



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO



Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas

EFFECTO DE LA VARIACIÓN CLIMÁTICA EN LA PRODUCCIÓN DE
MAÍZ (*Zea mays* L.) Y FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) EN LOS
ESTADOS DE JALISCO Y ZACATECAS, MÉXICO

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES

Y MEDIO AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS

PRESENTA:

MARIELA NUÑEZ LARES.



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES

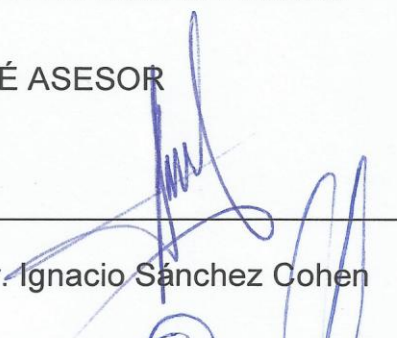
Bermejillo, Dgo, México. Junio 2015.

El Presente trabajo de tesis titulado "EFECTO DE LA VARIACIÓN CLIMÁTICA EN LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ (*Zea mays* L.) Y FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) EN LOS ESTADOS DE JALISCO Y ZACATECAS, MÉXICO", fue realizado por la C. Mariela Nuñez Lares bajo la dirección del Dr. Ignacio Sánchez Cohen y asesorada por el Dr. Aurelio Pedroza Sandoval, Dr. José Luis González Barrios, Dr. © Gabriel García Herrera y Mc. Gerardo Esquivel Arriaga. Ha sido revisado y aprobado por el Comité Revisor como requisito parcial para obtener el título de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES
Y MEDIO AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS**

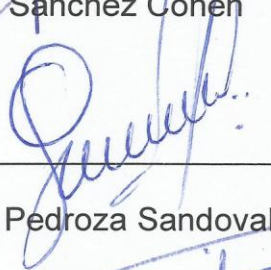
COMITÉ ASESOR

DIRECTOR:



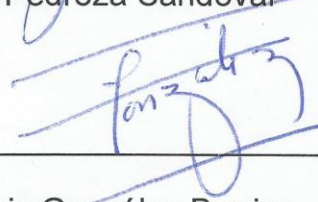
Dr. Ignacio Sánchez Cohen

CODIRECTOR:



Dr. Aurelio Pedroza Sandoval

ASESOR:



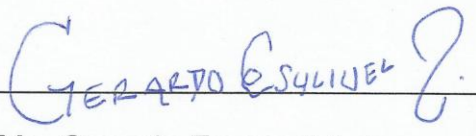
Dr. José Luis González Barrios

ASESOR:



Dr. © Gabriel García Herrera

ASESOR:



Mc. Gerardo Esquivel Arriaga

Bermejillo, Dgo. Junio del 2015

DEDICATORIAS

A mis hijos

Porque son mi motivación más grande, porque por ellos los días son de más de 24 horas, porque por ellos no se siente el cansancio, para ellos mis dos grandes fuentes de energía con todo mi amor.

A mi esposo

Por todo el apoyo desde el inicio de esta gran aventura en el conocimiento.

A mis padres

Por haberme dado la base de una buena educación, por formar el carácter que tengo y por todo su apoyo a lo largo de mi vida de estudiante.

A mis maestros

Gracias por su tiempo y conocimientos compartidos conmigo para lograr este gran proyecto.

A mis amigos y compañeros

Por las aventuras vividas, por los momentos de alegría, de cansancio, de estrés compartido, por formar parte importante de mi vida durante este período y gracias por todo su apoyo.

AGRADECIMIENTOS

Al director de la presente investigación Dr. Ignacio Sánchez Cohen por su apoyo, orientación, colaboración y por compartir sus conocimientos para desarrollar el presente proyecto.

A mis asesores, Dr. Aurelio, Dr. José Luís, Mc. Gerardo y Mc. Gabriel, gracias por la valiosa orientación en este trabajo sin todos ustedes no sería posible.

A todas aquellas personas que conforman el Postgrado de Maestría en Ciencias en Recursos Naturales y Medio Ambiente en Zonas Áridas.

A la Universidad Autónoma Chapingo por su apoyo incondicional durante estos dos años.

A la Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, gracias por tratarme y hacerme sentir como en casa, como siempre me segundo hogar.

Mi más sincero agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por su apoyo y patrocinio en la realización de la presente investigación

DATOS BIOGRÁFICOS

La C. Mariela Nuñez Lares, es originaria de Villa Ocampo, Dgo. Estudió la preparatoria en el Colegio de Bachilleres plantel 07 de Villa Ocampo, Dgo. Egresando en el año 1999. Es Ingeniero Agrónomo especialista en Sistemas Pecuarios de Zonas Áridas, egresada en 2005. Obtuvo el grado de ingeniería con la tesis titulada “Productividad física y económica del agua de riego en maíz forrajero (*Zea mays*) versus alfalfa (*Medicago sativa*), Comarca Lagunera; México, de 1990 a 2009” en junio del 2011, dirigida por el Dr. José Luis Ríos Flores.

Su línea de investigación se relaciona a la climatología y la modelación de procesos, específicamente de Cambio Climático, bajo esta línea logró terminar la presente tesis titulada “EFECTO DE LA VARIACIÓN CLIMÁTICA EN LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ (*Zea mays* L.) Y FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) EN LOS ESTADOS DE JALISCO Y ZACATECAS, MÉXICO”, bajo la supervisión directa del Dr. Ignacio Sánchez Cohen.

Participó en una estancia de investigación en el Centro de Investigación Disciplinaria en Relación Agua, Planta, Atmósfera (CENID-RASPA) el cual es uno de los cinco centros Nacionales del INIFAP, la estancia se llevó a cabo bajo la asesoría del Dr. Miguel Velázquez Valle, investigador experto en diversas áreas entre ellas el estudio del impacto del cambio climático global, particularmente sobre las variables precipitación y escurrimiento superficial, vegetación y suelos. Dicha estancia se logró gracias al patrocinio de Becas Mixtas nacional CONACYT.

Efecto de la variación climática en producción de maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en los estados de Jalisco y Zacatecas, México.

Mariela Nuñez Lares, mariela.nunez.lares@gmail.com 1; Dr. Ignacio Sánchez Cohen, sanchez.ignacio@inifap.gob.mx 2.

1. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo
2. CENID-RASPA, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias

Resumen

En este estudio se cuantificó el efecto de la variación en patrones del clima en la producción de frijol y maíz utilizando modelación climática. Se utilizaron datos del Servicio Meteorológico Nacional, se utilizó un generador estocástico (LARS-WG) para obtener escenarios futuros (50 años) a nivel regional, en base al escenario A2 propuesto por el IPCC. Mediante el generador climático WXPARM, se creó una matriz de parámetros de clima que junto con datos de producción y manejo constituyen los datos de entrada al modelo EPIC para modelar el impacto de las variaciones climáticas en los cultivos antes señalados. Se tomó en cuenta el incremento proyectado de CO₂ atmosférico que presenta el sitio de internet la NASA. Se utilizó el programa ArcMap 10.1 para generar mapas de clima y producción. Por último se obtuvo un índice de impacto de los datos climáticos en rendimiento de cada cultivo. De acuerdo a los resultados obtenidos con el análisis del escenario estudiado, en Zacatecas la temperatura máxima promedio presenta un aumento de 0.38°C, así como la temperatura mínima promedio de 0.37°C, además se observó una disminución de la precipitación promedio anual de 16.87 mm. En lo referente al estado de Jalisco, se presentó una disminución de la precipitación estatal promedio anual de 2.9 mm y la Temperaturas Mínima promedio presentó un aumento de 0.12°C y la Temperatura Máxima Promedio aumentó en 0.13°C. En el cálculo del Índice de Impacto, en Zacatecas fue mayor ya que fue de 0.23 con respecto a Jalisco que fue de 0.05.

Palabras clave: variación climática, escenarios regionales futuros, índice de impacto

Abstract

In this study it was quantified the effect of changes in weather patterns in the production of beans and corn using climate modeling. Climatic data from the National Weather Service were used. Subsequently a stochastic generator (LARS-WG) was used to obtain future regional scenarios (50 years), based on the A2 scenario proposed by the IPCC. Through WXPARM climate generator, a matrix of climate parameters was created, that coupled with production and management data are input to the EPIC model for modelling impact of climatic variations in the mentioned crops. It took into account the projected increase of atmospheric CO₂ presenting NASA website. The ArcMap 10.1 program was used to generate maps of climate and production. Finally an impact factor that relates actual crop yield with modelled yield was computed for each crop. According to the results in Zacatecas average maximum temperature shows an increase of 0.38 ° C and average minimum temperature of 0.37 ° C, plus a decrease in average annual rainfall of 16.87 mm was observed. Regarding the state of Jalisco, the annual average precipitation decreased in 2.9 mm and minimum average temperatures showed an increase of 0.12 ° C and the maximum temperature showed an average increase of 0.13 ° C. The Impact index in Zacatecas was higher (0.23) with respect to Jalisco where it was 0.05.

Ker words: climatic variation, future regional scenarios, Impact index.

Contenido

1. INDICE DE FIGURAS.....	vi
2. INDICE DE CUADROS.....	vii
3. INTRODUCCIÓN.....	1
4. OBJETIVO	5
5. HIPÓTESIS.....	5
6. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
6.1 CAMBIO CLIMATICO Y SUS ELEMENTOS.....	6
6.2 FACTORES IMPULSORES DEL CLIMA.....	6
6.2.1 Factores externos	6
6.2.2 Factores internos	7
6.3 CAMBIO CLIMÁTICO A NIVEL MUNDIAL	7
6.4 CAMBIO CLIMÁTICO Y LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS	8
6.5 ADAPTACIÓN DE LA AGRICULTURA AL CAMBIO CLIMÁTICO.....	9
6.6 VULNERABILIDAD DEL SECTOR AGRÍCOLA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO	10
6.7 CAMBIO CLIMÁTICO Y EL SECTOR AGROPECUARIO EN MÉXICO	10
6.8 SIMULACIÓN DE CLIMA	12
6.9 ESTUDIOS DE IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS	13
6.10 IMPORTANCIA DEL MAÍZ.....	14
6.11 CARACTERISTICAS DEL CULTIVO.....	15
6.12 IMPORTANCIA DEL FRIJOL	19
7. MATERIALES Y METODOS.....	23
7.1 Ubicación geográfica del área de estudio y caracterización climática.....	23
7.2 Ensamble de modelos.....	27
7.3 Proceso de selección de estaciones meteorológicas	27
7.4 Proceso de reducción de escala	29
7.5 Generación de matriz de transición.....	32
7.6 Metodología para ingresar datos al programa EPIC	35
7.7 Calibración del modelo	37
7.8 Validación del modelo	37
7.9 Cálculo del Índice de impacto.....	38
7.10 Mapas de clima y rendimientos	38

8. RESULTADOS Y DICUSIÓN.....	40
8.1 JALISCO.....	40
8.1.1 Variables analizadas.....	40
8.1.2 Mapas de temperatura máxima promedio.....	42
8.1.3 Mapas de Temperatura mínima.....	43
8.2 ZACATECAS.....	46
8.2.1 Variables analizadas.....	46
8.2.2. Mapas de Temperatura máxima.....	48
8.2.4 Mapas de precipitación.....	50
8.2.4 Mapas de Rendimiento de frijol.....	51
8 CONCLUSIONES.....	53
9 BIBLIOGRAFÍA.....	54

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Localización geográfica de los estados de Jalisco y Zacatecas.....	23
Figura 2 Tipos de clima del estado de Zacatecas, (1:1,000,000 INEGI, 2014).....	24
Figura 3 Tipos de clima del estado de Jalisco, (1:1,000,000 INEGI, 2014).....	25
Figura 4. Relieve del estado de Jalisco, (1:1,000,000 INEGI, 2014).....	26
Figura 5 Relieve del estado de Zacatecas, (1:1,000,000 INEGI, 2014).....	27
Figura 6 Estaciones meteorológicos.....	28
Figura 7 Generador estocástico de datos climáticos LARS-WG.....	30
Figura 8 Formato de archivo con e extensión *.sr.....	30
Figura 9 Formato de archivo *.st.....	31
Figura 10 Formato de archivo *WG.dat.....	32
Figura 11 Interfaz de PARAMETROS2.exe.....	33
Figura 12 Interfaz de WXPARM.EXE.....	33
Figura 13 Archivo *.lis.....	34
Figura 14 Interfaz del programa EPIC.....	35
Figura 15 Marco metodológico.....	39
Figura 16 Comparación del comportamiento de la Tmax de datos observados con respecto a datos proyectados (escenario A2) mensualmente en Zacatecas.....	41
Figura 17 Comparación del comportamiento de la Tmin de datos observados con respecto a datos proyectados (escenario A2) mensualmente en Zacatecas.....	41
Figura 18 Comparación del comportamiento de la precipitación de datos observados con respecto a datos proyectados (escenario A2) mensualmente en Zacatecas.....	42
Figura 19 Distribución espacial de temperatura máxima promedio observada (izquierda) y proyectada (derecha).....	43
Figura 20 Distribución espacial de temperatura mínima promedio observada (izquierda) y proyectada (derecha).....	44

Figura 21 Distribución espacial de la precipitación promedio observada (izquierda) y proyectada (derecha).....	45
Figura 22 Distribución espacial del rendimiento de maíz observado (izquierda) y proyectado (derecha).....	46
Figura 23 Comparación del comportamiento de la Tmax de datos observados con respecto a datos proyectados (escenario A2) mensualmente en Zacatecas.....	47
Figura 24 Comparación del comportamiento de la Tmin de datos observados con respecto a datos proyectados (escenario A2) mensualmente en Zacatecas.....	48
Figura 25 Comparación del comportamiento de la precipitación de datos observados con respecto a datos proyectados (escenario A2) mensualmente en Zacatecas	48
Figura 26 Distribución espacial de la Tmax observada (izquierda) y proyectada (derecha) en Zacatecas	49
Figura 27 Distribución espacial de la Tmin observada (izquierda) y proyectada (derecha) en Zacatecas	50
Figura 28 Distribución espacial de la Precipitación observada (izquierda) y proyectada (derecha) en zacatecas	51
Figura 29 Distribución espacial del rendimiento de frijol observado (izquierda) y proyectado (derecha) en Zacatecas.....	52

1. INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Principales características de los escenarios de cambio climático.....	8
Cuadro 2. Calendario agrícola para el cultivo de maíz.....	15
Cuadro 3. Producción mundial de principales cereales en los años de 1996 a 2005. (SIAP, 2006)	17
Cuadro 4. Principales países productores de maíz 1996 a 2005. (SIAP, 2006).....	18
Cuadro 5. Producción Nacional de Maíz por entidad en el año 2012. (Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Forestal y Pesquero, 2014; SIAP, SAGARPA)	18
Cuadro 6. Principales estados productores de Maíz. (SIAP, 2003).....	22
Cuadro 7 Actividades de manejo para el cultivo de frijol en el estado de Zacatecas.....	36
Cuadro 8. Actividades de manejo para el cultivo de maíz en el estado de Jalisco	36
Cuadro 9. Variables climáticas y rendimiento observadas (históricas) con respecto a las proyectadas (escenario A2) en el estado de Jalisco.	40
Cuadro 10. Resumen de variables analizadas en Zacatecas.....	47

2. INTRODUCCIÓN

El clima ha variado continuamente y es un sistema que induce cambios en los patrones de variables de los que depende la vida en la tierra (IPCC 2000). A lo largo de la historia el clima de la tierra ha variado, reflejando las complejas interacciones y dependencias solares, oceánicas, terrestres, atmosféricas y de todos los componentes vivos que conforman el planeta (Esquivel, 2011).

