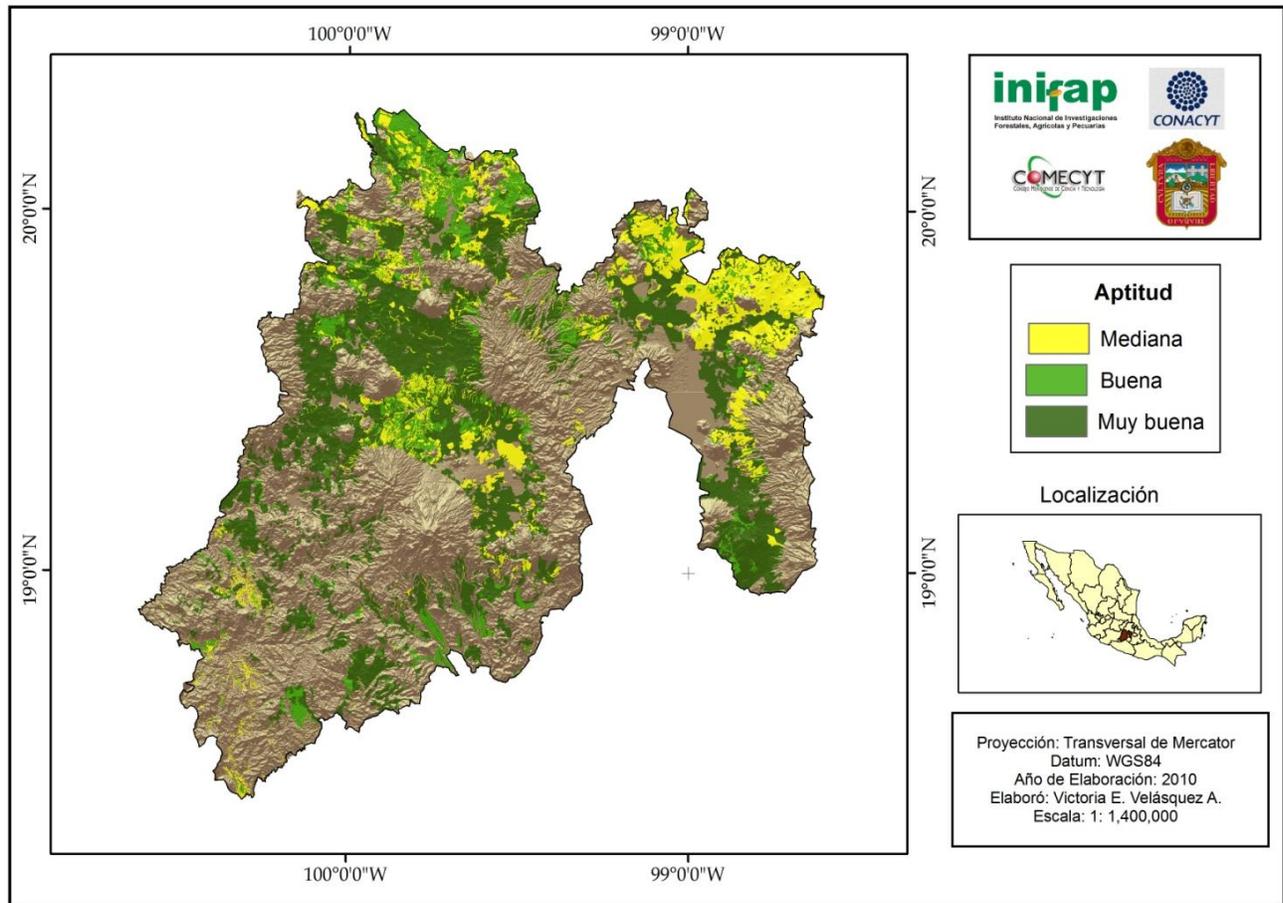


Figura 52. Maíz 2030 con el modelo CGCM2, escenario B2.

Otro resultado espacialmente visible es de 2050, B2 y el año 2080, A2, Modelo HadCM3 donde hay una disminución, de la zona “muy buena” en la parte sureste y suroeste del Estado de México Figuras 53 y 54. Lo que nos indica los efectos e impactos negativos del cambio climático sobre el maíz a un futuro más lejano.

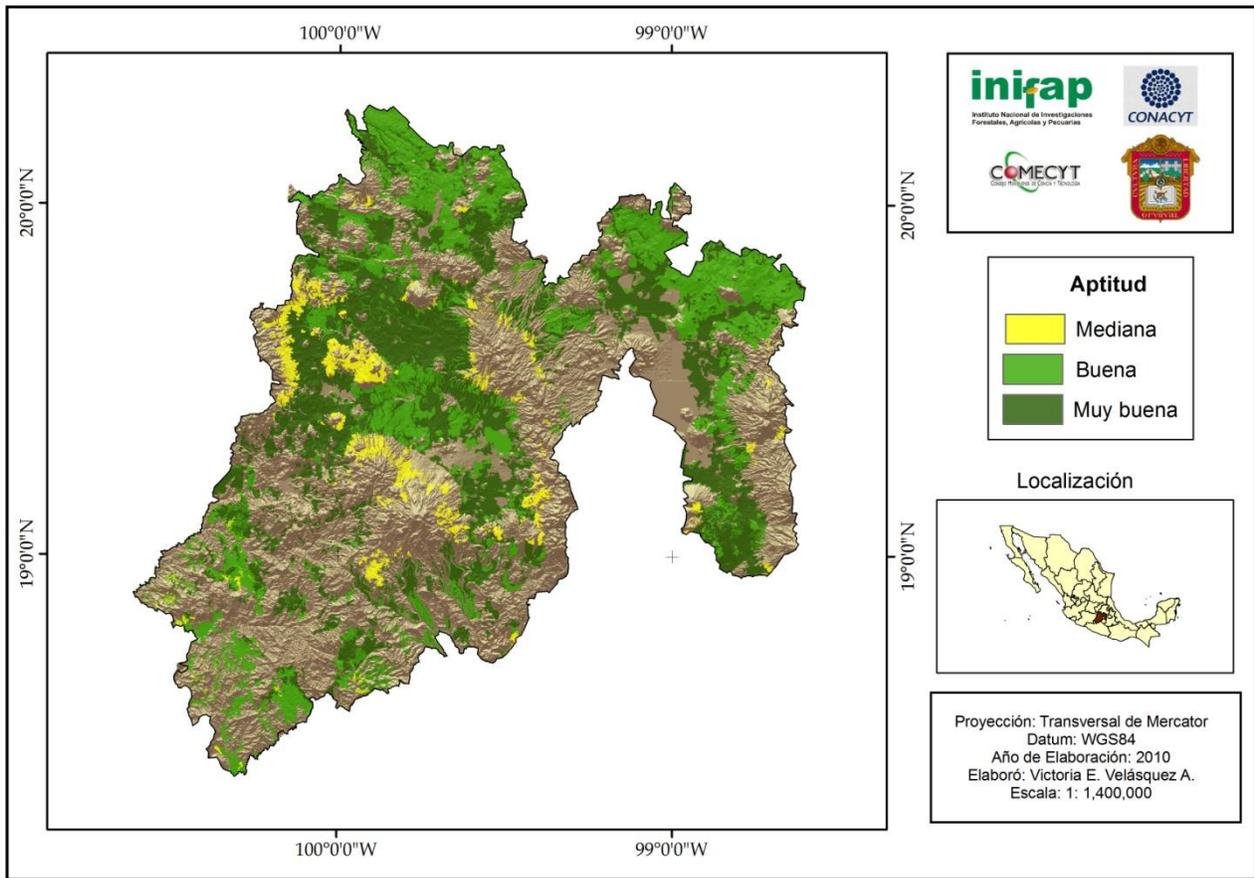


Figura 53. Maíz 2050 con el modelo HadCM3, escenario B2.