De acuerdo a la evidencia científica el IPCC menciona que (2012) “el cambio climático es un cambio en el estado del clima que puede ser identificado por cambios en el valor medio de sus propiedades y/o por la variabilidad de las mismas, que persiste durante largos periodos de tiempo, generalmente decenios o periodos más largos. Lo anterior puede deberse a procesos internos naturales, a forzamientos externos o a cambios antropógenos persistentes en la composición de la atmósfera o en el uso de la tierra”. De esta manera, de 1995 a 2006, once años están dentro de los doce más cálidos en los registros de la temperatura de la superficie mundial desde el año de 1850. Este aumento de temperatura se distribuye por todo el planeta y se nota más en las latitudes septentrionales superiores. Las regiones terrestres se han calentado más rápidamente que los océanos. En algunas partes de América, Europa, Asia y África ha aumentado la incidencia de precipitación. También se ha observado un aumento de la actividad ciclónica sobre todo en el Atlántico (IPCC, 2007).

El calentamiento en México se presenta sobre todo hacia la región noroeste. Se han definido cambios en la actividad de ondas de calor, de tormentas intensas o de periodos secos en diversas partes, mientras que los sucesos fríos han disminuido en un lapso de alrededor de 50 años. Además en algunas regiones el ciclo hidrológico muestra algunos cambios significativos sobre todo hacia el sur del país (INEGI, 2010).

El sector hídrico es uno de los más vulnerables al cambio climático; los aumentos en evapotranspiración, resultado del calentamiento global del planeta, reducirán la disponibilidad de agua a la vez que serán mayores las demandas por el recurso en

los sectores. Además el cambio climático conllevará aumentos de temperatura y déficit de humedad en el suelo (Sánchez-Cohen *et al*, 2011).

Algunos estudios muestran que la agricultura es extremadamente vulnerable y sensible a las variaciones climáticas, sobre todo en países en desarrollo ya que se encuentran doblemente expuesta: por un lado debido a los cambios socioeconómicos y por otro, a su sensibilidad a las variaciones climáticas (Conde, *et al.*, 2013). Los principales efectos directos del cambio climático sobre la agricultura serían en la duración y estacionalidad de los ciclos de cultivo, alteraciones fisiológicas por exceder las temperaturas a las cuales los cultivos están adaptados, lo que provocaría pérdidas en los cultivos; deficiencias de agua, lo que disminuiría la humedad del suelo, así como cambios en la infiltración y escurrimiento y aumento de la erosión, por la desecación del suelo y la mayor escorrentía superficial. Indirectamente, el cambio climático afectaría la incidencia de plagas y enfermedades, el ciclaje y la disponibilidad de nutrimentos en el suelo, y aumentaría la propensión a incendios. Todos estos factores tienen el potencial de reducir la producción agrícola, descapitalizar al sector, reducir empleos, fomentar la migración hacia zonas urbanas y complicar el acceso a fuentes crediticias. En México, las sequías representan el 80% de todas las catástrofes agrícolas ocurridas entre 1995 y 2003 (Cifuentes, 2010).

Una herramienta útil para mitigar el problema del impacto negativo por las variaciones climáticas con eventos extremos en los cultivos, es la simulación de procesos, a través de los cuales se pueden obtener conclusiones relativas al comportamiento de un sistema por medio del estudio de un modelo cuya relación causa-efecto, es la misma que la del sistema original. Los modelos climáticos son una herramienta esencial para entender el clima actual y su variabilidad. El clima es quizá el factor natural más difícil de modelar debido a las enormes variaciones en espacio y tiempo de las variables que lo definen. Los modelos numéricos de circulación general (GCM) que representan procesos físicos en la atmósfera y el océano constituyen las herramientas fundamentales para simular la respuesta del sistema climático global al incremento en las concentraciones de gases de efecto invernadero y describen el clima disgregando el globo en una malla cuya figura

depende de la resolución del modelo. En modelación de cambio climático se busca la creación de escenarios o proyecciones y su análisis en aras de estar en posición de tomar decisiones sea como mecanismo de prevención, o acciones de mitigación y adaptación (SAGARPA, 2012). En México es necesario trabajar en materia de adaptación al cambio climático dada la alta vulnerabilidad de diversos sectores socioeconómicos a los cambios del clima como los bosques, la agricultura y el sector agua (INE, 2007).

México es el cuarto productor de maíz en el mundo, pero también es un importante consumidor del mismo. Este cultivo es el más importante de México, desde el punto de vista alimentario, industrial, político y social. En lo referente a la producción, durante el periodo 1996-2006 ocupó el 51% de la superficie sembrada y cosechada; generó el 7.4% del volumen de producción agrícola total, representando el 30% del valor total de la producción (SIAP, 2006). De acuerdo a lo mencionado por Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Forestal y Pesquero (2014) para el año 2012, los estados que más producción aportaron fueron: Sinaloa con un 16.5 % de la producción total del país; y Jalisco con 14.7% de la producción.

Las condiciones óptimas para los cultivos del maíz son temperaturas mayores a 20m grados y lluvias de 600 a 1000 milímetros por año, su crecimiento y producción depende del potencial genético de la planta para responder a las condiciones ambientales en las que crece. La tasa de crecimiento de las plantas está relacionada directamente con la temperatura, por lo que la duración de las etapas varía de acuerdo con la temperatura entre y dentro de las fases de crecimiento.

A nivel mundial, nuestro país se encuentra entre los seis principales productores de frijol. Para México, el frijol es un producto estratégico en el desarrollo rural del país, ya que junto con el maíz, representa toda una tradición productiva y de consumo, cumpliendo diversas funciones de carácter alimentario y socioeconómico que le han permitido trascender hasta la actualidad. Después del maíz, el frijol ocupa el segundo lugar en importancia dentro de la superficie sembrada total a nivel nacional, misma que registró un promedio anual en la

década de 1994–2003, de 16.5 millones de hectáreas sembradas, de las cuales el frijol aportó el 14 por ciento en dicha superficie. En el mismo lapso, el rendimiento fue de 646 kg/ha.

Respecto al cultivo de frijol, éste se cultiva en prácticamente todas las regiones del país, bajo diferentes condiciones de suelo y clima. El comportamiento de la producción de frijol puede deberse a diversos factores, entre ellos los climatológicos, los de comercialización, y políticas de apoyo. Este cultivo es muy vulnerable a las condiciones climatológicas que prevalecen durante el ciclo productivo, debido a que en México el 87% de la superficie destinada a este cultivo se ubica en áreas de temporal. En este contexto, la cosecha de frijol depende de manera predominante de los volúmenes que se obtienen en la superficie de temporal y cubren aproximadamente 3/4 partes del total de la oferta nacional de este producto. La principal limitante en su producción, es la escasa disponibilidad de agua, fenómeno que se agudiza en regiones con bajo régimen pluvial como Zacatecas, Durango y Chihuahua, cuyos volúmenes anuales fluctúan entre 360 y 450 mm. Otro factor que contribuye a esta situación es la mala calidad de los suelos (SIAP, 2003). Adicionalmente, el estado de Zacatecas es el principal productor nacional de frijol con 108,882 toneladas; Zanhoria con 107,810 ton; tomate verde con 65,253 ton y ajo con 29,018 ton. (INEGI, 2013b).

3. OBJETIVO

Identificar la relación de la variación climática en la producción y distribución espacial de frijol y maíz en los estados de Zacatecas y Jalisco utilizando modelación climática.

4. HIPÓTESIS

Las variaciones del clima impactan negativamente la producción de maíz y frijol, principalmente en las regiones con menores precipitaciones y con variaciones de las temperaturas extremas.

5. REVISIÓN DE LITERATURA

6.1 CAMBIO CLIMATICO Y SUS ELEMENTOS

Cambio climático. Un cambio en el estado del clima que puede ser identificado (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) por cambios en el valor medio de sus propiedades y/o por la variabilidad de las mismas, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales, a forzamientos externos o a cambios antropógenos persistentes en la composición de la atmósfera o en el uso de la tierra. Esta definición difiere de la adoptada en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), donde se define “cambio climático” como: “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”. La CMNUCC diferencia, pues, entre el cambio climático atribuible a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica y la variabilidad del clima atribuible a causas naturales (IPCC, 2009).

El clima está compuesto de la atmosfera, los océanos, la superficie de la Tierra y las placas de hielo. Por ello se dice que la temperatura del planeta la determina el balance de energía a través de la primer ley de la termodinámica “Conservación de la Energía” (Jaramillo, 2007; Sánchez et al, 2011). Este balance de energía depende fuertemente de diversos factores.

6.2 FACTORES IMPULSORES DEL CLIMA

Los cambios en el balance de energía tienen su origen en factores externos y factores internos (Sánchez et al, 2011).

6.2.1 Factores externos

Los factores externos más importantes son la radiación solar incidente en nuestro planeta, que a su vez depende de la inclinación del eje de la tierra, su

excentricidad y la precesión de los equinoccios, factores fundamentados en la teoría de Milankovitch, que establece que la excentricidad de la Tierra cambia cada 100 mil años, la oblicuidad (inclinación del eje de rotación de la tierra con respecto al plano de la eclíptica y la precisión de la órbita terrestre (o precesión de los equinoccios: cambio en la dirección del eje en la tierra); al conjunto de estos movimientos orbitales se les conoce como Ciclos de Milankovitch. En términos de cambio climático, la importancia de estos ciclos estriba en que la distancia de la Tierra al sol así como su posición con respecto a éste, hace que la radiación le llegue con mayor o menor cuantía afectando el clima en consecuencia.

6.2.2 Factores internos

Los factores impulsores del clima propician cambios al balance de energía, así, uno de estos factores internos son los gases que por acciones antropogénicas se han incrementado notablemente en la atmósfera con perturbaciones en los patrones del clima.

- Gases de Efecto invernadero. De los gases presentes en la atmósfera en nitrógeno, el oxígeno y el argón ocupan el 99.99% de los gases que la constituyen. Actúan en la transmisión y refractancia de los rayos solares y definen la distribución de la radiación solar. El efecto invernadero se produce debido a la capacidad de algunos gases (GEI) de atrapar calor y radiación de onda larga y de reemitirla a la superficie de la Tierra. Los GEI más importantes están de manera natural en la atmosfera y su concentración puede verse modificada por la actividad humana.

6.3 CAMBIO CLIMÁTICO A NIVEL MUNDIAL

Como resultado del cambio climático a nivel mundial, se espera que se produzcan temperaturas extremas, escasez de agua e inundaciones, debido principalmente al aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) inducidos por la acción humana. Algunos animales y plantas pueden reducirse en tamaño debido a las altas temperaturas y a las menores precipitaciones (Sheridan y Bickford 2011; Ortiz, 2012), lo que limitará la disponibilidad de fuentes alimentarias esenciales

para la nutrición del ser humano. Este cambio de clima afectará seriamente la agricultura a nivel mundial (Tubiello et al, 2007; Ortiz, 2012). En la mayoría de los escenarios de calentamiento global, existe una alta probabilidad de que se produzca una disminución en los rendimientos de los cultivos debido a las crecientes temperaturas y a las menores precipitaciones, lo que a su vez agudizará la inseguridad alimentaria. Otras de las consecuencias esperables son la disminución de la calidad de los cultivos, una mayor lixiviación de nitrógeno y erosión del suelo, y la menor disponibilidad de tierras y recursos hídricos para la actividad agropecuaria.

Cuadro 1. Principales características de los escenarios de cambio climático

ESCENARIOS	PRINCIPALES CARACTERISTICAS
A1	Rápido crecimiento demográfico y económico asociado a la incorporación de nuevas tecnologías más eficientes
A1F1	Uso intensivo de combustibles de origen fósil
A1T	Uso predominante de fuentes de energía de origen no fósil
A1B	Uso equilibrado de todo tipo de fuentes de energía
B1	Comprende cierta reducción del nivel de emisiones mediante el uso más eficiente de energía y de tecnologías más desarrolladas.
B2	Comprende cierta reducción del nivel de emisiones mediante el uso más eficiente de energía y de soluciones más localizadas.

6.4 CAMBIO CLIMÁTICO Y LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS

Los cambios previstos en la frecuencia y gravedad de severos eventos climáticos pueden tener consecuencias para la producción de alimentos, y provocar potencialmente el fracaso del cultivo, la perturbación de los bosques, pérdidas de los recursos genéticos disponibles para la producción agrícola y de alimentos, y cambios regionales en la distribución y productividad de determinadas especies de peces. Según los pronósticos, un incremento térmico de 1 a 3 grados centígrados desestabilizará la producción de alimentos sobre todo en las regiones

de latitud baja, mientras que la producción local se verá afectada por el aumento de las sequías e inundaciones recurrentes sobre todo en los ecosistemas secos y tropicales. Esto perjudicará la seguridad alimentaria; los agricultores de subsistencia y los que cultivan parcelas pequeñas, así como los pastores y los pescadores, serán los más afectados por los efectos complejos y localizados del cambio climático (FAO, 2008).

6.5 ADAPTACIÓN DE LA AGRICULTURA AL CAMBIO CLIMÁTICO

La adaptación de los sistemas alimentarios al cambio climático es esencial para fomentar la seguridad alimentaria, la mitigación de la pobreza y la gestión sostenible y conservación de los recursos naturales. Muchos países ya están sufriendo las repercusiones del cambio climático en forma de una pluviometría irregular e impredecible, un aumento de la incidencia de las tormentas y sequías prolongadas. El cambio de las condiciones meteorológicas también favorece la aparición de plagas y enfermedades que afectan a cultivos y animales.

Las tierras de cultivo, los pastos y los bosques que ocupan el 60 por ciento de la superficie terrestre se ven progresivamente expuestos a las amenazas derivadas de la variabilidad climática y del cambio climático. Por su parte el cambio climático amenaza con menoscabar los logros del desarrollo y disminuir el progreso para lograr los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), en especial aquellos relacionados con el hambre, la reducción de la pobreza y la garantía de la sostenibilidad ambiental.

La evaluación de los impactos del cambio climático y la planificación de la adaptación al mismo deben considerar las vulnerabilidades, los riesgos, las dotaciones de recursos naturales y los contextos socioeconómicos específicos de la zona en cuestión. Las comunidades rurales en entornos frágiles (como las costas, zonas áridas o montañosas) se verán afectadas en mayor medida ya que se enfrentan al riesgo de pérdida continuada de las cosechas, la pérdida de productos de ganado, pesca y forestales, y una reducción de la disponibilidad de los recursos naturales. En estas situaciones los grupos vulnerables como las mujeres o las poblaciones indígenas pueden ser los más afectados.

Los países necesitan conocimientos sólidos sobre la vulnerabilidad de sus sistemas alimentarios, ecosistemas, sociedades y economías nacionales ante los efectos actuales y futuros de la variabilidad climática y del cambio climático (FAO, 2014).

6.6 VULNERABILIDAD DEL SECTOR AGRÍCOLA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

La vulnerabilidad, entendida como el grado o la intensidad del daño que puede experimentar un sistema o unidad (tal como un grupo humano o un lugar) debido a su exposición a perturbaciones o estrés, es un aspecto fundamental del cambio ambiental global (Parry, 1996; Palutikof J.P., 2007; SAGARPA, 2009).

La vulnerabilidad actual al clima se correlaciona fuertemente con la variabilidad del clima, particularmente la variabilidad de la precipitación. Ésta es mayor en las regiones semiáridas y áridas, donde la precipitación y la escorrentía se concentran durante algunos meses, y donde se presentan altas variaciones interanuales (Lenton, 2004; SAGARPA, 2009).

En México, las variadas condiciones de clima, geología, suelo y relieve generan una gran heterogeneidad ecológica, la cual, sumada a las diferentes condiciones culturales, sociales y económicas hacen de las tierras mexicanas y sus condiciones un mosaico extremadamente complejo. Debido a esto la respuesta de este mosaico, con características variadas, al impacto de los diferentes procesos, en caso particular al cambio climático, también será compleja y diferencial.

Se han llevado a cabo estudios sobre la vulnerabilidad actual de las tierras debido al déficit de precipitación y de la disponibilidad del agua, afirman que en México la vulnerabilidad es extremadamente severa en 3.6% del territorio, muy severa en 33%, severa en 24% y no severa en 6.3%. Los sectores más vulnerables al cambio climático son el agua, la agricultura y los bosques (SAGARPA, 2009).

6.7 CAMBIO CLIMÁTICO Y EL SECTOR AGROPECUARIO EN MÉXICO

La tierra de uso agrícola en México abarca aproximadamente 30 millones de hectáreas, de las cuales cerca del 80% es de temporal; esta condición hace que la

agricultura mexicana sea muy vulnerable a las fluctuaciones climáticas. Según este estudio, los cultivos bajo irrigación no se ven en principio tan afectados como los de temporal, a menos que la disponibilidad de agua en presas se reduzca substancialmente. Sin embargo, tanto los cultivos de temporal como los de irrigación están expuestos de la misma manera a los cambios en la temperatura y precipitación (Gay, 2000; SAGARPA, 2009).

El sector agropecuario en México ha sufrido una serie de cambios y adaptaciones a lo largo de los años, tanto por modificaciones en las condiciones de la tierra, las variaciones en el clima y los cambios en las demandas de la sociedad. En ocasiones esto se ha hecho al modificar las prácticas de manejo de las unidades agropecuarias y por la sustitución de cultivos o razas, entre otras causas. El cambio climático revive este reto y las medidas analizadas en este trabajo dejan claro que existen los elementos para afrontarlo.

Por cambio climático se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables. Sus efectos son considerables sobre el sector agropecuario, ya que este es altamente dependiente del clima y, por lo tanto, vulnerable a los cambios del clima. Entre los efectos del cambio climático se tiene el incremento en la temperatura, lo cual tiene efectos negativos en el desarrollo vegetativo de los cultivos y provoca la proliferación de malas hierbas e insectos dañinos, así como la aparición o reemergencia de enfermedades. También, como efecto del cambio climático se registran eventos extremos como las sequías, las heladas y las inundaciones, las cuales afectan negativamente la producción agropecuaria por lo que, en el contexto de la actual crisis internacional de precios de los alimentos, los eventos climáticos extremos juegan un papel importante (SAGARPA y FAO, 2012).

6.8 SIMULACIÓN DE CLIMA

Mediante la simulación de procesos se pueden obtener conclusiones relativas al comportamiento de un sistema por medio del estudio de un modelo cuya relación causa-efecto es la misma la del sistema original. Los modelos climáticos son una herramienta esencial para entender el clima actual y su variabilidad. El clima es quizá el factor natural más difícil de modelar debido a las enormes variaciones en espacio y tiempo de las variables que lo definen. Los modelos numéricos de circulación general (GCM) que representan procesos físicos en la atmósfera y el océano constituyen las herramientas fundamentales para simular la respuesta del sistema climático global al incremento en las concentraciones de gases de efecto invernadero y describen el clima disgregando el globo en una malla cuya figura depende de la resolución del modelo. En modelación de cambio climático se busca la creación de escenarios (o proyecciones) y su análisis en aras de estar en posición de tomar decisiones sea como mecanismo de prevención, o acciones de mitigación y adaptación (Sánchez et al, 2011).

En la modelación climática se utilizan ampliamente las técnicas de reducción de escala del tipo estadístico debido a su relativa rapidez y menor necesidad de recursos computacionales. El término de reducción de escala (downscaling) o transformación a través de escalas, es un término acuñado recientemente para describir una serie de técnicas que relacionan variables atmosféricas medidas a gran escala con variables locales o regionales. Como resultado de la necesidad de tener acceso a proyecciones regionales para evaluar los impactos integrados del cambio climático a escala regional, se han desarrollado técnicas dinámicas y estadísticas de downscaling.

Las fortalezas de un modelo de reescalado estadístico son: información a nivel de estación; uso barato; conformación de escenarios climáticos (análisis de riesgo e incertidumbre); aplicable a variables como calidad de aire y eventos extremos; depende del realismo de las condiciones; el tamaño del dominio y localidad afecta los resultados; requiere de datos de alta calidad para la calibración del modelo; las relaciones entre los predictores y predictandos son regularmente no estacionarias.

Las debilidades son: la elección de variables de los predictores afecta resultados; la elección del esquema de transferencia empírica afecta los resultados: la variabilidad climática de baja frecuencia es un problema; se aplica fuera de línea (Sánchez, et al., 2011).

6.9 ESTUDIOS DE IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS

Existe una gran cantidad de estudios referentes al impacto del cambio climático en el rendimiento de los cultivos uno de ellos es el presentado por Velázquez (2011), en el que se utilizó los modelos HadCM3 y SDSM, analizando el cambio en temperaturas y precipitaciones presentes en el Estado de México y su repercusión en los cultivos de papa y maíz y se encontró que con el primer modelo existe un aumento en la superficie apta para el maíz y en el segundo modelo ocurre lo contrario. Por el contrario el cultivo de papa presenta cambios drásticos en su distribución espacial, disminuyendo considerablemente la superficie apta, en ambos modelos.

Esquivel (2011) analizó los rendimientos del cultivo del maíz en el estado de Durango y encontró que se da una conversión de las áreas en las que se tenían los menores rendimientos y que se convierten en las que potencialmente se esperarían los mejores rendimientos. Es decir las partes altas o correspondientes a la sierra son las que se espera sean las mejores para producir maíz en condiciones de temporal.

Por otro lado Ballesteros et al. (2011), analizaron el caso de estudio de maíz en México y encontraron que, los modelos predijeron una disminución de las áreas potenciales en donde se encontrarán las condiciones de nicho ambiental de la especie. Para el año 2020 se reducirá en un 16% y para el año 2050 la reducción será de 34%.

Otro caso para la República Mexicana es el presentado por Monterroso et al. (2010), en el que se analizó la evolución actual y proyectada del cultivo de maíz de temporal bajo escenarios de cambio climático y se obtuvo que el 6.2% de la superficie del país es apto para el cultivo de maíz, 25.1 presenta condiciones

moderadas y 31.6% condiciones marginalmente apto. En relación al análisis de los modelos de cambio climático, muestran que la superficie apta para el cultivo será la más afectada al disminuir de un 3% hasta 4.3%. La condición de marginalmente apto representara la mayoría de la superficie desde 33.4% hasta 43.8%. Los autores concluyeron que las condiciones naturales en el país para el cultivo del maíz serán más restrictivas, por lo que es urgente la aplicación de medidas de adaptación.

Martell, 2012 cuantificó el cambio de patrones de clima sobre el rendimiento de maíz grano en el estado de Jalisco México para los escenarios de proyección A2-B25, A2-B50, A2-B75 y demostró una tendencia a la baja de los promedios de los escenarios con respecto a la media de los rendimientos observados calibrados.

La mayoría de los estudios que se han consultado con respecto al efecto de Cambio Climático en la agricultura de temporal en México se han realizado en el cultivo del maíz, esto podría ser debido a que es el cultivo de temporal con mayor importancia en cuanto a superficie sembrada y producción en toneladas a nivel nacional (SIAP, 2013), sin embargo es necesario analizar los efectos del cambio climático en otros cultivos de temporal de importancia de acuerdo a la superficie que ocupan en el país.

6.10 IMPORTANCIA DEL MAÍZ

México es el cuarto productor de maíz en el mundo, pero también es un importante consumidor del mismo. Aunque se cubre prácticamente la totalidad de la demanda del maíz blanco con la producción nacional, el país es deficitario en maíz amarillo, específicamente grano amarillo No.2, que tiene diversos usos, principalmente pecuario, por lo cual se tiene requerimientos de importación superiores a los 5 millones de toneladas promedio anual. Durante el periodo de 1996-2006, las importaciones de maíz representaron, en promedio, el 39% de la producción nacional.

El maíz es por mucho el cultivo agrícola más importante de México, tanto desde el punto de vista alimentario, industrial, político y social. Analizando el maíz en

relación con los demás cereales que se producen en México (trigo, sorgo, cebada, arroz y avena, principalmente), en cuanto a la evolución del volumen de la producción de maíz, la tasa media anual de crecimiento (TMAC) de 1996 a 2006 fue de 2.0%, no obstante los decrementos registrados en 2002 y 2005 en la producción obtenida de -4.1 y -10.8%, respectivamente.

Desde el punto de vista alimentario, económico y social, el maíz es el cultivo más importante de México. Durante el periodo 1996-2006 ocupó el 51% de la superficie sembrada y cosechada totales en promedio anual; generó el 7.4% del volumen de producción agrícola total, representando el 30% del valor total de la producción.

Con respecto del año agrícola, la producción generada en el ciclo Primavera Verano representa el 78.5% promedio anual durante el 1996-2006. En tanto que la obtenida en el ciclo Otoño Inverno se produce el 21.5% restante. Por lo que se refiere al rubro de modalidad hídrica, el 65% se produce bajo condiciones de temporal y el 35% en superficie irrigada.

Cuadro 2. Calendario agrícola para el cultivo de maíz



6.11 CARACTERISTICAS DEL CULTIVO

Reino: Plantae

Clase: Angiosperma

Subclase: Monocotiledónea

Orden: Cereales

Familia: Gramíneas

Nombre científico: Zea mays

Es una planta propia de las tierras calientes y húmedas, pero las condiciones óptimas para los cultivos del maíz son temperaturas mayores a 20 grados y lluvias de 600 a 1000 milímetros por año. Hay variedades de maíz que se pueden adaptar fácilmente al ambiente. Para adaptarse a cambios ambientales se han desarrollado diferentes especies. Actualmente las variedades de maíz requieren un suelo arcilloso, de buen desagüe y cálido. Se sabe que el maíz produce más si se siembra después de una cosecha de leguminosas en rotación con otras plantas.

El crecimiento y producción de maíz depende del potencial genético de la planta para responder a las condiciones ambientales en las que crece. La tasa de crecimiento de las plantas está relacionada directamente con la temperatura, por lo que la duración de las etapas varía de acuerdo con la temperatura entre y dentro de las fases de crecimiento. La deficiencia de nutrientes o humedad pueden incrementar la duración de las etapas vegetativas, pero también acortar la duración de las etapas productivas. El número, tamaño y peso del grano y la duración de la etapa reproductiva del crecimiento variará dependiendo del híbrido y de las condiciones ambientales.

El ciclo productivo del maíz se inicia con la siembra de éste, actividad que comprende los meses de octubre a marzo, dando inicio así el ciclo Otoño Invierno (OI), en tanto que su cosecha abarca los meses que van de diciembre a septiembre del siguiente año.

La fase alta de producción se realiza en los meses de mayo y junio, cuando se obtiene, aproximadamente, el 78% del total de producción nacional del ciclo OI. Mientras que la siembra correspondiente al ciclo Primavera Verano (PV) empieza en el mes de abril y finaliza en septiembre. La cosecha de este ciclo comprende diez meses, de junio a marzo.

Aunque en octubre ya se recolectan volúmenes importantes de maíz, es en los meses de noviembre, diciembre y enero cuando se obtiene la mayor parte de la

producción, representando ésta el 73% del total nacional producido durante este ciclo.

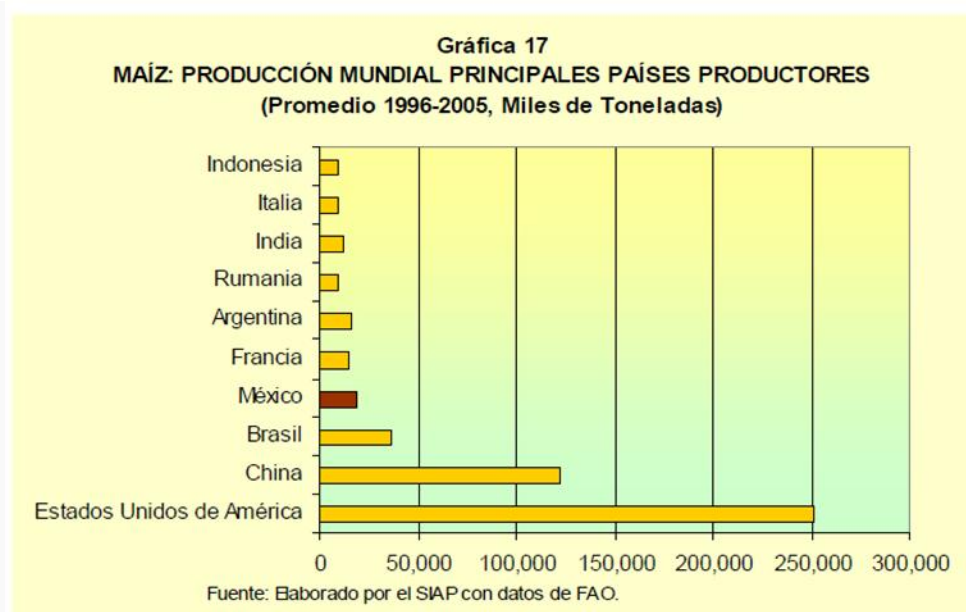
De todos los cereales existentes, el maíz es el más importante del mundo, debido a que actualmente existe una tendencia creciente por la diversificación en el uso del maíz; ya que se puede utilizar para consumo humano y pecuario, especialmente para la producción de pollo y cerdo; también en la industria se utiliza para la producción de almidón, glucosa, dextrosa, fructosa, aceites, botanas, etanol, etc. Así como para la elaboración de algunas bebidas alcohólicas y otros productos utilizados como materia prima en las industrias minera, textil, electrónica, farmacéutica, alimentaria, etc. (SIAP, 2006).

Cuadro 3. Producción mundial de principales cereales en los años de 1996 a 2005. (SIAP, 2006)

PRODUCCIÓN MUNDIAL DE PRINCIPALES CEREALES 1996-2005							
Millones de Toneladas Métricas							
Año	Maíz	Trigo	Arroz	Cebada	Sorgo	Avena	Centeno
1996	589.3	585.4	568.6	155.3	71.6	31.2	23.3
1997	585.8	613.4	576.8	154.6	59.6	32.2	25.3
1998	615.1	593.6	578.9	137.7	61.3	26.6	21.1
1999	607.8	587.7	610.7	128.4	59.9	24.3	20.2
2000	593.0	586.1	598.5	133.1	55.8	26.1	20.1
2001	615.5	589.8	597.4	144.0	59.8	27.2	23.3
2002	603.6	574.7	568.4	136.8	53.6	25.3	20.9
2003	644.8	561.1	584.2	142.3	59.5	26.9	14.6
2004	726.5	632.4	607.8	154.6	59.2	26.2	17.7
2005	711.8	630.6	621.6	139.2	59.7	24.0	15.2
TMAC	2.1	0.8	1.0	-1.2	-2.0	-2.9	-4.6

Fuente: SIAP con información de FAOSTAT, FAO.

Cuadro 4. Principales países productores de maíz 1996 a 2005. (SIAP, 2006)



La Financiera Nacional De Desarrollo Agropecuario, Rural, Forestal y Pesquero (2014) menciona que, todas las entidades del país presentan algún nivel de producción de maíz, sin embargo, siete entidades concentran el 64.5% del volumen de producción nacional. Sinaloa es el principal productor al concentrar el 16.5% del total. Le siguen en importancia Jalisco, Michoacán. Estado de México, Chiapas, Guerrero y Veracruz.

Cuadro 5. Producción Nacional de Maíz por entidad en el año 2012. (Financiera Nacional de Desarrollo Agropecuario, Forestal y Pesquero, 2014; SIAP, SAGARPA)

Estados	Volumen		Valor	
	Miles de Toneladas	Participación	mdp	Participación
Sinaloa	3,646.9	16.5%	14,726.8	16.6%
Jalisco	3,235.2	14.7%	12,144.5	13.7%
Michoacán	1,802.0	8.2%	7,015.8	7.9%
México	1,575.3	7.1%	7,141.3	8.1%
Chiapas	1,404.7	6.4%	5,536.7	6.3%
Guerrero	1,304.1	5.9%	4,954.3	5.6%
Veracruz	1,275.3	5.8%	5,224.3	5.9%
Resto del país	7,825.8	35.5%	31,745.7	35.9%
Total Nacional	22,069.3	100.0%	88,489.6	100.0%

6.12 IMPORTANCIA DEL FRIJOL

A nivel mundial, nuestro país se encuentra entre los seis principales productores de frijol, conjuntamente con la India, Brasil, China, Estados Unidos de América y Myanmar, países que en conjunto aportan el 64 por ciento de la producción mundial. En 1994-2003, México contribuyó con el 7 por ciento promedio anual de la superficie cultivada³ (1.9 millones de hectáreas), y con el 7 por ciento de producción promedio anual (1.2 millones de toneladas).