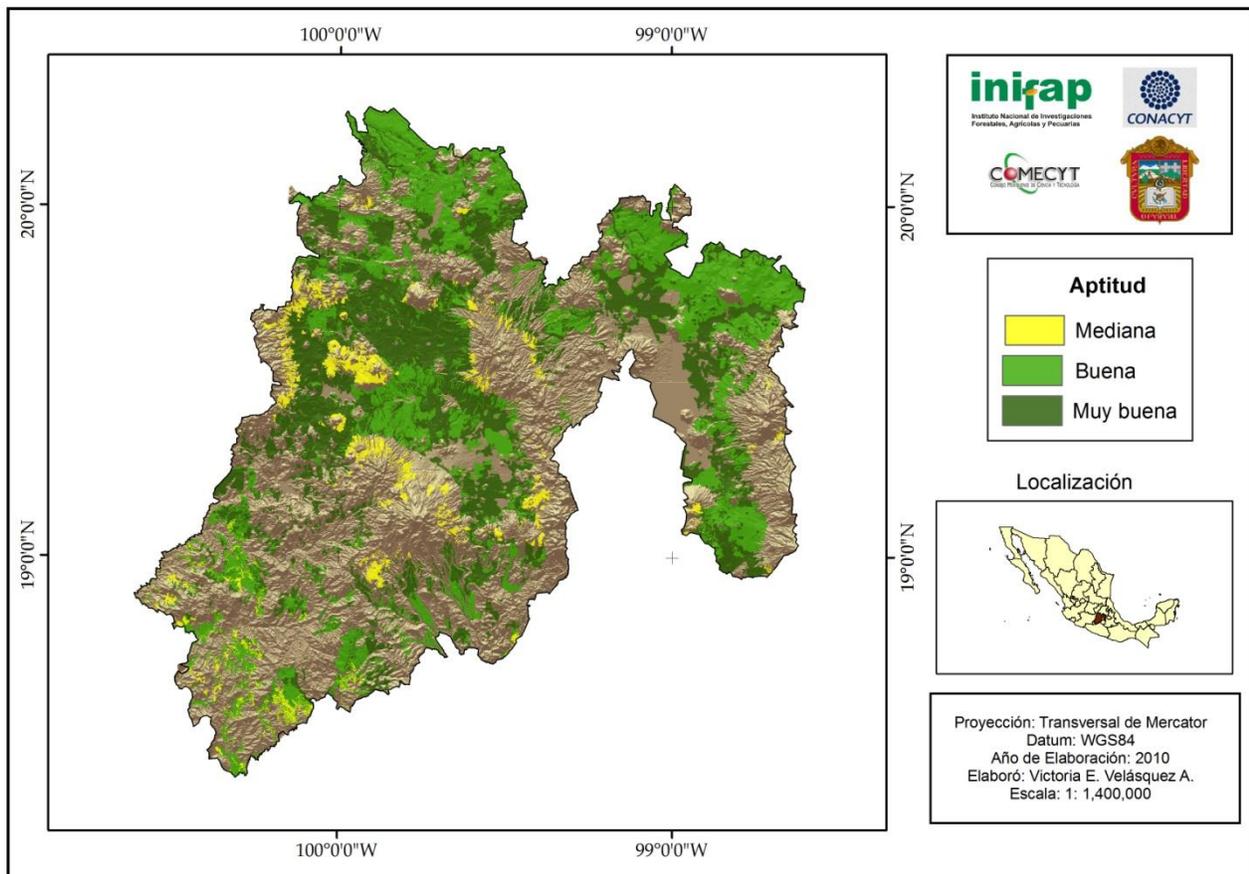


Figura 54. Maíz 2080 con el modelo HadCM3, escenario A2.

5.4 Zonas aptas actuales productoras del cultivo de papa.

En el cultivo de la papa solo se seleccionaron dos categorías la “buena” y “muy buena”, debido a que la superficie cultivada de papa en el estado de México es mucho menor que la del maíz. La superficie que sobresalió en estos resultados fue la “muy buena” con 196,669.62 ha. (Figura 55 y Figura 56). La distribución espacial de la aptitud considerada como "muy buena" se localiza en los DDRs de Toluca, Valle de Bravo, Atlacomulco, Jilotepec, Coatepec Harinas y Texcoco.

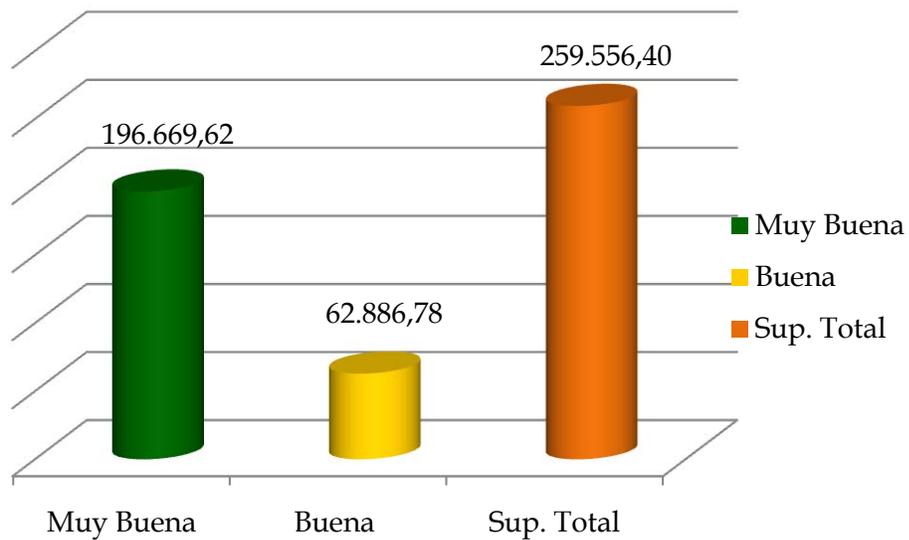


Figura 55. Superficies Actuales (ha) de zonas aptas para la papa actual.

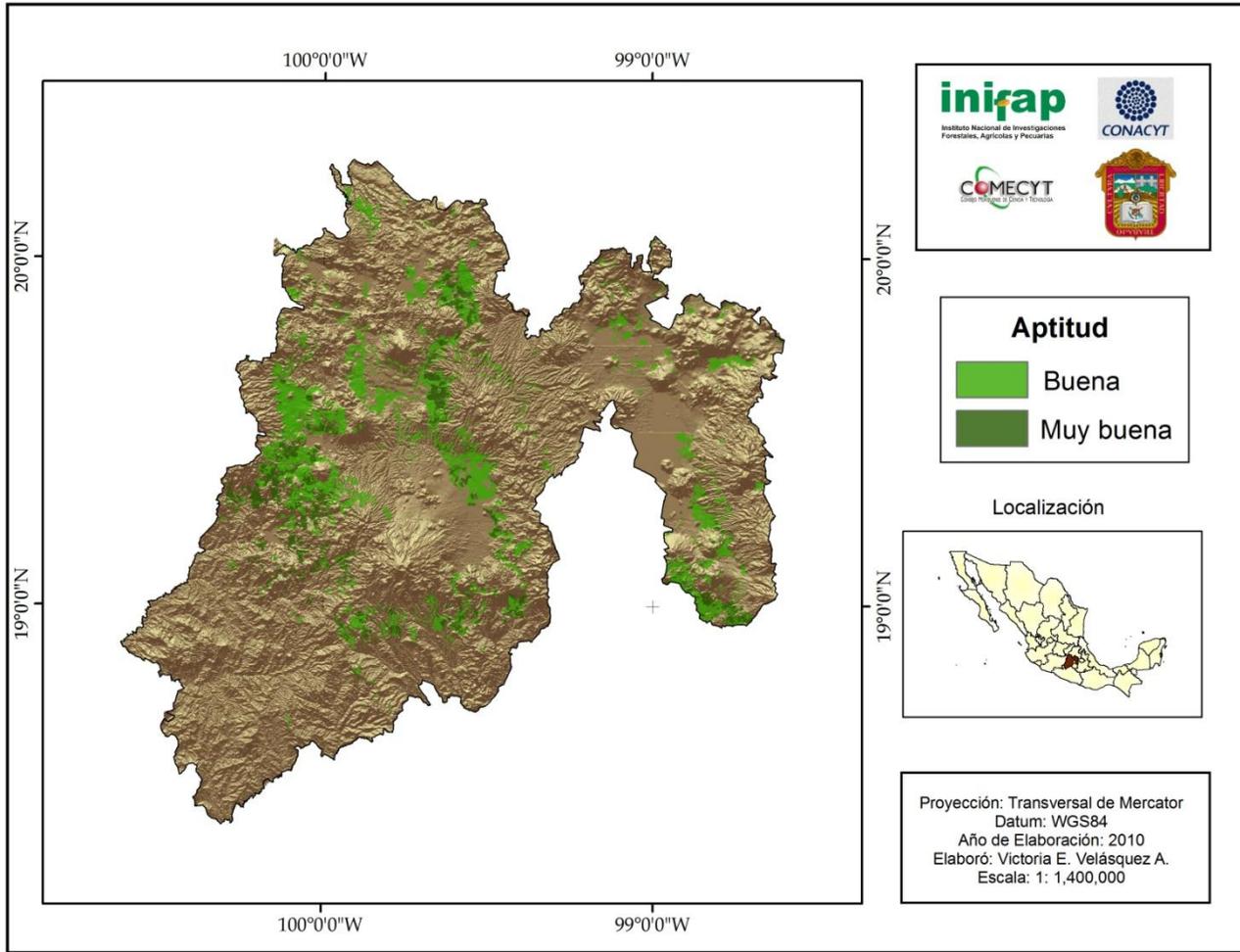


Figura 56. Zonas actuales aptas para el cultivo de la papa.

5.5 Impacto del cambio climático sobre las zonas de aptitud de la papa

Al comparar la superficie de papa actual, con la del modelo CGCM2, podemos observar que el área de aptitud “muy buena” disminuye a menos de la mitad en los años posteriores y con cada uno de los escenarios. A diferencia de la superficie con aptitud “buena” que se incrementa en los tres periodos y en ambos escenarios, sin embargo para el año 2080, escenario A2 la zona potencialmente buena tiene un pequeño declive con 242 155. 98 ha (Figuras 57, 58 y 59).