Para México, el frijol es un producto estratégico en el desarrollo rural del país, debido a que conjuntamente con el maíz, representa toda una tradición productiva y de consumo, cumpliendo diversas funciones de carácter alimentario y socioeconómico que le han permitido trascender hasta la actualidad.

Su presencia a lo largo de la historia de México, lo ha convertido no sólo en un alimento tradicional, sino también en un elemento de identificación cultural, comparable con otros productos como el maíz y el chile, que son básicos para explicar la dieta alimentaria de ayer, hoy y muy probablemente del futuro.

Actualmente esta leguminosa se enfrenta a modificaciones importantes ante una sociedad cambiante, incluidos los hábitos alimenticios, a consecuencia del urbanismo, la migración y el empleo; así como el paso de una economía cerrada a una economía global, todo lo cual está ejerciendo presiones en diversas etapas de la cadena de producción, comercialización, transformación y consumo.

El frijol se cultiva en prácticamente todas las regiones del país, bajo todas las condiciones de suelo y clima. A nivel nacional existen alrededor de 500 mil agricultores dedicados a la producción del cultivo de estudio. Como generador de empleo, es una importante fuente dentro de la economía del sector rural, pues se ha estimado (mediante un modelo de costo de producción promedio) que demanda 35 jornales por hectárea, generando, sólo en la etapa de producción agrícola, un total de 78,316,105 jornales¹. Ello equivale a 382,029 empleos permanentes en el sector rural.

De esta forma, existe un sector poblacional campesino constituido por pequeños propietarios, ejidatarios, comuneros y colonos que siembran frijol, además del maíz para su subsistencia.

Después del maíz, el frijol ocupa el segundo lugar en importancia dentro de la superficie sembrada total a nivel nacional, misma que registró un promedio anual en la década de 1994–2003, de 16.5 millones de hectáreas sembradas, de las cuales el frijol aportó el 14 por ciento en dicha superficie; es decir, 1.9 millones de hectáreas.

En el mismo lapso, el rendimiento fue de 646 kg/ha, el cual puede considerarse bajo y factible de incrementar en el corto plazo, principalmente si se incorporan tierras de mejor calidad a la producción de esta leguminosa.

La producción de frijol observó una tasa media anual de crecimiento (TMAC) de 0.41 por ciento, con una producción promedio anual de 1.22 millones de toneladas, destacando el año de 2002, durante el cual se registró la máxima producción histórica en la década señalada, misma que ascendió a 1.55 millones de toneladas.

El comportamiento de la producción en la década de análisis, ha obedecido a diversos factores, dentro de los que destacan los climatológicos, los de comercialización, así como la combinación de políticas de apoyo al subsector agrícola, que han incluido subsidios directos al ingreso de los productores, como es el caso del PROCAMPO, Ingreso Objetivo, Apoyos a la Comercialización, entre otros programas contenidos en Alianza para el Campo, y a una política de liberación de precios, tanto al productor como al consumidor.

Por lo que se refiere al ámbito nacional, la producción de frijol es muy vulnerable a las condiciones climatológicas que prevalecen durante el ciclo productivo, debido a que aproximadamente el 87 por ciento de la superficie destinada a este cultivo se ubica en áreas de temporal.

En este contexto, la cosecha de frijol depende de manera predominante de los volúmenes que se obtienen en la superficie de temporal y cubren

aproximadamente tres cuartas partes del total de la oferta nacional de este producto.

La principal limitante en su producción, la constituye sin duda la escasa disponibilidad de agua, fenómeno que se agudiza en regiones con bajo régimen pluvial como Zacatecas, Durango y Chihuahua, cuyos volúmenes anuales fluctúan entre 360 y 450 mm. Otro factor que contribuye a esta situación es la mala calidad de los suelos.

De acuerdo con los resultados del año agrícola 2003, se obtuvo una producción de 1,415 mil toneladas de frijol, de las cuales 348 mil toneladas corresponden a la cosecha del ciclo otoño invierno y 1,067 mil toneladas al ciclo primavera-verano.

Esta leguminosa representa un claro ejemplo de la diversidad y heterogeneidad en las formas productivas que caracterizan al campo de México, ya que en ella coexiste la agricultura comercial, de transición y de subsistencia.

En este sentido, tanto los sistemas de producción prevalecientes como los factores climatológicos y socioeconómicos, han coadyuvado a la obtención de bajos rendimientos; ello, aunado al intermediarismo existente y a una política de liberalización, ha ocasionado que el cultivo de frijol presente una situación difícil.

Considerando la modalidad hídrica, en el ciclo primavera-verano el 92 por ciento de la superficie cosechada se cultiva bajo el régimen de temporal, mientras que el 8 por ciento restante, se realiza bajo riego. Dentro del ciclo otoño-invierno, el 48 por ciento del cultivo se desarrolla en tierras irrigadas y el 52 por ciento restante corresponde a áreas de temporal.

El estado más importante en la producción de frijol, tanto en el año agrícola como en el ciclo primavera-verano, es Zacatecas, con una producción promedio anual de 353 mil toneladas en el período que nos ocupa, volumen que fue superado en los años de 1994-1996, mientras que su producción se encontró por debajo de la media en el período 1997-2001. Durante los años 2002 y 2003 se recupera y hasta supera, los niveles del primer período mencionado.

Cuadro 6. Principales estados productores de Maíz. (SIAP, 2003)

PRINCIPALES ESTADOS PRODUCTORES AÑO AGRÍCOLA (MILES DE TONELADAS)						
ESTADO	1994	1997	2000	2003	VAR. (%) 1994/2003	TMAC */ (%) 1994/2003
NACIONAL	1,364	965	888	1,415	4	0.41
SUBTOTAL	1,044	718	648	1,080	3	0.37
ZACATECAS	456	233	265	452	-1	-0.08
SINALOA	179	178	105	208	16	1.67
DURANGO	136	42	93	184	35	3.43
NAYARIT	91	73	60	49	-47	-6.76
CHIAPAS	52	65	73	74	42	4.00
GUANAJUATO	58	38	25	66	13	1.34
CHIHUAHUA	73	88	28	48	-34	-4.52
OTROS	320	247	239	335	5	0.51

*/ Tasa Media Anual de Crecimiento
Fuente: Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).

Los bajos rendimientos unitarios obedecen a una serie de factores biológicos y meteorológicos que inciden fuertemente sobre el cultivo, entre los que destacan la sequía en sus diferentes modalidades; retraso de las lluvias de temporal, insuficiente precipitación pluvial y ataque de plagas. Aunado a lo anterior, los suelos de algunas de las regiones productoras son deficientes en nitrógeno y fósforo, elementos indispensables para el adecuado desarrollo y producción de frijol.

La productividad del frijol depende básicamente de las condiciones climatológicas prevalecientes; en particular de los niveles de precipitación pluvial, así como de los paquetes tecnológicos y mejoras técnicas que se utilicen en el cultivo.

Considerando la evolución de la productividad del frijol en función del régimen hídrico, se sabe que el comportamiento de los rendimientos en las áreas de temporal depende en gran medida de los efectos de factores climatológicos; mientras que las áreas de riego dependen de los paquetes tecnológicos (SIAP, 2003).

7. MATERIALES Y METODOS

7.1 Ubicación geográfica del área de estudio y caracterización climática

El estudio está comprendido en la región geopolítica de los Estados de Jalisco y Zacatecas, México. Estado de Jalisco, se localiza en las coordenadas: al norte $22^{\circ}45'$; al sur $18^{\circ}55'$ de latitud norte; al este $101^{\circ}28'$; al oeste $105^{\circ}42'$ de longitud oeste. Cuenta con un total de 62 municipios. El Estado de Zacatecas, se localiza en las coordenadas: al norte $25^{\circ} 07'$; al sur $21^{\circ} 01'$ de latitud norte; al este $100^{\circ} 43'$; al oeste $104^{\circ} 22'$ de longitud oeste. (Fig. 1).

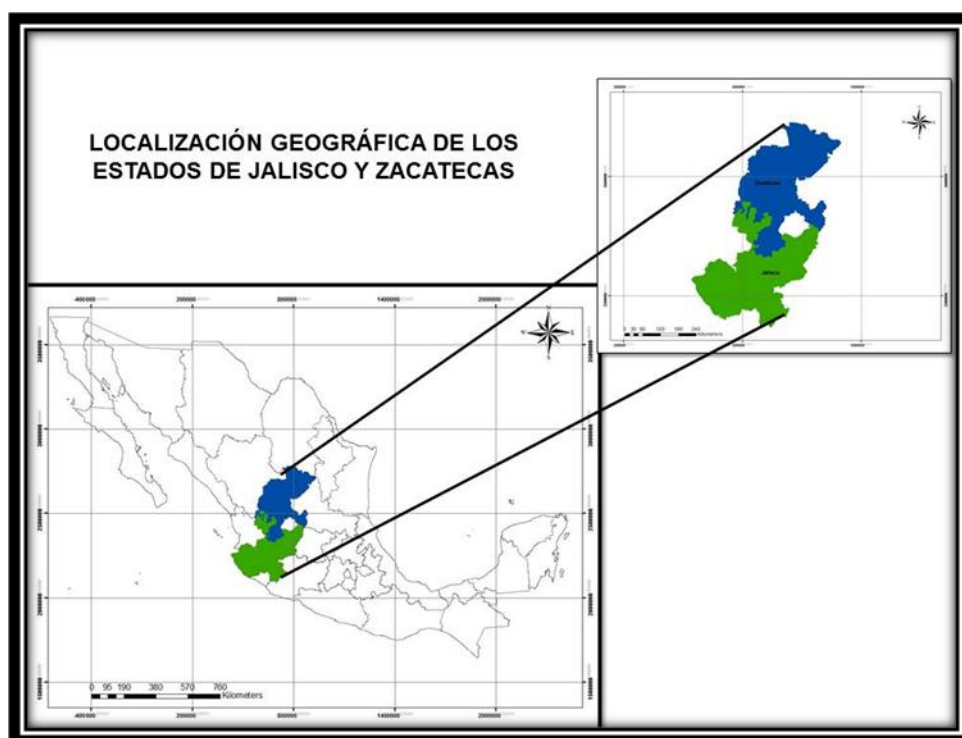


Figura 1. Localización geográfica de los estados de Jalisco y Zacatecas

Respecto al clima de Estado de Zacatecas, el 73% presenta clima seco y semiseco, el 17%, presenta clima templado subhúmedo y se localiza hacia el oeste del estado; el 6% es muy seco se presenta hacia la región norte y noroeste, el 4% restante presenta clima cálido subhúmedo y se encuentra hacia el sur y suroeste de la entidad. La temperatura media anual es de 17°C , la temperatura máxima promedio es alrededor de 30°C y se presenta en el mes de mayo, la temperatura mínima promedio es de 3°C y se presenta en el mes de enero. La

precipitación media estatal es de 510 mm anuales, las lluvias se presentan en verano en los meses de junio a septiembre. El clima seco y semiseco de la entidad es una limitante para la agricultura, ésta se practica de riego y temporal, siendo los principales cultivos: maíz, avena, trigo, frijol, chile, sorgo, nopal y durazno (INEGI, 2014). (Fig. 2).

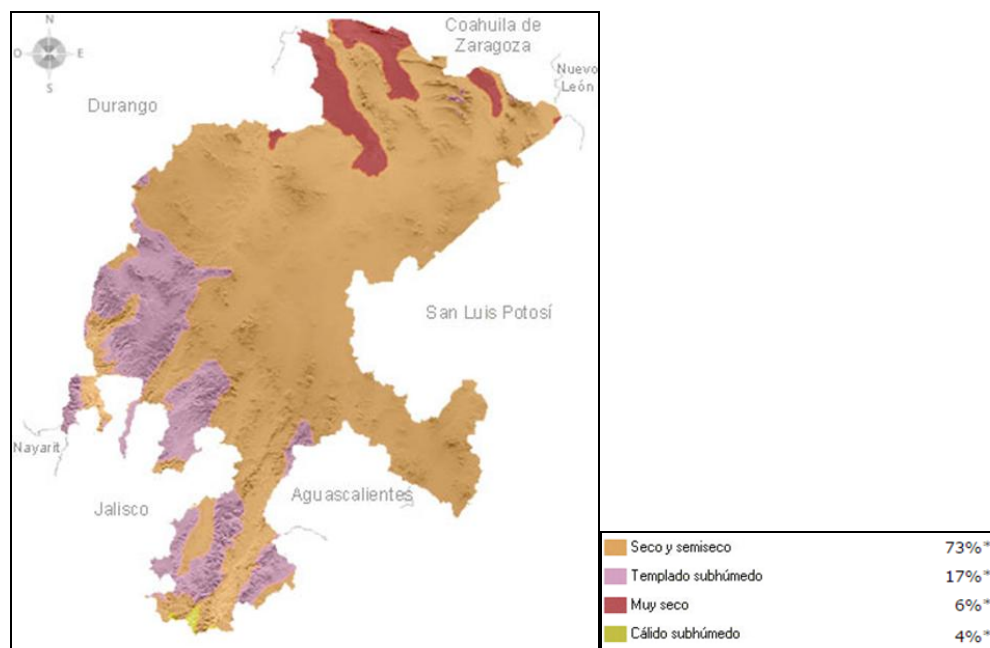


Figura 2. Tipos de clima del estado de Zacatecas, (1:1,000,000 INEGI, 2014)

Respecto al clima de Jalisco, el 68% de la superficie presenta clima cálido subhúmedo, hacia lo largo de la costa y zona centro el 18% es templado subhúmedo en las partes altas de las sierras, el 14% seco y semiseco en el norte y noreste del estado. La temperatura media anual es de 20.5 °C, la temperatura más fría se presenta en el mes de enero, es de 7.0 °C y las más altas de 23°C se presentan en los meses de mayo a septiembre. La precipitación total anual media del estado es alrededor de 850 mm anuales; en las zonas costeras la precipitación es de más de 1000mm anuales. El clima cálido subhúmedo favorece el cultivo de maíz, caña de azúcar, sorgo y maguey tequilero entre otros (INEGI, 2014). (Fig. 3).

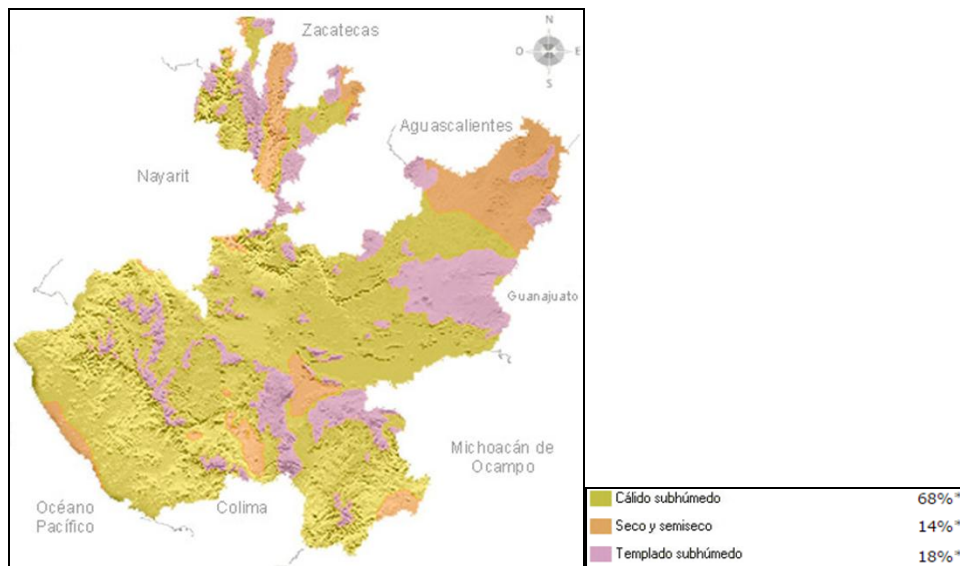


Figura 3 Tipos de clima del estado de Jalisco, (1:1,000,000 INEGI, 2014)

En cuanto al relieve, la superficie estatal forma parte de las provincias: Sierra Madre Occidental, Mesa del Centro y Eje Neovolcánico. En la parte nororiental predominan sierras, con una altitud de 2850 metros sobre el nivel del mar (msnm) como Sierra Alta y lomeríos de origen volcánico, separadas por llanuras por llanuras. En el norte hay cañones con 400 msnm y sierras con 2860 msnm, entre ellos hay valles estrechos. En el centro, al sur de la ciudad de Guadalajara se encuentra el Lago de Chapala; en el occidente y suroccidente, predominan las sierras de origen ígneo extrusivo o volcánico. La parte occidental del estado también la forman en su mayoría sierras de rocas ígneas intrusivas que llegan hasta la orilla del mar; de la erosión de estas elevaciones se ha desarrollado una llanura que se localiza hacia el suroccidente de la población de Tomatlán (INEGI, 2014). (Fig. 4).

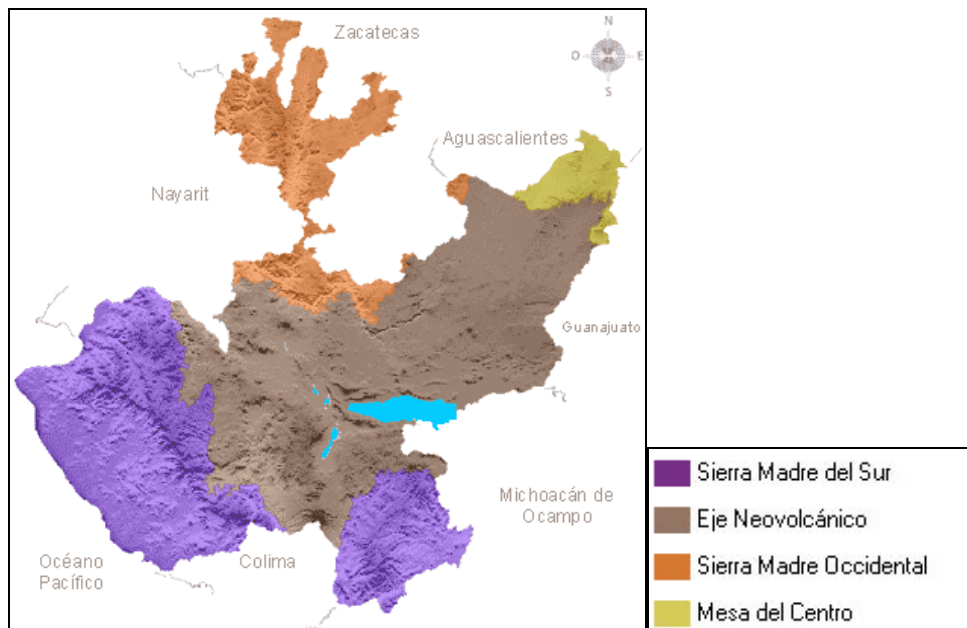


Figura 4. Relieve del estado de Jalisco, (1:1,000,000 INEGI, 2014)

En cuanto al relieve, la superficie estatal forma parte de las provincias: Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental y Mesa del Centro. Al occidente y suroccidente existen sierras, algunas son mesetas con una altitud máxima de 2850 msnm como el cerro La Aguililla. En uno de los valles, existe el Cañón de Juchipila, con una altura mínima en el estado de 1000 metros. En la parte central y al nororiente se distribuyen una serie de elevaciones separadas por zonas de bajadas y llanuras que en su mayoría están cubiertas de 50 centímetros a 1 metro de caliche o tepetate (capa terrestre de cal y muy dura). En la sierra El Astillero, ubicada en el nororiente y conformada por rocas de origen sedimentario está la mayor elevación con una altitud de 3200 msnm. En la ciudad de Zacatecas, con una altitud de 2650 msnm se encuentra el cerro de La Bufa (INEGI, 2014). (Fig. 5).

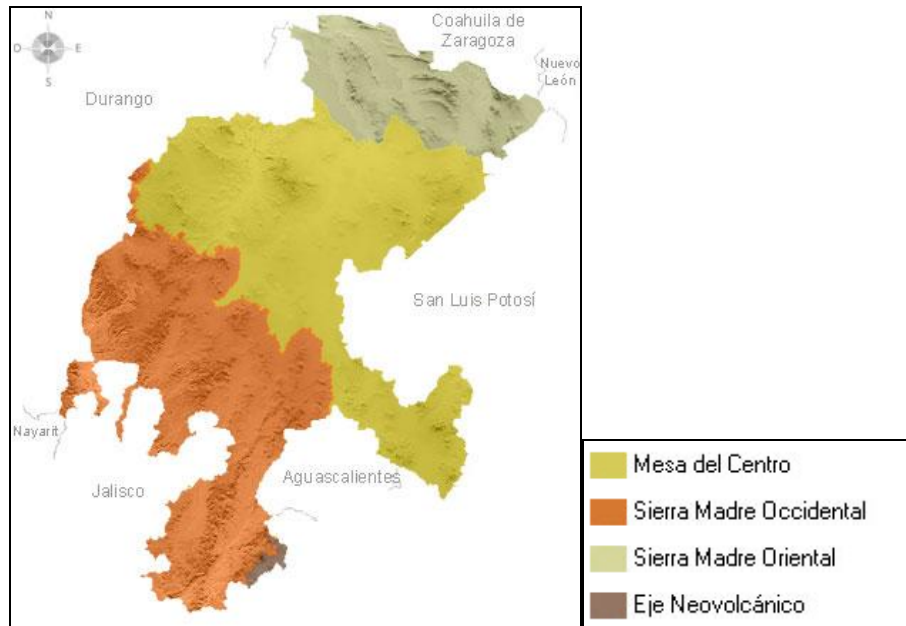
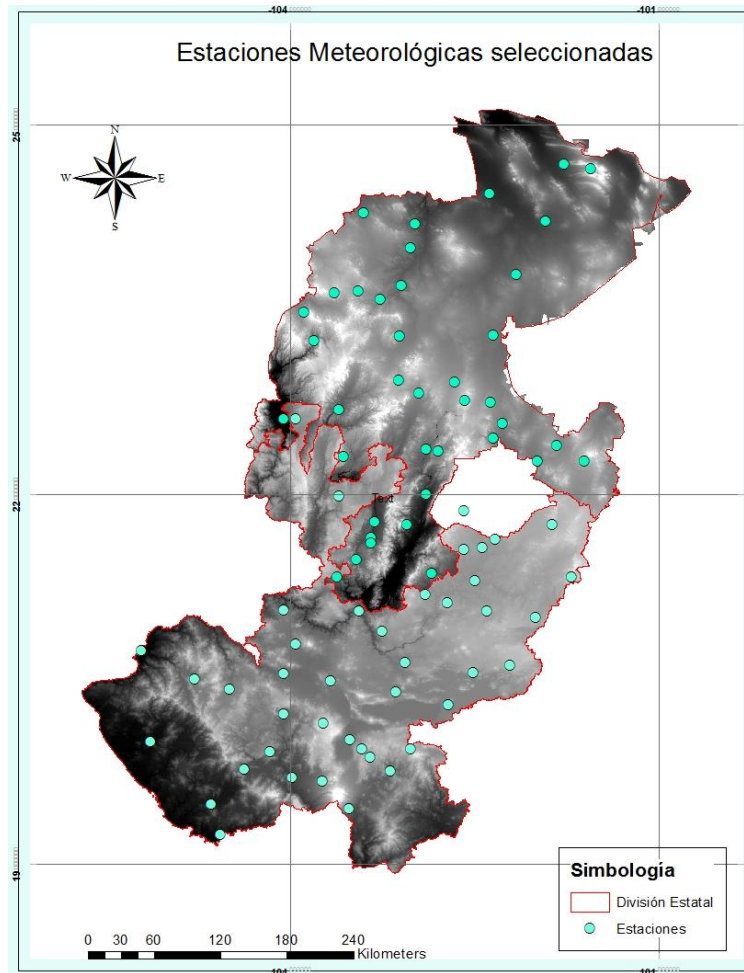


Figura 5 Relieve del estado de Zacatecas, (1:1,000,000 INEGI, 2014)

7.2 Ensamble de modelos

El análisis se realizó con el ensamble de varios modelos físicos y modelos climáticos. Se realizó el proceso de selección de estaciones meteorológicas; posteriormente se utilizó un generador estocástico de datos climáticos el LARS-WG para obtener escenarios climáticos futuros a nivel regional, en base al escenario A2 propuesto por el IPCC. Después se utilizaron los generadores climáticos PARAMETROS y WXPARM para obtener una matriz de transición de parámetros de clima. Dicha matriz constituye la base para el uso del modelo de cultivo EPIC. Para finalizar se utiliza el ArcMap 10.1 para realizar las interpolaciones necesarias para la elaboración de mapas.

7.3 Proceso de selección de estaciones meteorológicas



Jalisco 42 EM.
Zacatecas 39 EM

Figura 6 Estaciones meteorológicas

Las estaciones se seleccionaron de acuerdo a los siguientes criterios de calidad recomendados por Magaña (2010):

- 1.) *Longitud*. Se refiere a los años de registro para las variables Tmax, Tmin y Pp y lo recomendado para las estaciones meteorológicas del Sistema Meteorológico Nacional es de al menos de 30 años de datos completos.
- 2.) *Calidad de los datos*. Los datos utilizados deben pasar por un proceso de control estadístico y gráfico para localizar la información que sea lo más consistente y homogénea posible, localizando datos perdidos o fuera de lo normal.

A nivel nacional existen varias fallas en las tomas de datos climatológicas de las Estaciones, ya sea por errores técnicos y/o humanos, lo que implica que la mayoría de las EM cuentan con el 100% de la información de climatológica. Es por

ello que se utilizó un esquema propuesto por Díaz y Cortina (2005), quienes desarrollaron un sistema con funciones específicas, distribuidas en distintos, módulos, cuya tarea es procesar la información climática contenida en archivos de formato DBF y de denomina Sistema de Consulta y Procesamiento de Información Climatológica de México (SICLIMA), el cual es una herramienta automatizada que procesó y analizó información en periodos diarios, mensuales, anuales e históricos, bajo un ambiente computacional accesible que integra módulos de visualización gráfica de los datos de cada una de las 2,271 estaciones climáticas del país en un periodo de información de 1961 a 2003.

- 3.) *Cercanía a los nodos de los MCG del SEMARNAT-INE.* En este criterio se consideran los Nodos con una malla de resolución de 2,500 Km² (50 X 50 Km), se seleccionan las estaciones meteorológicas más cercanas a cada nodo.
- 4.) *Altitud.* En este proceso se cotejan las EM con el MDE (Modelos Digital de Elevación), a con los nodos considerando en un Sistema de Información Geográfica para observar la altitud del nodo más cercano.
- 5.) *Producción.* También fue considerado la producción de los cultivos analizados en este trabajo para cada sitio.

7.4 Proceso de reducción de escala

Una vez seleccionadas las EM (Fig. 6), se procesa la información para hacerla compatible con el generador estocástico de datos climáticos el LARS-WG (Fig. 7). Dicha información se manejó en hojas de cálculo de Microsoft Office Excel. Se organizó de la siguiente manera: Día, mes, año, Tmax, Tmin y Pp sin títulos y se guardó como archivo con extensión *.sr (Fig. 8). Estos archivos como se muestra son los que contienen las bases de datos diarios.

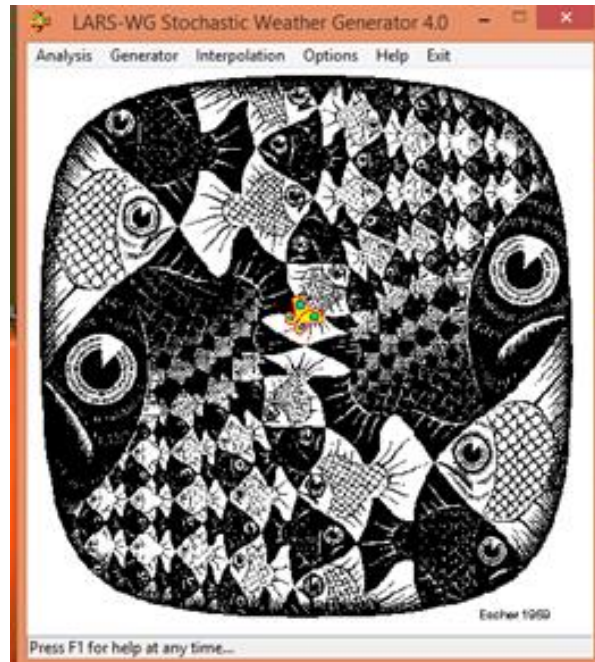


Figura 7 Generador estocástico de datos climáticos LARS-WG

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda	
1	1	1961	11	4	0
2	1	1961	22	7	0
3	1	1961	25	7	0
4	1	1961	24	7	0
5	1	1961	21	10	0
6	1	1961	15	10	0
7	1	1961	22	10	0
8	1	1961	21	6	0
9	1	1961	23	7	0
10	1	1961	23	9	0
11	1	1961	24	9	0
12	1	1961	24	8	0
13	1	1961	23	8	0
14	1	1961	23	7	0
15	1	1961	25	7	0

Figura 8 Formato de archivo con e extensión *.sr

Además del archivo *.sr al LARS-WG requiere un archivo de localización, el cual tendrá una extensión *.st y contiene los siguientes datos: latitud y longitud en grados decimales y la altitud en msnm, además de la ruta de localización de la carpeta de trabajo en C:\\ y el orden de las columnas al final se debe indicar END para indicar al LARS-WG que termina el archivo de localización. Todos estos datos se procesan en Bloc de notas (Fig. 9).

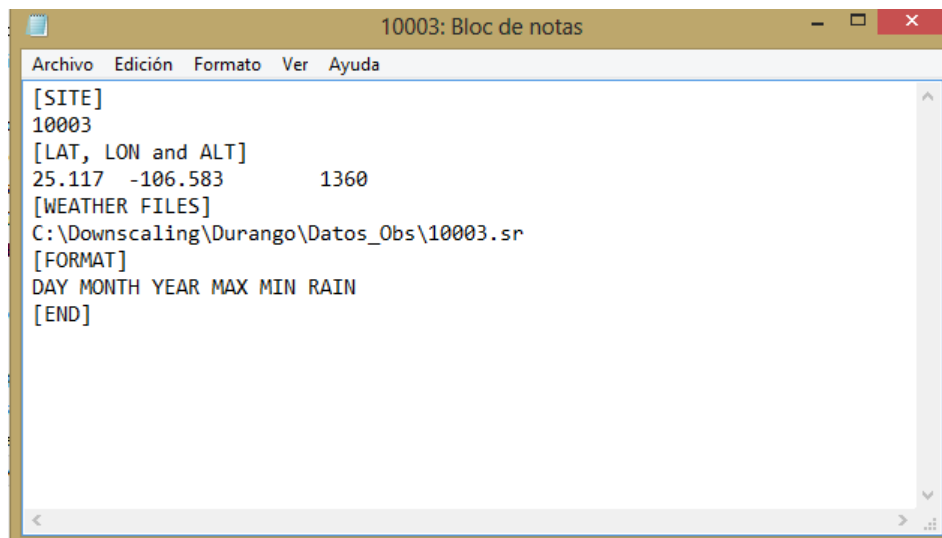
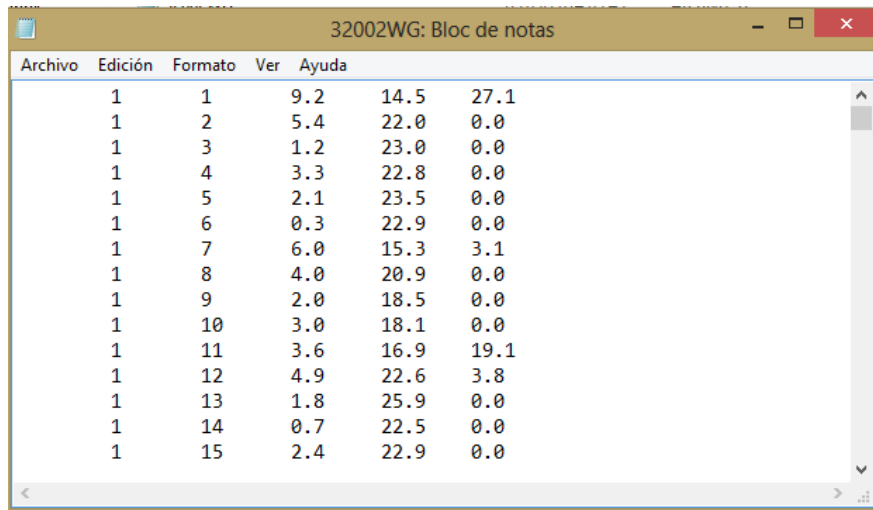


Figura 9 Formato de archivo *.st.