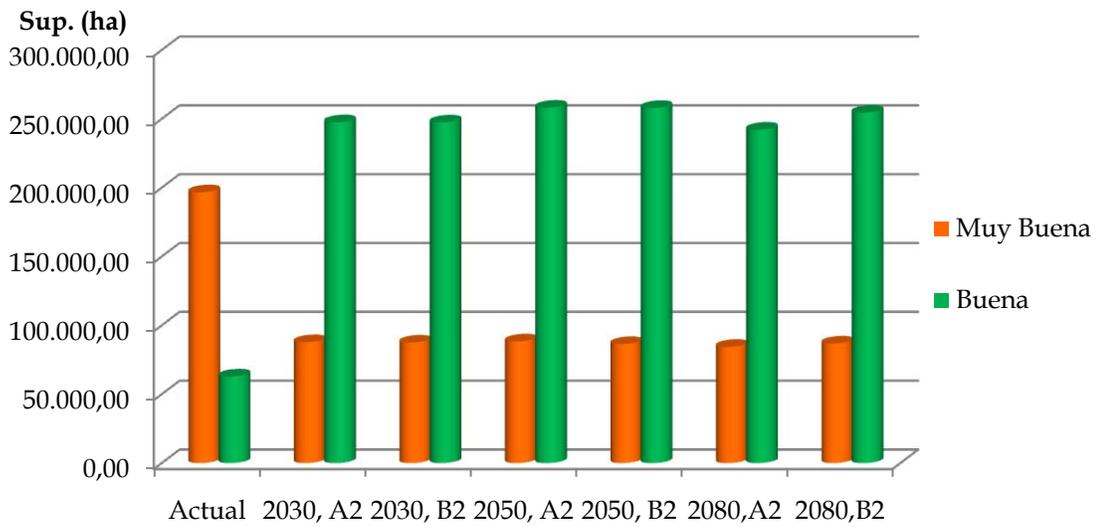


Figura 57. Diferencias entre la superficie actual (ha) de papa y las superficies del modelo CGCM2

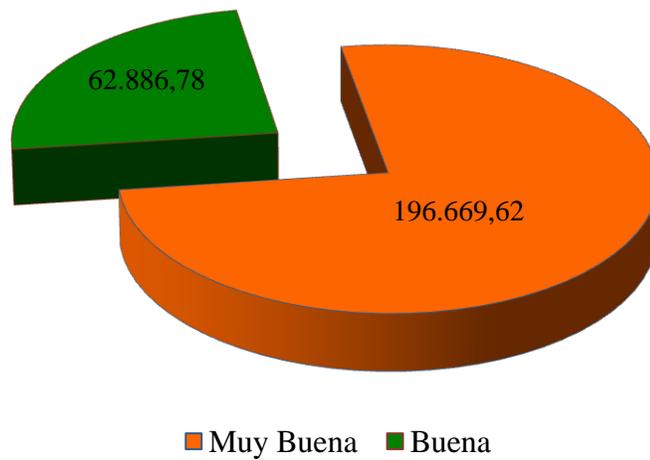


Figura 58. Papa actual

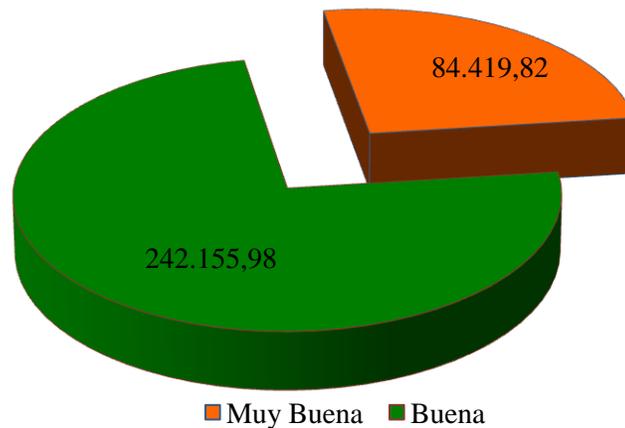


Figura 59. Papa CGCM2, año 2080, escenario A2

En el modelo HadCM3 todas las zonas aptas “buenas” se encuentran por debajo de las 250,000.00 has. y el mayor declive se presenta en el año de 2050 con el escenario B2 con 218,149.20 has. No obstante la papa se podrá sembrar en zonas “buenas”. Figuras 60, 61. Con las consecuencias de menores rendimientos. Para la aptitud “muy buena” al compararse la superficie actual con cualquier año y escenario del futuro esta se reduce a la mitad lo cual nos sugiere que este modelo muestra resultados con un alto grado de variabilidad entre los datos actuales, por lo que podrían ser necesarios más estudios para poder confirmar los resultados del modelo.

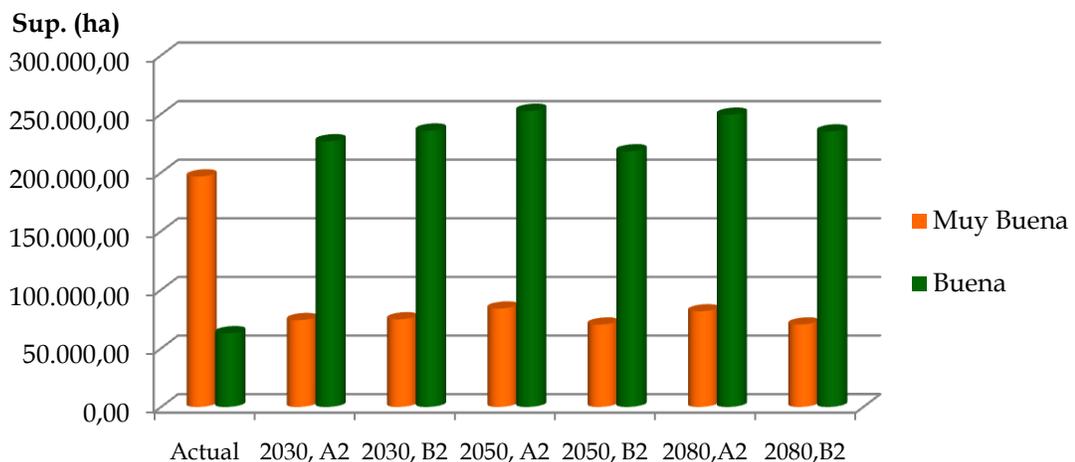


Figura 60. Diferencias entre la superficie actual (ha) de papa y las superficies del modelo HadCM3

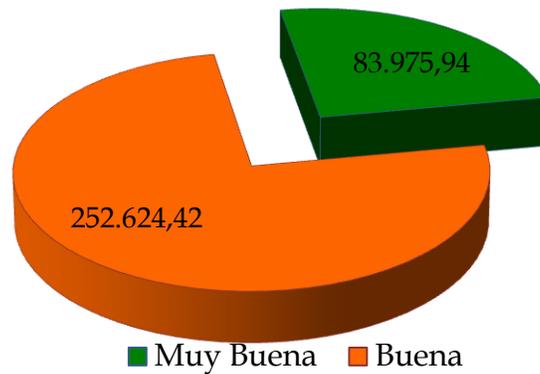


Figura 61. Papa HadCM3, año 2050, escenario A2.

Los resultados espaciales de las zonas potenciales de la papa dentro del rango considerado como "muy buena" con impacto de cambio climático revelan un desplazamiento hacia el norte del estado de México con respecto a las zonas potenciales actuales para el modelo CGCM2 (Figura 62), desapareciendo de los DDRs de Toluca y Coatepec Harinas y disminuyendo en el de Valle de Bravo. Este patrón se repite de las zonas aptas en relación de los demás años y escenarios.

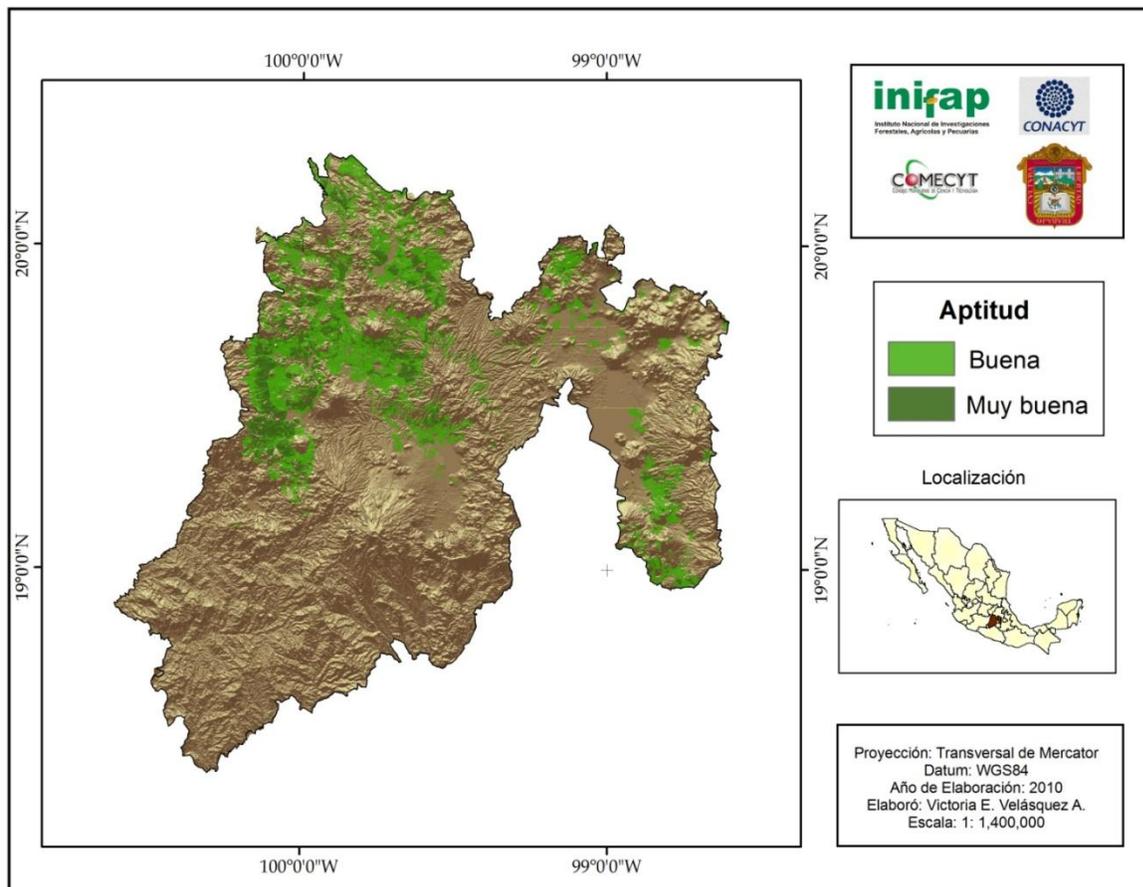


Figura 62. Zonas Aptas de la papa para el año 2050, modelo CGCM2, escenario A2

La Figura 63 muestra la pérdida de zonas potenciales buenas al compararse con los demás años y escenarios.