Otros archivos que usa LARS-WG para la generación de series sintéticas, son los archivos de escenarios climáticos creados mediante Modelos Climáticos Regionalizados para México (MCRM) por el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, los cuales tienen una resolución de 2,500 km², cuyos nodos son equidistantes a razón de 0.5 x 0.5°, lo que equivale a 50 x 50 km.

Dentro del proceso de reducción de escala se usó el escenario A2 para el periodo 2013-2063 y se obtuvieron escenarios climáticos futuros a nivel regional los cuales tienen una terminación *WG.dat (Fig. 10).

El escenario A2 proyecta emisiones Altas, además un crecimiento constante de la población, el desarrollo económico está regionalmente orientado y el cambio tecnológico es muy fragmentado y más lento que en otros escenarios (INE, 2014).



Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
1	1	9.2	14.5	27.1
1	2	5.4	22.0	0.0
1	3	1.2	23.0	0.0
1	4	3.3	22.8	0.0
1	5	2.1	23.5	0.0
1	6	0.3	22.9	0.0
1	7	6.0	15.3	3.1
1	8	4.0	20.9	0.0
1	9	2.0	18.5	0.0
1	10	3.0	18.1	0.0
1	11	3.6	16.9	19.1
1	12	4.9	22.6	3.8
1	13	1.8	25.9	0.0
1	14	0.7	22.5	0.0
1	15	2.4	22.9	0.0

Figura 10 Formato de archivo *WG.dat.

7.5 Generación de matriz de transición

Una vez teniendo los archivos de datos históricos y los escenarios climáticos futuros de cada estación meteorológica se abrieron en Excel con la opción delimitado por espacio y utilizando el mismo orden de columnas mencionado anteriormente que es: día, mes, año, Tmax, Tmin y PP se guardó como archivo delimitado por comas *.csv. Dicho archivo se nombró con el número de la EM e indicando el número de años completos con datos. Enseguida el archivo con los datos (*.csv) se mandó llamar desde el programa computacional PARAMETROS2.exe, el cual se diseñó por el Dr. Ignacio Sánchez Cohen con el propósito de dar formato a las bases de datos climáticas, para posteriormente generar un archivo de salida con extensión *.dat. (fig 11) y ser usadas por el programa WXPARM. El programa pide la longitud de archivo el cuál se refiere al número de años completos de datos climatológicos y en el año de inicio es el año en el que inicia la serie de datos históricos.

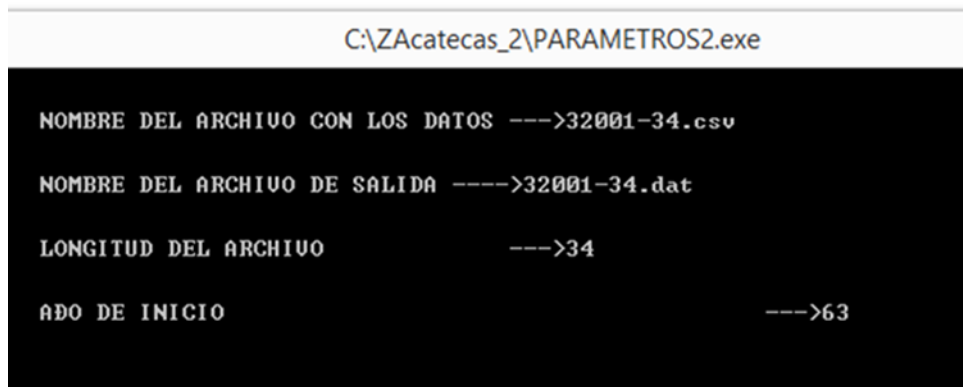


Figura 11 Interfaz de PARAMETROS2.exe

Una vez obtenido los archivos *.dat, tanto de los datos históricos como de los escenarios climáticos se procedió a abrir el programa computacional WXPARM.EXE desde C:\> y se ingresan dichos archivos (Fig. 12).

```

C:\Users\notebook>CD..
C:\Users>CD..
C:\>CD WXPARM_OBS
C:\WXPARM_OBS>WXPARM 32032-42.DAT
WXPARM - Weather Parameter Generating Utility - PC
PC version updated - January 31,1991
USDA/ARS Grassland Soil & Water Research Laboratory
Temple, TX 76502
J.R. Williams
Data set:32032-42.DAT
Output :32032-42.LIS
Stop - Program terminated.
C:\WXPARM\2>_

```

Figura 12 Interfaz de WXPARM.EXE

El resultado de esta metodología es un archivo con extensión *.lis (Fig. 13) donde se encuentran los datos climatológicos sintetizados por mes.

32001-33: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

WXPARM - Weather Parameter Generating Utility - PC
PC version updated - January 31,1991
USDA/ARS Grassland Soil & Water Research Laboratory
Temple, TX 76502
J.R. Williams

32001-33.dat
32001-33.dat

1

NO YRS SIM = 33

MONTH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
TMAX	21.4	23.2	26.8	29.7	31.4	31.5	29.9	28.8	27.8	26.2	24.2	21.9	DEG C
TMIN	2.7	3.5	6.1	9.4	11.8	13.3	12.7	12.5	11.9	9.5	5.5	4.1	DEG C
SDTMAX	3.8	3.6	3.6	3.5	3.4	3.1	3.2	2.8	3.1	3.7	3.4	4.0	DEG C
SDTMIN	3.6	3.6	3.6	3.0	2.6	2.0	1.8	1.6	2.1	3.1	4.2	3.8	DEG C
RAIN	12.8	8.5	2.5	9.0	22.9	47.5	56.7	73.0	57.8	33.5	8.9	14.2	MM
SDRF	5.86	6.59	3.77	6.24	7.16	8.70	8.24	9.20	8.83	8.15	5.81	7.39	MM
SKRF	2.072	1.792	2.637	1.584	1.764	2.378	2.388	2.059	2.319	1.816	2.144	2.363	
P W/D	.048	.036	.018	.040	.087	.153	.168	.227	.164	.098	.039	.051	
P W/W	.378	.238	.217	.315	.319	.466	.523	.457	.468	.419	.345	.290	
DAY P	2.2	1.3	.7	1.6	3.5	6.7	8.1	9.2	7.1	4.5	1.7	2.1	
S RAD	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	LY
R HUM	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	%
W VEL	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	M/SEC
SDWVEL	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	M/SEC
SKWVEL	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000	

AVE ANN RF = 347.5 MM

Figura 13 Archivo *.lis

De los archivos LIS se obtuvieron los datos de Tmax, Tmin y PP, para la elaboración de mapas de clima en Sistemas de Información Geográfica.

Además estos archivos se utilizaron en el modelo de cultivo EPIC (Fig. 9), junto a datos de producción y manejo de maíz y frijol para poder predecir las producciones afectadas por las variaciones en el clima.

Obtención de rendimientos utilizando el modelo EPIC (Environmental Policy Integrated Climate).

El modelo EPIC fue desarrollado con la finalidad de contar con una herramienta para la determinación de la influencia de las pérdidas de suelo en los procesos productivos. El modelo ha sufrido diversas transformaciones desde su versión inicial y en la actualidad el mismo incluye componentes físicos que incluyen hidrología, simulación de clima, erosión, sedimentación, flujo de nutrientes, crecimiento del cultivo, control ambiental de las plantas y cosecha, entre otros (Bernardos et al, 2001; Martell, 2012) en este trabajo se utilizó la versión 4061 de EPIC (Figura 14).

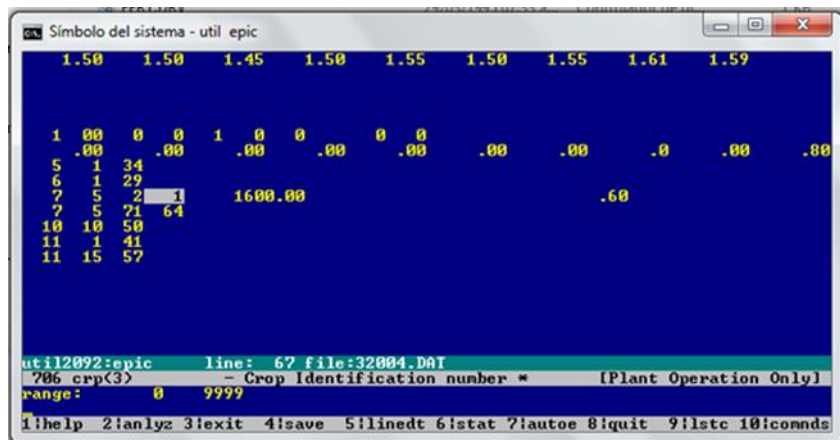


Figura 14 Interfaz del programa EPIC.

El programa EPIC requiere una gran cantidad de datos de entrada; de los más importantes son los que se utilizaron para este estudio: datos climáticos, datos de suelo y manejo del cultivo. El programa funciona en la plataforma del programa MS-DOS, donde los datos se ingresan en columnas y líneas específicas.

7.6 Metodología para ingresar datos al programa EPIC

Como primer paso se establecen los datos de identificación del archivo como: título del trabajo que en este caso fue “calibración de maíz de temporal”, se incluye el nombre de la estación y el municipio donde se encuentra la estación.

Posteriormente se especifica la longitud del periodo de simulación que en este caso es de 30 años. Para esto se tuvo que especificar el año, mes y el día de inicio, además se debe especificar la latitud y la altura sobre el nivel del mar de cada estación meteorológica.

Los datos climáticos ingresados al programa fueron datos contenidos en la matriz de transición que se generó en el programa WXPARM.exe y son: registros de temperatura máxima mensual y temperatura mínima mensual, precipitación mensual, la desviación estándar de la precipitación, el coeficiente de sesgo de la precipitación, probabilidad de un día húmedo después de un día seco y la probabilidad de un día húmedo después de un día húmedo. En lo referente a los datos de suelo para este estudio se tomaron los datos de: profundidad, porcentaje de arena, porcentaje de limo y el pH del suelo. Dicha información se obtuvo de la

capa edafológica Serie I, escala 1:250,000 de INEGI, de los datos de perfil de suelo.

Las prácticas de manejo que se utilizaron para el cultivo de frijol fueron los datos de siembra y manejo en modalidad de temporal en el estado de Zacatecas (INIFAP, 2011) (Cuadro 6).

Cuadro 7. Actividades de manejo para el cultivo de frijol en el estado de Zacatecas

Subsoleo	01	Mayo
Rastreo	01	Junio
Siembra	05	Julio
Fertilización	05	Julio
Cosecha	10	Octubre

Para el maíz se utilizaron datos de siembra y manejo en modalidad de temporal en el estado de Jalisco (Martell, 2012) (Cuadro 7).

Cuadro 8. Actividades de manejo para el cultivo de maíz en el estado de Jalisco

Subsoleo	15	Abril
Rastreo	30	Abril
Siembra	15	Mayo
Fertilización	15	Mayo
Cosecha	20	Octubre

Por último se tomó en cuenta la concentración de CO₂ atmosférico actual y proyectado. Este dato se obtuvo del sitio de internet de la NASA, que para diciembre del 2014 era de 399.6 ppm y en base a la gráfica de proyección que presenta, en 50 años se prevé un aumento del CO₂ atmosférico en 520 ppm.

7.7 Calibración del modelo

Después de ingresar los datos anteriormente mencionados en el modelo, se procede a la calibración del mismo en base a los datos de producción obtenidos del SIAP. Lo anterior se logra por medio de ajustes en los intervalos de parámetros del cultivo de algunas variables fisiotécnicas, las cuales se ajustaron considerando los valores mínimos y máximos del modelo.

Para el maíz los ajustes se hicieron para las variables: relación Biomasa-energía (WA), 18.00 a 40.00; Índice de área foliar máxima (DMLA), 1.40 a 5.00; índice de cosecha, 0.1 a 0.95. Para el frijol los ajustes fueron en: el índice de área foliar máxima (DMLA), 0.5 a 10.0; índice de cosecha (Harvest index), 0.1 a 0.95; y por última relación biomasa emergía, 10.0 a 50.0.

El ajuste de las variables se realizó modificando el valor inicial del modelo siempre ajustándose al intervalo que el mismo presenta, esto con la finalidad de simular el valor de producción observado con respecto al simulado. Una vez calibrado el modelo, se efectuaron las corridas del modelo, obteniendo el rendimiento simulado de maíz y frijol en condiciones de temporal afectado por el cambio climático y las políticas de emisión de gases de efecto invernadero del IPCC.

7.8 Validación del modelo

La validación del modelo se realizó en base a los datos de producción obtenidos del SIAP, una vez que se completaron todos los requisitos de información del modelo y se ajustaron los valores de las variables fisiotécnicas de los cultivos, se hizo la corrida y se verificó el resultado con los datos del SIAP, para que, una vez teniendo el modelo calibrado hacer la corrida con los datos climáticos y de CO₂ proyectados.

7.9 Cálculo del Índice de impacto.

El índice de impacto se calculó en base al cociente del rendimiento observado entre el rendimiento calculado para poder calcular el grado de afectación de las variables climáticas en los cultivos. Dicho índice se calculó de la siguiente manera:

$$I_i = 1 - (RO/RC)$$

Dónde:

RO es rendimiento observado

RC es rendimiento calculado.

7.10 Mapas de clima y rendimientos

Los mapas de clima y rendimiento fueron elaborados utilizando el sistema de Información Geográfica ArcGis ver 10.1 ArcMap 10.1 basado en información vectorial del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y de la Comisión Nacional de Biodiversidad (CONABIO) para los estados de Jalisco y Zacatecas. Se ingresaron datos de temperatura máxima promedio, temperatura mínima promedio, precipitación promedio anual y rendimientos para el proceso de interpolación que fue realizado por el método de Spline. El resultado de lo anterior, fueron los mapas que representan la distribución regional en el estado de las variaciones climáticas y de rendimiento.

En resumen de la Metodología propuesta en este estudio, se presenta el siguiente marco teórico (Fig. 15):

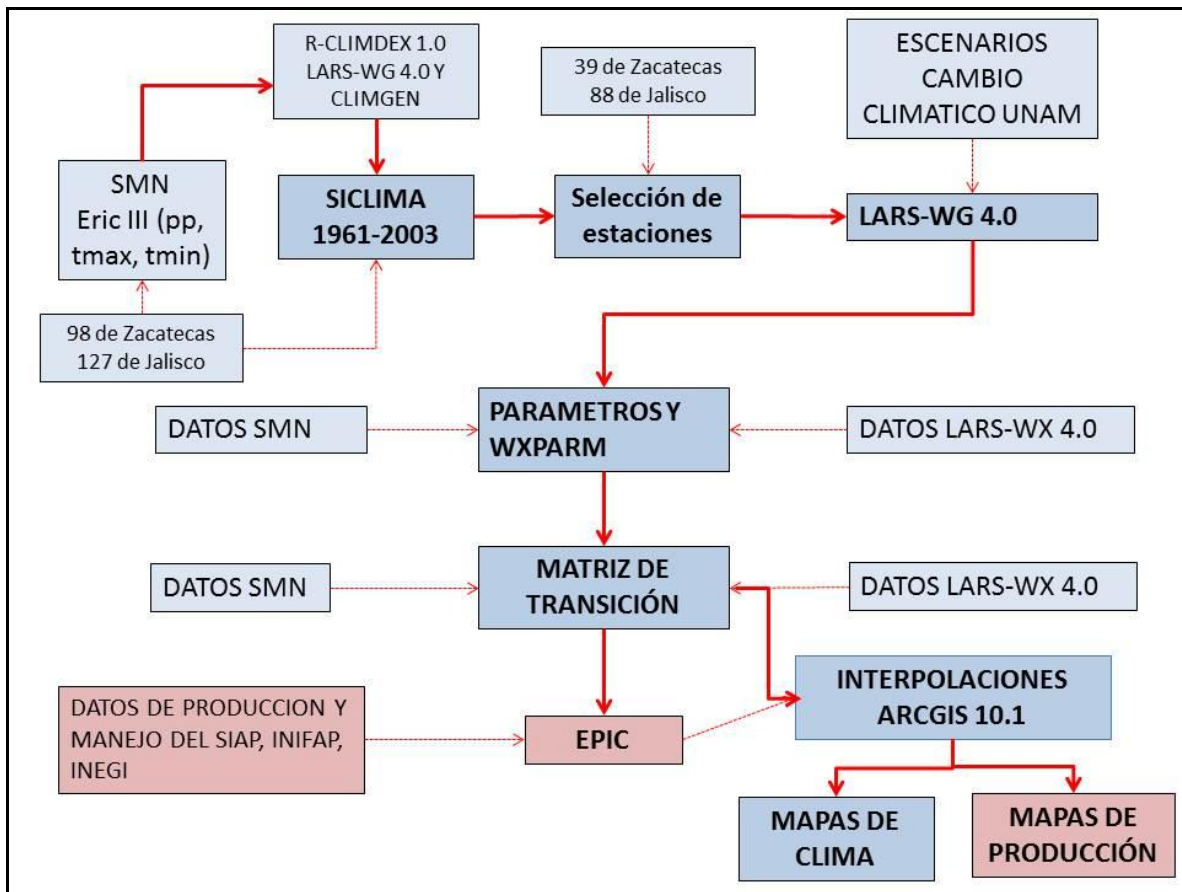


Figura 15 Marco metodológico

8. RESULTADOS Y DICUSIÓN

8.1 JALISCO

8.1.1 Variables analizadas

De acuerdo a los promedios anuales se muestran en el cuadro (8) se observa un aumento tanto en Tmax, como en Tmin y una disminución de la pp. El índice de impacto general para el estado es bajo de 0.05, es decir no se observa en la región un gran impacto en la producción de maíz con respecto a las variables climáticas observadas en relación a las variables afectadas por cambio climático en relación al escenario A2.

Cuadro 9. Variables climáticas y rendimiento observadas (históricas) con respecto a las proyectadas (escenario A2) en el estado de Jalisco.

Variable	Observado	Proyectado	Diferencia
Tmax	28.74	28.88	Aumenta 0.13°C
Tmin	12.01	12.13	Aumenta 0.12 °C
Pp	863.92	861.01	Disminuye 2.91mm
Rendimiento	4.44	4.67	Índice de impacto 0.05

De acuerdo a la figura 16, los datos observados de la Tmax tiene un comportamiento muy similar a los datos proyectados en relación al escenario A2, con una ligera tendencia de ser mayores los valores proyectados en relación a los observados, en los primeros cinco meses del año.

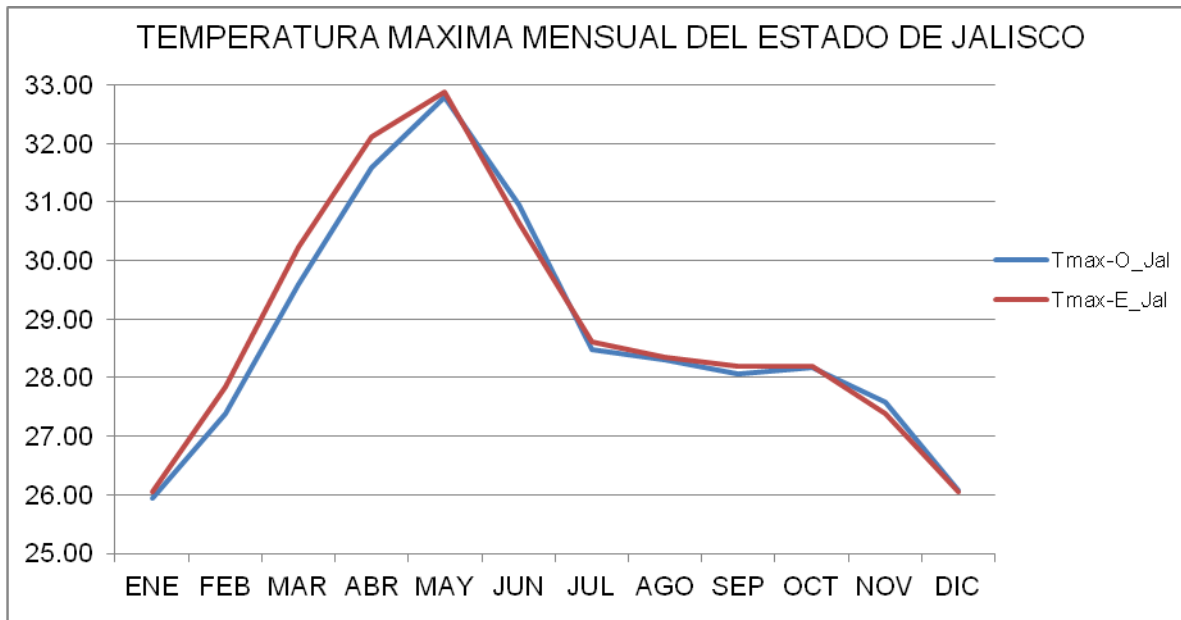


Figura 16 Comparación del comportamiento de la Tmax de datos observados con respecto a datos proyectados (escenario A2) mensualmente en Zacatecas

De acuerdo a la figura 17, los datos observados de la Tmin tiene un comportamiento muy similar a los datos proyectados en relación al escenario A2, con una ligera tendencia de ser mayores los valores proyectados en relación a los observados, en los primeros seis meses del año.

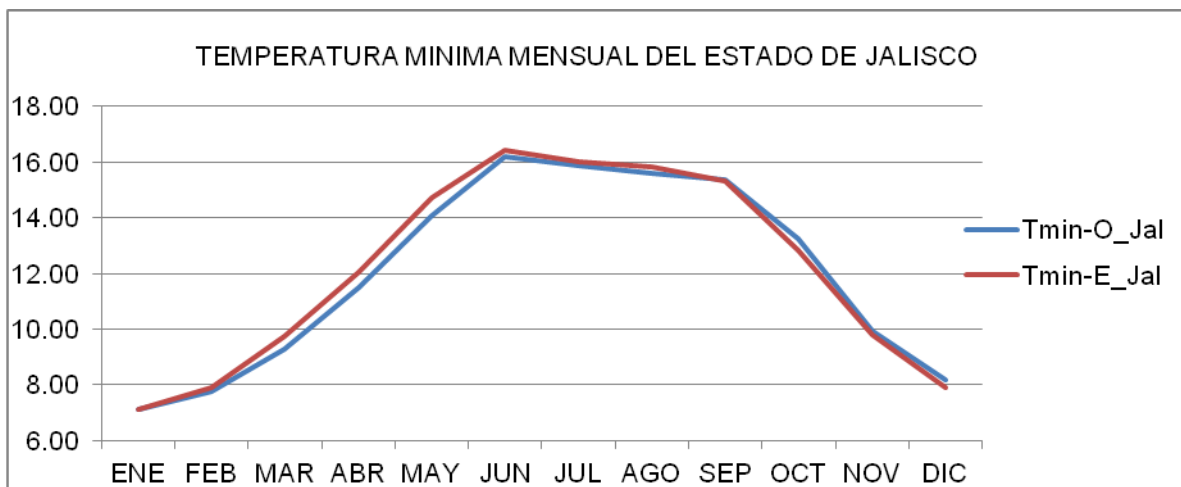


Figura 17 Comparación del comportamiento de la Tmin de datos observados con respecto a datos proyectados (escenario A2) mensualmente en Zacatecas

En la referente a la precipitación en los promedios mensuales de ésta no se observa mucha variación. En los meses de abril a julio se identifica un ligero aumento de ésta, pero para los meses de agosto a noviembre ocurre lo contrario, la precipitación promedio mensual disminuye. En la figura (18) se puede ver una tendencia a que la precipitación aparezca en forma temprana pero la diferencia no es significativa.

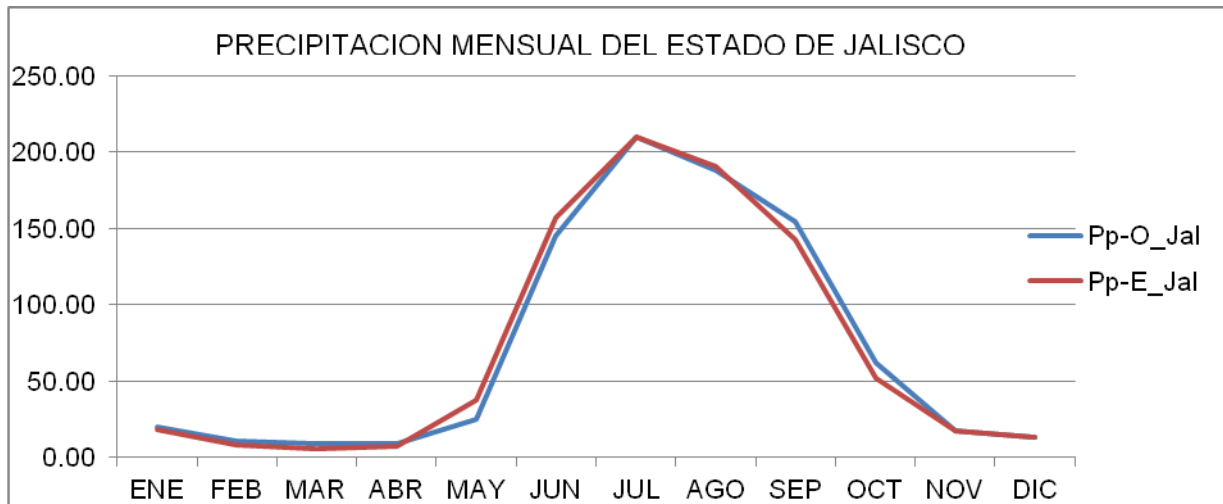


Figura 18 Comparación del comportamiento de la precipitación de datos observados con respecto a datos proyectados (escenario A2) mensualmente en Zacatecas

8.1.2 Mapas de temperatura máxima promedio

En los mapas de Tmax del estado de Jalisco se puede observar que la zona en la que se ve el aumento de esta es hacia el norte del estado.

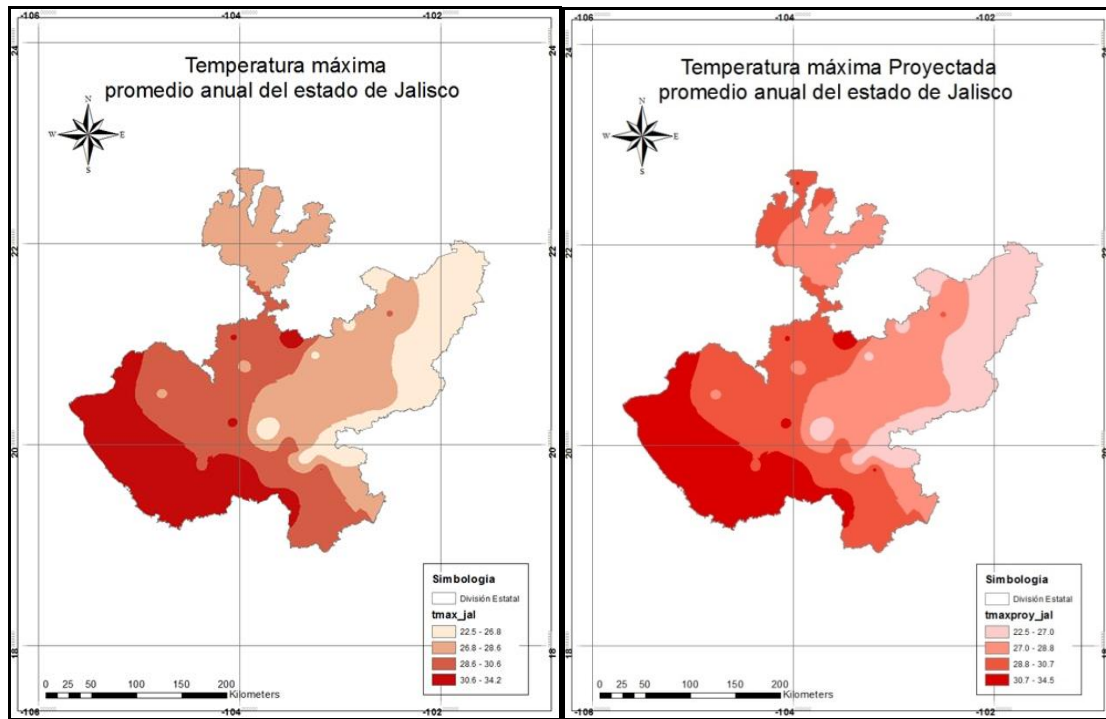


Figura 19 Distribución espacial de temperatura máxima promedio observada (izquierda) y proyectada (derecha)

8.1.3 Mapas de Temperatura mínima.

Al igual que en la temperatura máxima, la variación de la Tmin se puede observar en la parte norte, se ve en la figura (20), como la temperatura mínima proyectada aumenta en esta zona.

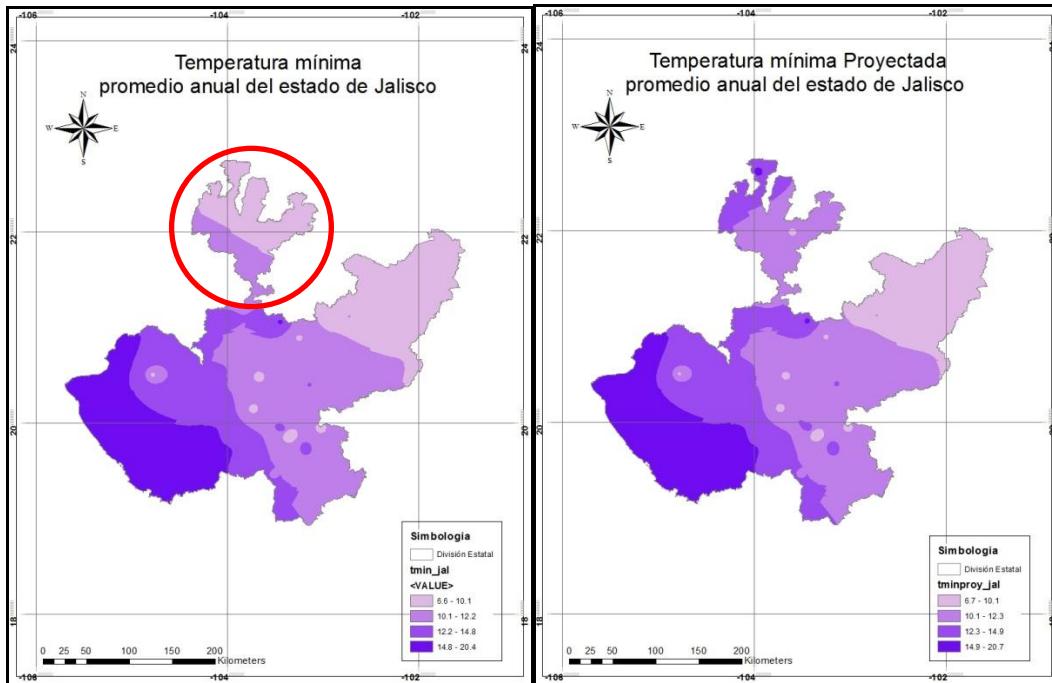


Figura 20 Distribución espacial de temperatura mínima promedio observada (izquierda) y proyectada (derecha).

8.1.4 Mapas de precipitación

En este trabajo el promedio estatal de precipitación de los datos proyectados (escenario A2) es menor al de los datos observados, pero de manera local en ciertas partes del estado se observa un aumento de la precipitación, como podemos ver en las partes señaladas de las figura (21).