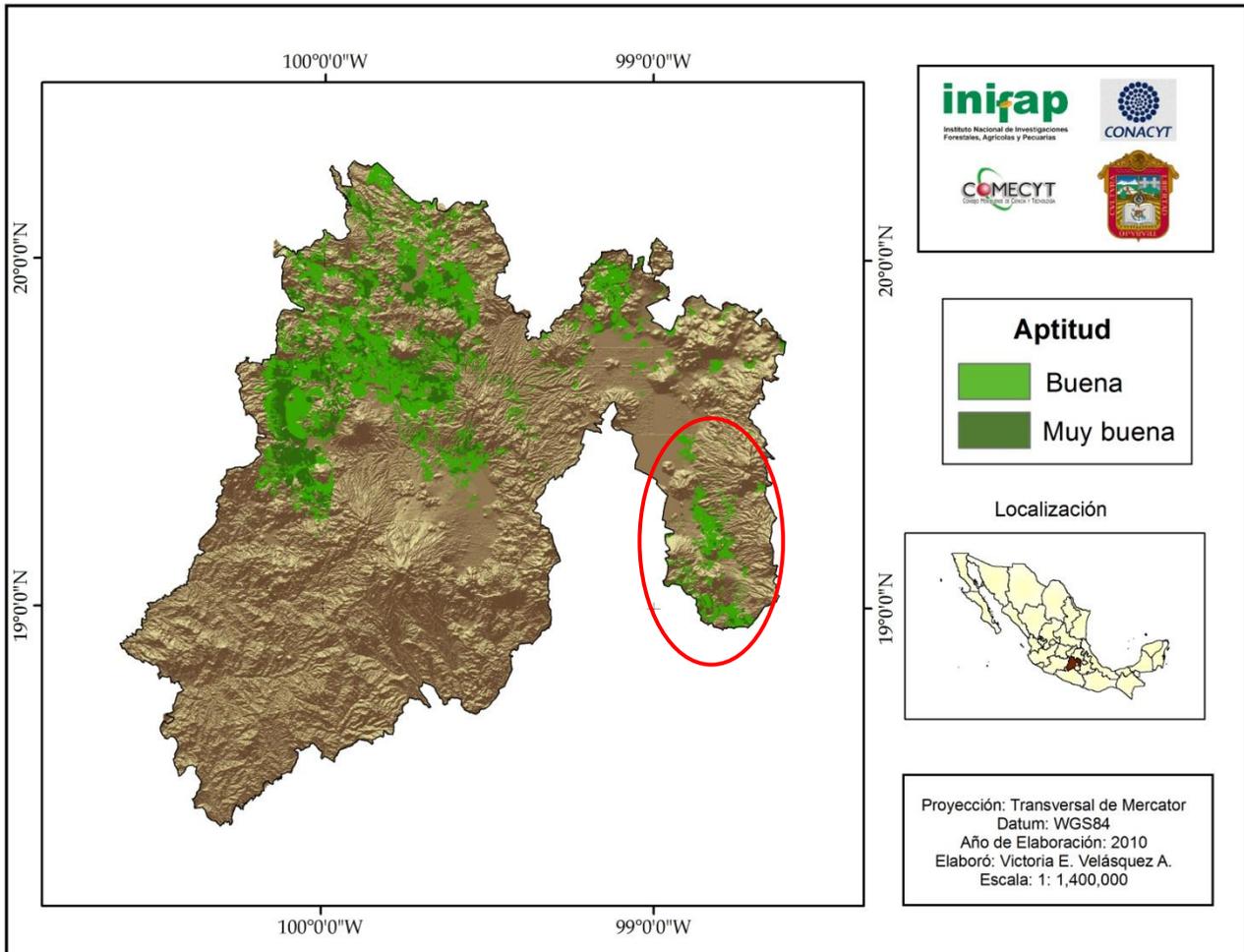


Figura 63. Zonas Aptas de la papa para el año 2080, modelo CGCM2, escenario A2.

Las Figuras anteriores mostraban una pérdida de zonas potenciales buenas para el año 2080 en el modelo HadCM3, en los siguientes mapas (Figura 64 y 65) se pueden observar cuales serán las zonas perdidas espacialmente, se encuentra encerrada en círculo rojo, se comparan además con el mapa del año 2050, escenario A2.

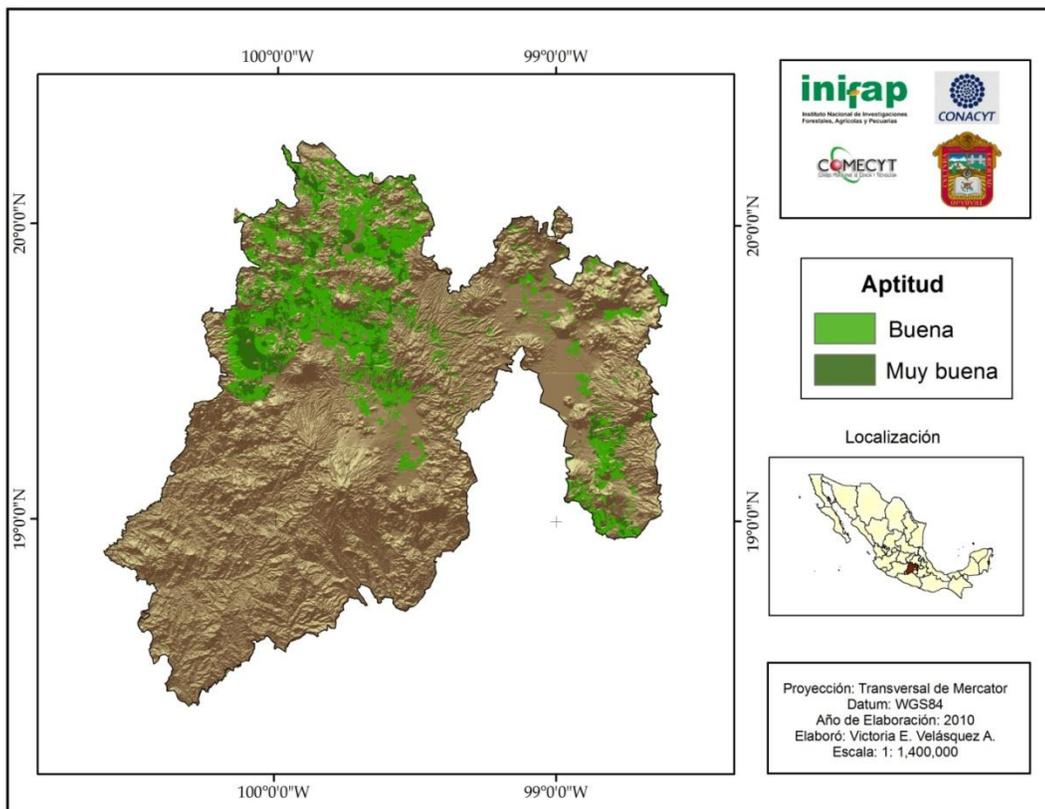


Figura 64. Zonas Aptas de la papa para el año 2050, modelo HadCM3, escenario A2

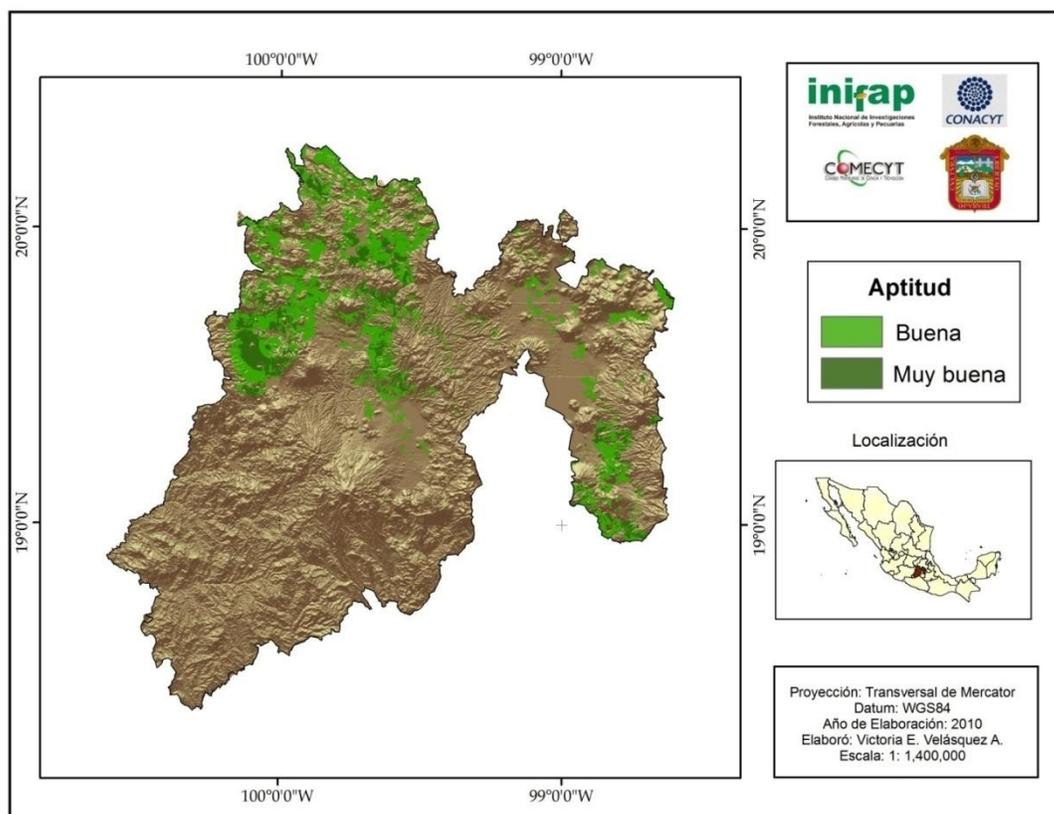


Figura 65. Áreas perdidas en las zonas buenas para el año 2050, escenario B2.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este estudio se ocuparon dos modelos, para la construcción de escenarios de cambio climático con ampliación de escala (SDSM) que permiten obtener proyecciones diversas de temperatura y precipitación bajo distintos escenarios socioeconómicos y ambientales en datos diarios proyectados hasta el 2099, se elaboraron hasta este año debido a que el proyecto “Definición de acciones sobre el riesgo en materia de adaptación y vulnerabilidad para el sector primario ante el cambio climático en el Estado de México” lo solicitaba, es por ello la generación de estos escenarios.

De los posibles cambios en el comportamiento futuro de la precipitación anual en el Estado de México, se puede considerar para cada escenario lo siguiente:

6.1 Precipitación

Modelo CGCM2.

En el 2030 A2, el modelo prevé un aumento mayor en el mes de junio, mientras que en el mes de julio la precipitación disminuirá un poco, pero seguirá siendo más alta que la actual. Durante el mes de agosto la precipitación será igual a la actual, no obstante la precipitación aumentará en los meses posteriores. En el B2 la precipitación aumentará de forma gradual a partir del mes de junio hasta el mes de agosto en donde habrá un declive llegando por debajo de la precipitación la actual.

En el año de 2050 A2 también se prevé un aumento de la precipitación, el aumento mayor se presentará entre los meses de junio a agosto, En el B2 la precipitación estará por arriba de la actual, a pesar de una disminución en agosto.

En el año 2080 A2, a pesar del incremento de la precipitación en los meses de junio y julio, en agosto la precipitación disminuirá aun más que la precipitación actual. En B2 se presenta el mayor aumento en relación con los otros periodos, sin embargo, presentará un descenso en agosto con 160.06 mm con respecto a la precipitación actual que es de 182.20 mm.

Estos resultados podrían ocasionar un beneficio para ambos cultivos ya que las proyecciones se encuentran en el rango de la precipitación óptima, para el desarrollo de los cultivos sin perjudicarlos. Para el maíz el año más favorecedor se presentara en el año 2030, escenario A2 porque las zonas muy buenas tendrán un alto rendimiento en las zonas "muy buenas". En la papa su beneficio estará en las zonas "buenas" ya que para todos los periodos y escenarios ocupan las mayores superficies. Al mismo tiempo los modelos utilizados para cada cultivo hicieron que el impacto negativo de esta variable disminuyera. En comparación con el estudio de la vulnerabilidad de la agricultura de maíz de temporal mediante el modelo (MCG) CERES-Maize en donde las proyecciones propuestas por el modelo GFDL-R30, resultan en la disminución de los rendimientos del cultivo de maíz. Esto debido a que los incrementos en la precipitación impiden la asimilación óptima del nitrógeno al suelo, disminuyendo la productividad de este.

Modelo HadCM3, A2.

En el 2030 existirá el mayor aumento de precipitación media estatal para el mes de agosto llegando 303.91 mm comparada con la precipitación media estatal actual del mismo mes que es de 182.20 mm. Para el año 2080 el aumento que más se observa ocurre en los últimos tres meses del año.

Con el escenario B2, modelo HadCM3, la precipitación de los meses iniciales del año, presentan un ligero aumento en relación con la actual, un ejemplo de esto es en mayo del 2030 donde se tiene la misma cantidad de lluvia en comparación con la actual de 60.30 mm, no obstante la precipitación aumenta considerablemente a partir del mes de junio, teniendo una baja en el mes de septiembre, pero reponiéndose para el mes de octubre, noviembre y diciembre. Este mismo fenomeno se presenta en todos los años estudiados.

Los resultados de esta variable con este modelo ocasionaron prácticamente lo mismo que en el modelo anterior, sin embargo, el cultivo más beneficiado es el maíz ya que con el peso y la combinación con demás variables se obtendrán mejores rendimientos en las zonas “muy buenas”. Para el caso de la papa también tendrá muy buenos rendimientos y producción en las “zonas buenas”. No obstante esta variable afectó a la papa, desplazándola hacia el norte del estado, justo donde la precipitación presenta un aumento, al confrontarla con el otro modelo.

Al comparar el valor máximo de la precipitación del modelo CGCM2 con el valor máximo actual, existe un aumento en todos los escenarios y periodos. No obstante aunque existe un aumento, también hay áreas donde la lluvia será menor a la actual. Los resultados más drásticos fueron los del modelo HadCM3 ya que la precipitación proyectada para los tres periodos es más elevada en comparación con la actual en ambos escenarios.

En un análisis espacial del valor máximo de la precipitación anual del modelo HadCM3 es casi lo doble que la precipitación del modelo CGCM2, cabe mencionar que en este modelo la precipitación disminuye en algunas áreas del estado. En el 2030, A2 la cantidad de lluvia es de 554.307 mm; 2050 B2 es de 590.031 mm y para 2080 es de 564.912 mm con el modelo HadCM3, presentándose en el noroeste del Estado.

6.2 Temperaturas

Los resultados del valor máximo de las temperaturas máximas anuales muestran un incremento para años posteriores en ambos modelos y en ambos escenarios, pero el aumento más representativo es el del año 2080, escenario A2, modelo HadCM3 con una anomalía máxima de 3.32 °C con respecto a la temperatura actual anual que es de 23.22 °C. El análisis espacial del modelo HadCM3 presenta un aumento de temperatura en el centro y noreste del Estado de México.

El valor máximo de las temperaturas mínimas anuales muestran el mismo fenómeno que en las temperaturas máximas donde existe una anomalía de 3.31 °C con el modelo HadCM3, año 2080, escenario A2 con respecto a la temperatura mínima actual que es de 7.94 °C. Cabe mencionar que en todos los años las anomalías están en el rango de 1.2 a 3.31 °C. El análisis espacial de las temperaturas

de mínimas disminuye en el centro y noreste del Estado, con el modelo HadCM3 en comparación con el modelo del CGCM2 en donde las temperaturas mínimas cubren una mayor área del Estado de México.

Algunos cultivos se verán beneficiados en términos de la temperatura mínima, ya que ésta alcanzaría valores por encima de la temperatura mínima normal, lo que alejaría el peligro de las heladas que siniestran frecuentemente a los cultivos de temporal. Sin embargo los cultivos presentan un límite con respecto a la temperatura máxima, en el caso del maíz la temperatura máxima que toleraría es 47° y la papa 30°C según la FAO (Véase los cuadros 1 y 2). En los dos modelos existe un aumento de la temperatura de 1.49°C a 3.32°C en relación con la actual que es de 23.22°C motivo por el cual el maíz del año 2030 presentará un auge con el modelo CGCM, aun así, en los siguientes periodos muestra una disminución, caso contrario con el modelo HadCM3 donde el maíz tiende a presentarse con muy buenos rendimientos, ya que las zonas “muy buenas” sobresalen en los tres periodos y con ambos escenarios. La papa muestra un impacto más espacial que cuantitativamente ya que para ambos modelos existe un desplazamiento hacia el norte del Estado de México a consecuencia de estos cambios de temperaturas en esta zona.

Las combinaciones de incremento en la temperatura y la precipitación, en los escenarios, deben ser tomadas en cuenta por los usuarios de la información y tomadores de decisión, ya que estas condiciones tienen impactos positivos y negativos en los cultivos de Maíz y Papa.

El impacto positivo del cambio climático se presenta en el maíz con el modelo CGCM2, donde las zonas “muy buenas” para el año 2030 bajo los escenarios A2 y B2, aumentan la superficie en relación a la actual. Sin embargo, luego ocurre lo contrario.

Con el modelo HadCM3 se proyecta un beneficio para las zonas “muy buenas” y “buenas”. Esto se debe a los escenarios de precipitación y temperatura del modelo HadCM3 en donde una mayor cantidad de lluvia y aumento de temperatura propician más áreas aptas para el cultivo de maíz de grano. Debido a que el maíz es una planta C4 que responde muy bien a mayor temperatura y mayor cantidad de lluvia, pero el cultivo tiene un límite.

En cuanto a ubicación espacial, el maíz en 2030 en el escenario A2 ocupa una menor área de aptitud “muy buena” en comparación con el escenario B2; se tiene una mayor área apta considerada como "muy Buena" para la misma variable. Otro resultado espacialmente visible es del año 2050, B2 y el año 2080, A2, donde hay una disminución, de la zona “muy buena” en la parte sureste y suroeste del Estado de México.

La papa presenta cambios menos bruscos en superficies aptas ya que para ambos modelos, las zonas potenciales buenas dominan para todos los años y para ambos escenarios. Sin embargo la superficie de aptitud "muy buena" se reduce a la mitad para los dos escenarios en comparación con la actual lo cual puede ocasionar pérdidas de producción estatal.

El análisis espacial indica cambios notorios y muestra un desplazamiento hacia el norte del Estado de México de las áreas "muy buenas" con respecto a las zonas potenciales actuales. Quedando áreas que se dedicaban a este cultivo ya sin ninguna posibilidad de su siembra los que perjudicara en el futuro a los productores de papa de estas áreas.

Aunque cada especie responde fisiológicamente a los cambios ambientales, existe un rango óptimo por especie y etapa fenológica, para las variables ambientales como: temperatura, humedad relativa, radiación solar y dióxido de carbono. Sin estos, las especies más susceptibles, requerirán de ayuda para continuar cultivándolas, de lo contrario se tendrá que llevar a cabo una sustitución de especies cultivables.

Por un lado, encontramos a la temperatura la cual tiene un gran efecto en el desarrollo de varios procesos fisiológicos de los cultivos, que pueden aumentar o disminuir la producción de los cultivos, en este caso el aumento de la temperatura es favorecedor para el desarrollo del maíz. Pero en la papa parece que sucede lo contrario.

Por otro lado, se encuentra la precipitación que presenta una variabilidad espacial y temporal, justo como se muestra en el cultivo de la papa donde hay un desplazamiento hacia el noroeste del estado de México. Ya que los excesos de agua ocasionarán encharcamientos a las cuales no está acostumbrada además de favorecer el desarrollo de enfermedades por hongos a las cuales este cultivo es muy sensible.

Es importante que los resultados muestran que el cambio climático, es una realidad y que no se debe tomar a la ligera, debido a que esto ocasionaría complicaciones, no solo en el ámbito agrícola, si no en todos los sectores.

Cabe mencionar que la mayoría de los resultados son proyecciones y por lo tanto, son únicamente probabilidades. Los resultados dan un panorama a futuro y con ellos se puede apoyar para poder tomar mejores decisiones y opciones enfrentar lo que venga.

CONCLUSIONES

La anomalías de la Temperatura media máxima en el estado de México fluctuaron de los 1.49 °C a 3.32 °C en todos los modelos, años y escenarios evaluados. En la temperatura media mínima las anomalías oscilaron de los 1.23 °C a los 3.31 °C en Estado de México. El modelo que muestra valores más altos de temperatura media, máxima o mínima es el HadCM3.

La precipitación media total anual del Estado de México muestra aumentos que van de los 546.8 mm a los 808.9 mm casi duplicando la precipitación actual. Los aumentos de precipitación en el estado de México por escenarios, modelos y años, ocasionarán variaciones en su distribución espacial y temporal durante el año.

Las superficies con potencial muy apto en la actualidad para maíz, bajo modelos de cambio climático van a sufrir modificaciones benéficas y perjudiciales. El modelo que estima cambios benéficos con aumentos de la superficie muy apta de maíz es el HadCM3 y ocurre lo contrario con el CGCM2.

En el cultivo de la papa la superficie actual muy apta sufre ligeras pérdidas con escenarios de cambio climático en los modelos y años estudiados. La papa bajo escenarios de cambio climático es la que presenta cambios más drásticos en su distribución espacial al compararse con la actual.

Es importante mencionar que toda generación de escenarios climáticos regionales requiere considerar un cierto grado de incertidumbre; en los últimos años la generación de proyecciones de escenarios de cambio climático han aumentado y los resultados han mostrado altas variaciones en cuanto a proyecciones futuras. Para las proyecciones de cambio climático se requiere disponer de un gran número de modelos de circulación general para comparar sus proyecciones. Sin embargo, dichos modelos generalmente adolecen de una baja resolución espacial que pocas veces resulta poco útil para inferir los cambios en el clima que se pueden presentar de un estado del país a otro (Magaña y Caetano, 2007).

El uso de modelos de meso escala constituye una herramienta de gran valor que permite analizar las fluctuaciones asociadas al calentamiento de la superficie de la tierra, incluyendo los efectos de factores topográficos de mayor resolución espacial como la topografía y el uso de suelo. Sin embargo, regionalizar o reducir la escala espacial de los GCM utilizando modelos dinámicos es muy demandante en términos de tiempo de cómputo y de análisis por lo que sólo se dispone de unos cuantos experimentos de cambio climático de alta resolución como son PRECIS o del Simulador de la Tierra (Ídem, 2007)

Mediante una técnica estadística es posible generar muchos escenarios y estimar estadísticamente la dispersión entre modelos como una medida de la incertidumbre. La herramienta Downscaling 4.2 tiene una técnica de estadística “Ampliación de escalas” (Downscaling), esta técnica se puede entender como el desarrollo de datos climáticos para un punto o una pequeña área de información climática regional, facilita un rápido desarrollo de múltiples escenarios y a bajo costo, con sitios sencillos en la web con las variables climáticas diarias de la superficie, permite las relaciones espaciales diarias del predictor-predictand (predictor- predictado) usando múltiples técnicas de regresión lineales.

Sin embargo, para utilizar el software es necesario estar relacionado con el método estadístico de la regresión lineal, ya que si no se llega a comprender lo que significa esto, difícilmente se entenderá como genera los escenarios de cambio climático. Por otra parte se necesita leer detenidamente el manual del software, una por que se encuentra en ingles, y la otra porque es de gran ayuda como

manual. El único inconveniente para algunos usuarios es que se necesita saber un 50% de inglés para poder entender todo a la perfección, ya que tanto el manual como el programa se encuentran en inglés y no hay una versión en español.

Otra cosa importante respecto al programa es que en la interfaz “Screen Variables”, solo se pueden escoger 12 predictores, a lo que se desconfía de los resultados, porque en la mayoría de los casos eran 14 predictores para cada variable de cada modelo y se tenían que utilizar los que presentaban una mayor correlación con los predictandos, entendido de otra manera, cuando tu ingresabas los 12 predictores que te permitía el programa, normalmente salían 2 predictores con una mayor correlación, pero al ingresar los otros 2 restantes estos aparecían siempre con una mayor correlación, es por esto que los predictores tomados para la siguiente interfaz muestra un grado de desconfianza.

Por otro lado la salida de los escenarios el programa los arroja en formato txt. y eso atrasa el procedimiento de analizar los resultados, ya que se tienen que convertir en xls. o un variante para poder analizarlos y procesarlos para uso final.

Por último es importante volver a mencionar que es necesario evaluar las incertidumbres que surge de un escenario de emisiones a otros, lo cual constituye la segunda fuente de incertidumbre, de igual o mayor importancia que la incertidumbre entre los modelos para ofrecer una idea de cómo podrían verse afectados los ecosistemas actuales, la vida humana o la economía, ofreciendo un poco de claridad a los tomadores de decisiones, para los cuales, la componente científica de este problema resulta a veces tan compleja y oscura, que puede tornarse irrelevante.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Libros y Revistas

1. Adams, R. M.; B. H. Hurd; S. Lenhart.; and N. Leary (1998) Effects of global climate change on agriculture: an interpretative review. *Clim. Res.* Pp 11, 19-30
2. Bárcenas, P.L.; Tijerina, L y A. Quevedo. (2002) La zonificación de cultivos en México. Universidad Autónoma Metropolitana – Xochimilco. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Departamento de producción Agrícola y animal. Pp 14-30
3. Conde, C.; R. Ferrer y S. Orozco. 2006. “Climate change and climate variability impacts on rainfed agricultural activities and possible adaptation measures. A Mexican case study”, *Atmósfera*, Pp: 181-194.
4. Cure, J.and Acock B.,(1986). Crop responses to carbon dioxide doubling: a literature survey. *Agric. For Meteorol.* Pp 38, 127-145.
5. Enric, J., (1998). El cambio climático. Editorial Rubes. S. L. Pp 111-114
6. Gay, C., C. Conde, H. Eakin, G. Sánchez, A. Tejeda, R. Seiler, M. Vinocur, M. Wehbe, 2006. Vulnerability and Adaptation to Climate Change: The Case of Farmers in Mexico and Argentina, Final Report Project No. LA29.
7. Godrej D., (2002).Cambio climático. IntermónOxfam. 1ª edición junio 2002. Pp 61-70
8. Hardy T. y Widley Ed., (2003).Climate change; Causes, effects and solutions.John Wiley & Sons Lid.The Atrium, So West Sussex Po19 8SQ. England. 56-70
9. Henderson-Sellers, A. y McGuffie, K. 1990. Introducción a los modelos climáticos. Ediciones Omega, S.A. España. 213p.
10. Henderson-Sellers, A. y McGuffie,K. 2005. A climate modelling primer.3 ed. John Wiley and Sons.E.U. 280p.
11. Intergovernmental Panel on Climate Chnge (IPCC) 2001. Cambio climático 2001. Informe de síntesis. Watson, R. (ed). Tercer Informe de Evaluación del Grupo de Expertos sobre el Cambio Climático. OMM-PNUMA. 206p.
12. IPCC. 2007. Cambio climático 2007. Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104p.

13. Jones, C.A. and Kiniry J.R., 1986, CERES-Maize: A Simulation Model of Maize Growth and Development, Texas A&M Press, College Station, 194 pp.
14. Jones R., and Mearns L., 2006. Assessing future climate risks. Technical Paper No. 5. Adaptation policy frameworks for climate change. Developing strategies, policies and measures, United Nations Development Program, Global Environment Facility, Nueva York, Cambridge University Press, pp. 119-143.
15. Lane, J. L; T.E. Hakonson and K.V. Bostick. 1995. Applications of the water balance approach for estimating plant productivity in arid areas. In: General Technical Report INT-GTR-315. USDA Forest Service. USA. p: 335-338.
16. Lawlor D.W., (2005). Plant responses to climate change: impacts and adaptation. Tokyo. Pp 81-88
17. Lozano, T. S. 1996. Simulación de uso potencial bajo modelos de interpolación espacial y temporal de variables de clima en sistemas de información geográfica. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua. México. 191 p.
18. Meza R., y Martínez J., 2004. "Características ambientales y áreas potenciales para cultivos en el municipio de la paz, B.C.S." Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Centro de investigación regional del Noroeste.
19. Ortíz S., C.A. 1981. Evaluación de la aptitud de las tierras de México para la producción de maíz, frijol, y sorgo en condiciones de temporal. Centro de Edafología. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México.
20. Ojeda W. et al., (2008). Repercusiones del Cambio Climático en la Agricultura de Riego. "Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México". IMTA: Capítulo 6: 1-5
21. Ritchie, J.; U. Singh; D. Godwin and I. Hunt. 1989. A User's Guide to CERES - Maize V2.10, Michigan State University, International Fertilizer Development Center, Muscle Shoals, EUA.
22. Robinson P. y Henderson-Sellers, A. 1999. Contemporary Climatology. Harlow: Adisson Wesley Longman. U.K. 344p.
23. Rosenberg N., (1981). The increasing CO₂ concentration in the atmosphere and its implication on agricultural productivity. I. Effects on photosynthesis, transpiration, and water use efficiency. Climate Change. Pp 21, 265-279.

24. Rubio, C.; Rangel, J.; Flores, R.; Magallanes, J.; Díaz, C.; Zavala, T.; Rivera, A.; Cadena, M.; Rocha, R.; Ortiz, C.; López, H.; Díaz, M.; Paredes, T. (2000). Manual para la producción de papa en las Sierras y Valles Altos del Centro de México. SAGAR. INIFAP. CIRCE. Campo experimental Valle de Toluca. Libro técnico No. 1. Zinacantepec, Estado de México.
25. Ruddiman W., 2001. Earth's climate: past and future. W.H. Freeman and Company. U.E. 465 p.
26. Ruíz J., Medina G., González I., Ortiz C., Flores H., Martínez R., Byerly K., S/F. "Requerimientos agroecológicos de cultivos". Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. (INIFAP). Centro de investigación regional del Pacífico Centro.
27. Torres R., 1995. Agrometeorología. 1ª ed. Ed. Trillas. México. 154 p.
28. Turrent F., A. (1986). "Estimación del potencial productivo actual de maíz y frijol en la República Mexicana". Colegio de Posgraduados Chapingo, México.
29. Soria, R. J.; Y. Fernández y E. González, 2005. Atlas de Uso de Suelo y vegetación del Estado de México. Libro Técnico No. 4. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Valle de Toluca. Toluca, Estado de México
30. Soria, J., 2009. Superficies cultivadas y mapeo de rendimientos del maíz a nivel municipal estado de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional Centro. Toluca, Estado de México.
31. Young, K. and Long, S., (2000). Crop ecosystem responses to climate change: maize and sorghum. In K. R. Reddy and H. F. Hodges. Climate Change and Global Crop Productivity. CABI Publishing, Wallingford, UK. Pp. 107-131.

Tesis

32. García, N. H. (1988). Zonificación Agroecológica de los principales cultivos bajo riego en el Estado de Guanajuato. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México.
33. García, L. (2004). Aplicación del Análisis Multicriterio en la Evaluación de Impactos Ambientales. Universidad Politécnica de Cataluña Programa de Doctorado de Ingeniería Ambiental. Barcelona. Pp68-78. Disponible en internet: <http://tdx.cesca.es/>
34. González, A., (1998). Programa de cómputo de la clasificación agroclimática de Papadakis (1980) y su aplicación en la zonificación del cultivo de papa en México. Colegio de Postgraduados. Chapingo.

35. Appendini, K., 1988. " Los productores campesinos en el mercado del maíz" en Revista Mexicana de Sociología, Vol. 50, No. 1 (Jan. - Mar., 1988), pp. 149-167. Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: <http://www.jstor.org/stable/3540506>
36. Ávila, M., (2000). Proyecto Regional: Información sobre tierras y aguas para un desarrollo agrícola sostenible. El caso Brasil. Informe Técnico 2. FAO-Proyecto GCP/RLA/126/JPN. Santiago, Chile. Pp.65
37. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 1976. "Esquema para la evaluación de tierras" en *Boletín de Suelos de la FAO* No. 32. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 66 pp.
38. FAO, 1997 "Zonificación agro-ecológica" Guía general en Boletín de suelos de la FAO Servicio de Recursos, Manejo y Conservación de suelos Dirección de Fomento de Tierras y Aguas, FAO Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma
39. García, H.; J. López; R. Moreno; M. L Villers; R. García. (1998). "Potencial agrícola del distrito de desarrollo rural 004, Celaya, Guanajuato, México. Una aplicación del enfoque de límites de transición gradual (fuzzy) utilizando SIG" en Investigaciones Geográficas Boletín 38. 1999 Disponible en:<http://www.igeograf.unam.mx/instituto/publicaciones/boletin/bol38/b38art6.pdf>
40. Partovi, F. and Hopton, W., 1994. "The analytic hierarchy process as applied to two types of inventory problems" en *Production and Inventory Management Journal*; First Quarter 1994; 35, 1; ProQuest Science Journals pg.13.Drexel University. Philadelphia. USA.
41. Revista mensual producida y editada por apoyos y servicios a la comercialización Agropecuaria, Órgano Desconcentrado de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, fundado en 1991. "Claridades Agropecuarias". Revista Mensual. La papa en México, un cultivo con potencialidad. Vol. 1 Núm. 57 mayo 1998. p 3-5
42. Romo G., J.R. 1985 Zonas con potencial agroclimático para la producción de cinco oleaginosas bajo temporal en la República Mexicana. Tesis de Maestría. Colegio de posgraduados. Chapingo, México. 181 p.
43. Vargas M., 1996. Estrategias de sobrevivencia, alternativas económicas y sociales de la unidad campesina. *Papeles de Población*, julio - septiembre, número 012 Universidad Autónoma del Estado de México Toluca, México pp. 39-50

Medios electrónicos

44. Alvarado, G., 2008. Análisis de las variaciones climáticas de la cuenca alta del río Lerma, México de 1960 a 2000. Seminario de avances en proyectos de investigación. Universidad Autónoma del Estado de México.
Disponible en: http://www.uaemex.mx/pestud/mae_doc/ciencias%20ambientales/SCA.pdf
45. Couto, W., 1996. Consultor FAO. Adaptación de la metodología de zonificación agroecológica de la FAO para aplicaciones a diferentes niveles de zonificación en países de América Latina y el Caribe. Taller Regional sobre Aplicaciones de la Metodología de Zonificación Agro-Ecológica y los Sistemas de Información de Recursos de Tierras en América Latina y El Caribe. Santiago – Chile, Octubre 1996. Disponible en: <http://www.rlc.fao.org/es/tierra/pdf/zae/adapta.pdf>
46. Conde, C.; D. Liverman; M. Flores; R. Ferrer; R. Araujo; E. Betancourt; G. Villarreal; C. Gay. 1997 et al, 1997. Impactos del cambio climático en la agricultura en México. Instituto Nacional de Ecología (INE) Noviembre 2004. Disponible en:
http://www.rembio.org.mx/newr/sites/default/files/Cambio%20Clim%C3%A1tico_Una%20visi%C3%B3n%20desde%20M%C3%A9xico.pdf
47. Conde, A. y Gay, C., (2008) Guía para la Generación de Escenarios de Cambio Climático a Escala Regional Primera versión. Noviembre. 2008. Centro de Ciencias de la Atmósfera. Disponible en:
http://www.atmosfera.unam.mx/gcclimatico/documentos/reportes_cuarta_comunicacion/Escenarios/Guia_escenarios.pdf
48. Ecocrop. Disponible en: <http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/cropView?id=1971>
[Consulta: enero 2010].
49. Environment Canada. Climate Modelling and Analysis. Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis. Disponible en: <http://www.ec.gc.ca/ccmac-cccma/>
50. Franco, A., 2005. Diagnóstico del sistema producto papa del estado de México. Valida el comité de papa del estado de México. Toluca, Edo. México. Pp 2- 4
Disponible en: http://www.sagarpa.gob.mx/v1/subagri/info/sp/papa/pr_mex.pdf
51. Gabriel Ortíz. Diccionario Gis. Disponible en: <http://www.gabrielortiz.com/>
52. Gobierno del Estado de México, 2010. Geografía y Estadística
www.edomex.gob.mx
53. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Anuario Estadístico del Estado de México, 1995. México. Disponible en:
<http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/aee95/estatal/mex/index.htm>

54. INEGI. Anuario Estadístico del Estado de México, edición 2000. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/aee00/info/mex/mapas.pdf>
55. INEGI. Anuario Estadístico del Estado de México, 2007. México. Disponible en: <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/>
56. INFOAGRO. 2002. El cultivo del maíz. Agroalimentación. [Documento en línea]. Disponible en: <http://www.infoAgro.com>
57. IPCC, 2005. Bases de datos del IPCC (física del clima) en internet. 0 Introducción a los modelos Climáticos. Disponible en: <http://elclima.esparatodos.es/>
58. Ley de distritos de desarrollo rural. Capítulo II del establecimiento de los distritos. Artículo 7 y 8. Disponible en: <http://www.cem.itesm.mx/derecho/nlegislacion/federal/35/8.htm>
59. Luque, E., (S/F). Nuevas variedades de papa en el norte de Sinaloa. Fundación Produce. Sinaloa A.C. Enlace, Innovación y progreso. Colección Resultados de Proyectos. Disponible en: www.fps.org.mx
60. Nelson, G. et al., (2009). Cambio Climático. El impacto en la agricultura y los costos de adaptación. Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias IFPRI. Washington, D.C. Actualizado en Octubre 2009
Disponible en: <http://www.ifpri.org/node/6191>
61. Palma, B.; C. Conde; R. Morales y G. Colorado. (S/f). Escenarios de Cambio Climático para Veracruz (2007). En Plan Estatal de Acción Climática del Estado de Veracruz (A. Tejeda-Martínez, coordinador). [Documento en línea]. Disponible desde internet en: http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/docs/PAGE/PROTECCIONVER/CAMBIO_CLIMATICO/ESTUDIOS_CAMBIO_CLIMATICO/ESCENARIOS%20CLIM%20CITICOS.PDF
62. Producto interno bruto (PIB) per cápita de las grandes economías mundiales y Latinoamérica, 1971-2009. Datos del Banco Mundial actualizados hasta 2009. Disponible en: <http://www.mexicomaxico.org/Voto/PIBCap.htm>.
63. Sánchez, R., 2010. El Análisis Multicriterio en la Práctica Deseamos contribuir a cerrar la brecha entre la teoría y la práctica del Análisis Multicriterio. Disponible en: <http://analisismulticriterio.blogspot.com/>
64. Sarría F., S/F. Sistemas de Información Geográfica. Disponible en: http://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario_in.pdf
65. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2009 (SAGARPA). Servicio de Información de Agricultura y Pesca. (siap) Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/>

66. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Acciones de México de mitigación y adaptación ante el cambio climático global. México, D. F. mayo 2008. Disponible en: www.semarnat.gob.mx/queessearnat/politica_ambiental/cambioclimatico/Pages/cambioclimatico.aspx
67. Tapia, M. y Fries A., 2007. Guía de campo de los cultivos andinos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Asociación Nacional de Productores Ecológicos del Perú. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/ai185s/ai185s.pdf>
68. Wilby, R. y Dawson C., 2007. SDSM 4.2.A decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. Pp 8- 90 Disponible en: www.sdsm.org.uk

ANEXOS

Índice de figuras

Figura 1. Características básicas de un modelo Climático de Circulación General (Henderson-Sellers y McGuffie, 1990)	2
Figura 2. Representación esquemática de la familia de los escenarios	3
Figura 3. Variación simplificada de las tasas de fotosíntesis y respiración de los cultivos.	11
Figura 4. Volumen de Producción del cultivo Maíz de grano de todos los DDR. Ciclo: Primavera-Verano. Modalidad: Riego + Temporal	17
Figura 5. Volumen de producción de maíz de grano 2000. Ciclo: Primavera- Verano; Modalidad: Riego + Temporal	18
Figura 6. Volumen de producción de maíz de grano 2005. Ciclo: Primavera- Verano; Modalidad: Riego + Temporal	19
Figura 7. Volumen de producción de maíz de grano 2008. Ciclo: Primavera- Verano; Modalidad: Riego + Temporal	19
Figura 8. Superficie sembrada de maíz de grano 2000. Ciclo: Primavera- Verano; Modalidad: Riego + Temporal	20
Figura 9. Superficie sembrada de maíz de grano 2005. Ciclo: Primavera- Verano; Modalidad: Riego + Temporal	20
Figura 10. Superficie sembrada de maíz de grano 2008. Ciclo: Primavera- Verano; Modalidad: Riego + Temporal	21
Figura 11. Volumen de Producción del cultivo Papa de todos los DDR. Ciclo: Primavera-Verano. Modalidad: Riego + Temporal	24
Figura 12. Volumen de producción de papa 2000. Ciclo: Primavera-Verano. Modalidad: Riego + Temporal	25
Figura 13. Volumen de producción de papa 2005. Ciclo: Primavera- Verano; Modalidad: Riego + Temporal	25
Figura 14. Volumen de producción de papa 2008. Ciclo: Primavera- Verano; Modalidad: Riego + Temporal	26
Figura 15. Superficie sembrada de papa 2000. Ciclo: Primavera- Verano; Modalidad: Riego + Temporal	26
Figura 16. Superficie sembrada de papa 2005. Ciclo: Primavera- Verano; Modalidad: Riego + Temporal	27
Figura 17. Superficie sembrada de papa 2008. Ciclo: Primavera- Verano; Modalidad: Riego + Temporal	27

Figura 18. Localización del Estado de México	32
Figura 19. Programa de SAS	34
Figura 20. Estación con datos faltantes	35
Figura 21. Estaciones del Estado de México y Estados colindantes.	36
Figura 22. Interfaz de Downscaling	37
Figura 23. Herramienta de “Reclassify” ArcGis 9.3	42
Figura 24. Diferencias entre la precipitación actual con el modelo CGCM_2.0, escenario A2	48
Figura 25. Diferencias entre la precipitación actual con el modelo CGCM_2.0, escenario B2	49
Figura 26. Diferencias entre la precipitación actual con el modelo HadCM3, escenario A2	50
Figura 27. Diferencias entre la Precipitación Actual con las del modelo HadCM3, escenario B2	50
Figura 28. Comparación de la precipitación actual con el valor máximo del modelo CGCM2, escenario A2.	52
Figura 29. Comparación de la precipitación actual con el valor máximo del modelo CGCM2, escenario B2.	52
Figura 30. Comparación de la precipitación actual con el valor máximo del modelo HadCM3, escenario A2.	52
Figura 31. Comparación de la precipitación actual con el valor máximo del modelo HadCM3, escenario B2.	52
Figura 32. Comparación de la precipitación entre los modelos CGCM2 y HadCM3. Año 2030. Escenario A2	53
Figura 33. Comparación de la precipitación entre los modelos CGCM2 y HadCM3. Año 2050. Escenario B2	54
Figura 34. Comparación de la precipitación entre los modelos CGCM2 y HadCM3. Año 2080. Escenario A2	54
Figura 35. Comparación entre las temperaturas máximas anuales.	55
Figura 36. Comparación del valor máximo de la temperatura máxima actual vs el valor máximo de las temperaturas máximas de los modelos y escenarios.	56
Figura 37. Comparación del valor máximo de la temperatura actual vs el valor máximo de la temperatura máxima modelo CGCM2. Año 2030. Escenario A2	57
Figura 38. Comparación del valor máximo de la temperatura actual vs el valor máximo de la temperatura máxima modelo HadCM_3. Año 2030. Escenario A2	57
Figura 39. Comparación del valor máximo de la temperatura mínima actual vs el valor máximo de las temperaturas mínimas de los modelos y escenarios	58
Figura 40. Comparación entre las temperaturas mínimas anuales	59
Figura 41. Comparación del valor máximo de la temperatura mínima del modelo CGCM_2 vs el valor máximo de la temperatura mínima modelo HadCM_3. Año 2030. Escenario A2	60

Figura 42. Comparación del valor máximo de la temperatura mínima del modelo CGCM_2 vs el valor máximo de la temperatura mínima modelo HadCM_3. Año 2080. Escenario B2.	60
Figura 43. Superficies (ha) de zonas aptas de cultivo para maíz actual	61
Figura 44. Zonas aptas para el cultivo de maíz	62
Figura 45. Diferencias entre la superficie (ha) actual de maíz y las superficies con el modelo CGCM2	63
Figura 46. Maíz CGCM2, año 2030, escenario A2	66
Figura 47. Maíz CGCM2, año 2050, escenario A2	63
Figura 48. Diferencias entre la superficie (ha) actual de maíz y las superficies con el modelo HadCM3	64
Figura 49. Maíz HadCM3, año 2030, escenario A2	64
Figura 50. Maíz HadCM3, año 2050, escenario A2	65
Figura 51. Maíz 2030 con el modelo CGCM2, escenario A2.	66
Figura 52. Maíz 2030 con el modelo CGCM2, escenario B2.	67
Figura 53. Maíz 2050 con el modelo HadCM3, escenario B2	68
Figura 54. Maíz 2080 con el modelo HadCM3, escenario A2	68
Figura 55. Superficies Actuales (ha) de zonas aptas para la papa actual.	69
Figura 56. Zonas actuales aptas para el cultivo de la papa.	70
Figura 57. Diferencias entre la superficie actual (ha) de papa y las superficies del modelo CGCM2	71
Figura 58. Papa actual	71
Figura 59. Papa CGCM2, año 2080, escenario A2	72
Figura 60. Diferencias entre la superficie actual (ha) de papa y las superficies del modelo HadCM3	72
Figura 61. Papa HadCM3, año 2050, escenario A2.	73
Figura 62. Zonas Aptas de la papa para el año 2050, modelo CGCM2, escenario A2	73
Figura 63. Zonas Aptas de la papa para el año 2080, modelo CGCM2, escenario A2.	74
Figura 64. Áreas perdidas en las zonas buenas para el año 2050, escenario B2	75
Figura 65. Áreas perdidas en las zonas buenas para el año 2050, escenario B2.	75

Índice de cuadros

Cuadro 1: Requerimientos del cultivo de maíz de grano en el Estado de México	22
Cuadro 2: Requerimientos del cultivo de papa en el Estado de México	28
Cuadro 3. Total de mapas elaborados para cada modelo.	38
Cuadro 4. Provincias agronómicas para maíz de temporal en el Estado de México.	40
Cuadro 5. Cultivo Maíz	41
Cuadro 6. Cultivo de papa	41
Cuadro 7. Altura del maíz	43
Cuadro 8. Pendiente en % del maíz	43
Cuadro 9. Tipos de suelos WRB 2006 del maíz	43
Cuadro 10. Fases físicas del maíz	43
Cuadro 11. Texturas del maíz	44
Cuadro 12. Temperatura de la papa	45
Cuadro 13. Precipitación de la papa	45
Cuadro 14. Tipos de Suelo de la papa	45
Cuadro 15. Altura de la papa	45
Cuadro 16. Pendiente de la papa	45
Cuadro 17. Fases Físicas de la papa	46
Cuadro 18. Texturas de la papa	46
Cuadro 19. Incremento de la temperatura máxima anual en °C	56
Cuadro 20. Incremento de la temperatura mínima anual en °C	59