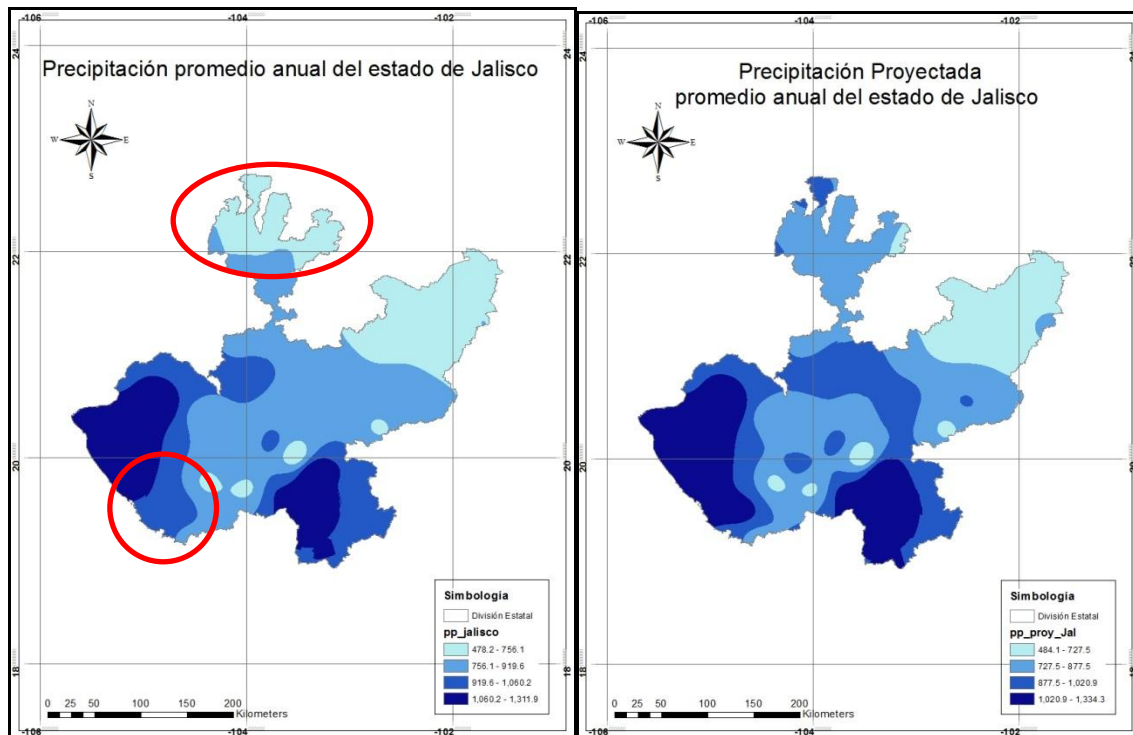


Figura 21 Distribución espacial de la precipitación promedio observada (izquierda) y proyectada (derecha).

8.1.5 Mapas de rendimiento

Con respecto al rendimiento el cambio se observa en una pequeña área al Noreste del estado con un aumento en la producción. Esta variación se observa en la región del Eje Neovolcánico (figura 22).

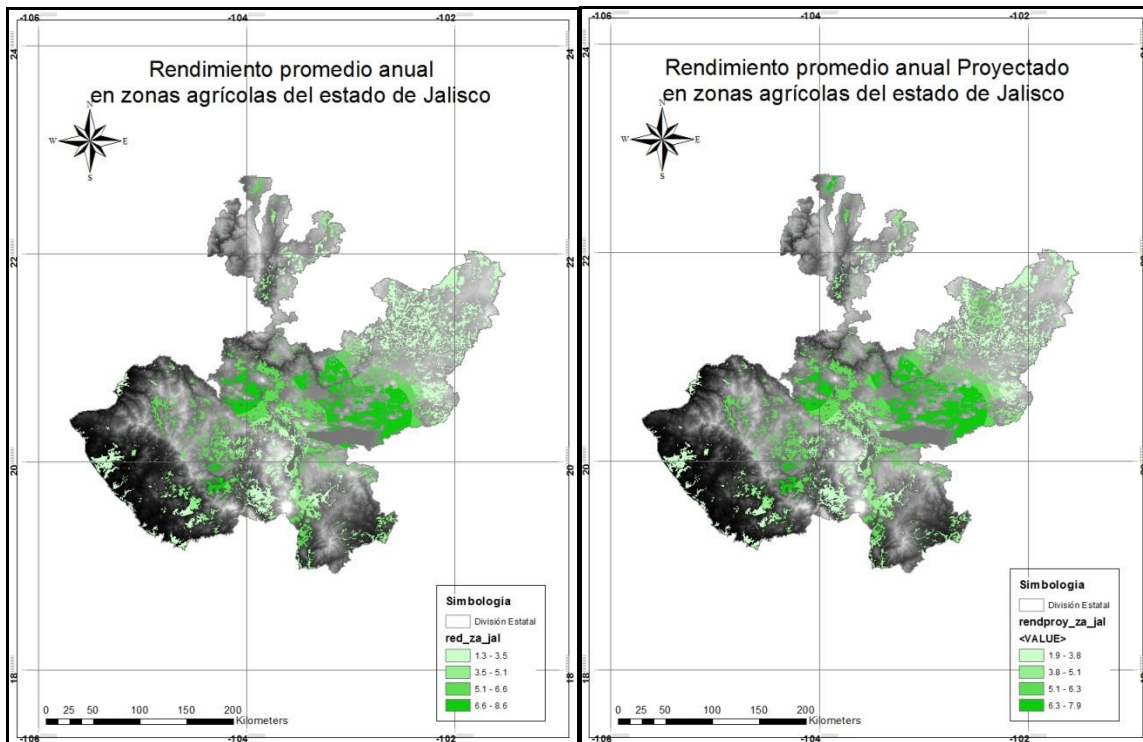


Figura 22 Distribución espacial del rendimiento de maíz observado (izquierda) y proyectado (derecha).

8.2 ZACATECAS

8.2.1 Variables analizadas

De acuerdo a los promedios anuales se muestran en el cuadro (9) se observa un aumento tanto en Tmax, como en Tmin y una disminución de la pp. El índice de impacto general para el estado es de 0.23, es decir se observa en la región un pequeño impacto en la producción de frijol con respecto a las variables climáticas observadas en relación a las variables afectadas por cambio climático en relación al escenario A2. Además se observó que la producción de frijol aumentó en un 32% a nivel estado.

Cuadro 10. Resumen de variables analizadas en Zacatecas

ZACATECAS			
Variable	Observado	Proyectado	Diferencia
Tmax	26.14	26.52	Aumenta 0.38 °C
Tmin	8.7	9.06	Aumenta 0.37 °C
Pp	505.44	488.57	Disminuye 16.87
Rendimiento	0.50	0.66	Índice de impacto 0.23

La Tmax promedio del estado de Zacatecas se analizó de forma mensual y en ella se puede apreciar que de los meses de enero a mayo hay un aumento de la temperatura de los datos proyectados con el escenario A2 con respecto a los datos observados.

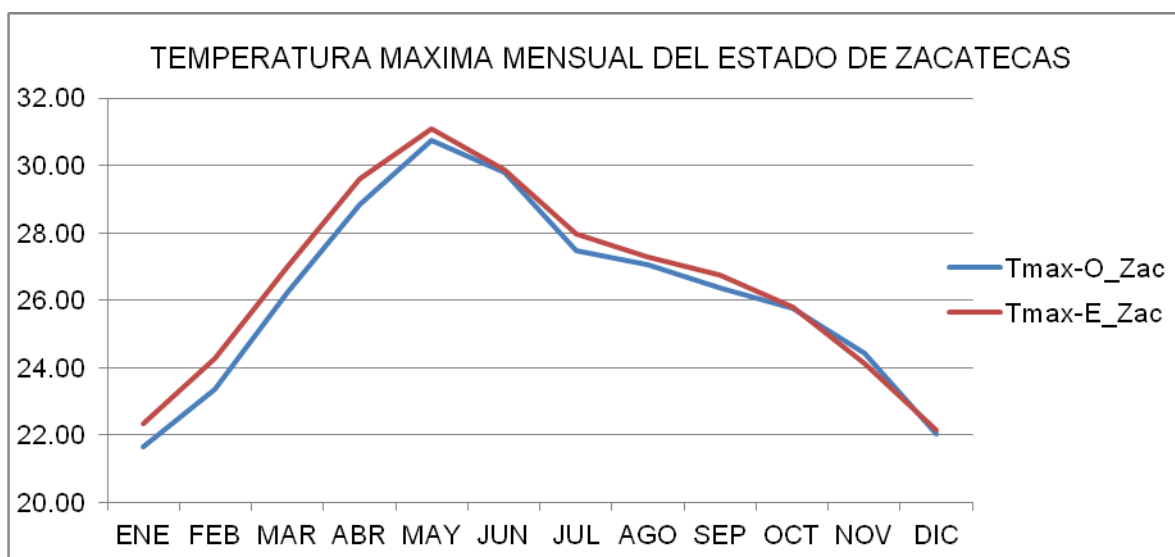


Figura 23 Comparación del comportamiento de la Tmax de datos observados con respecto a datos proyectados (escenario A2) mensualmente en Zacatecas

En lo referente a la Tmin en el estado de Zacatecas se observa al igual que en la Tmax un aumento de la misma en los datos proyectados con respecto a los datos observados en los meses de Enero a Junio.

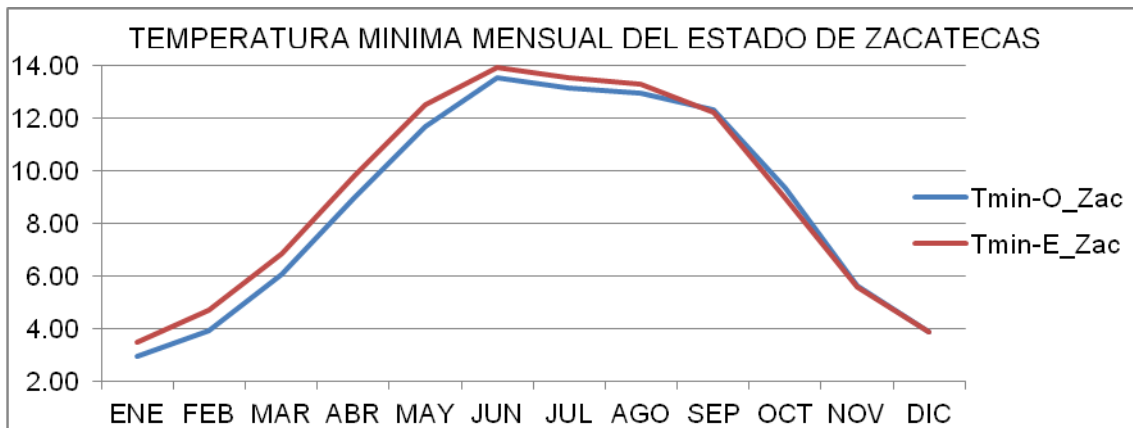


Figura 24 Comparación del comportamiento de la Tmin de datos observados con respecto a datos proyectados (escenario A2) mensualmente en Zacatecas

La precipitación también se ve afectada en relación a los datos proyectados (escenario A2) con respecto a los observados pues se puede ver una disminución de esta variable en los meses de junio a octubre.

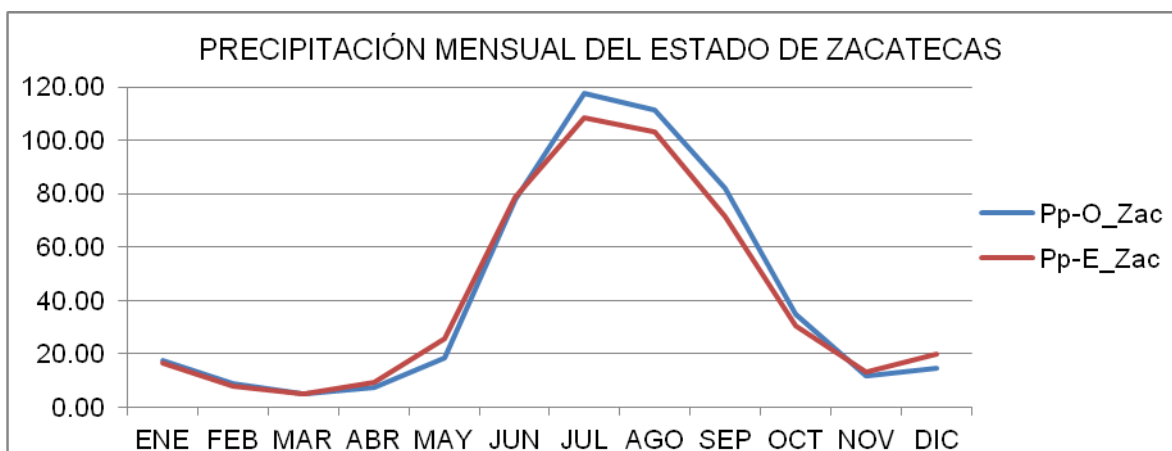


Figura 25 Comparación del comportamiento de la precipitación de datos observados con respecto a datos proyectados (escenario A2) mensualmente en Zacatecas

8.2.2. Mapas de Temperatura máxima

El aumento de la Tmax de los datos proyectados se mueve hacia la parte norte del estado de Zacatecas, aunque de manera regional en el sur del estado se ve una disminución de la temperatura en estos datos.

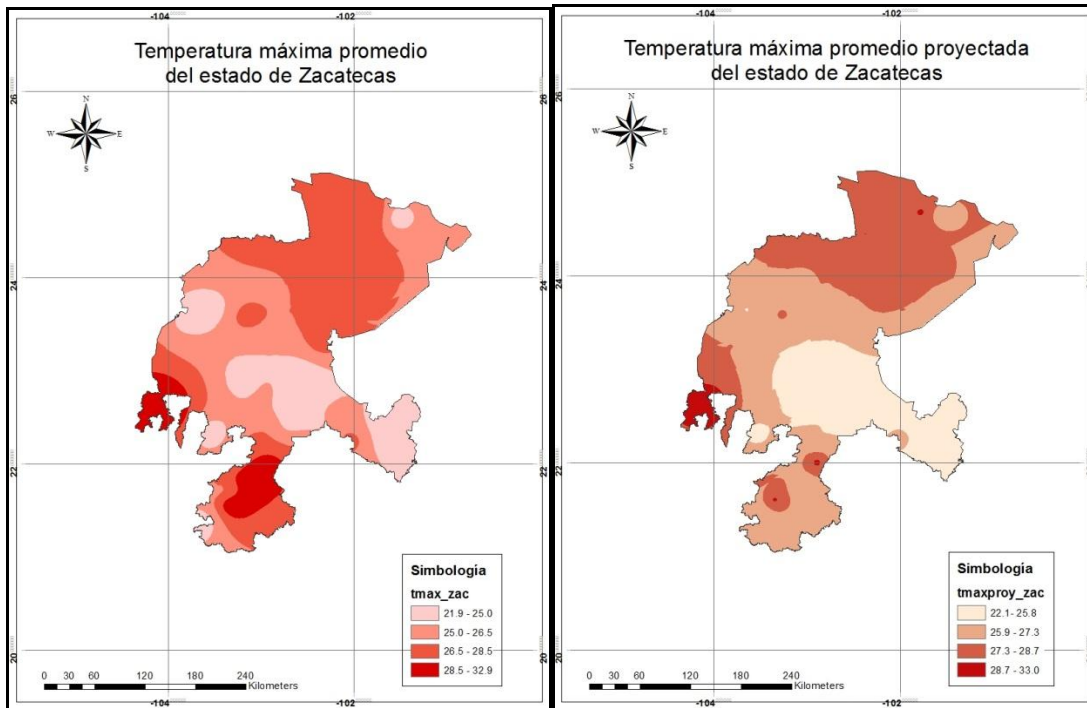


Figura 26 Distribución espacial de la Tmax observada (izquierda) y proyectada (derecha) en Zacatecas

8.2.3 Mapas de temperatura mínima

En lo referente a la Tmin esta tiene una tendencia a aumentar en la zona Noroeste del estado conforme al escenario A2. También se puede ver una pequeña área del centro-sur del estado con una disminución de la Tmin.

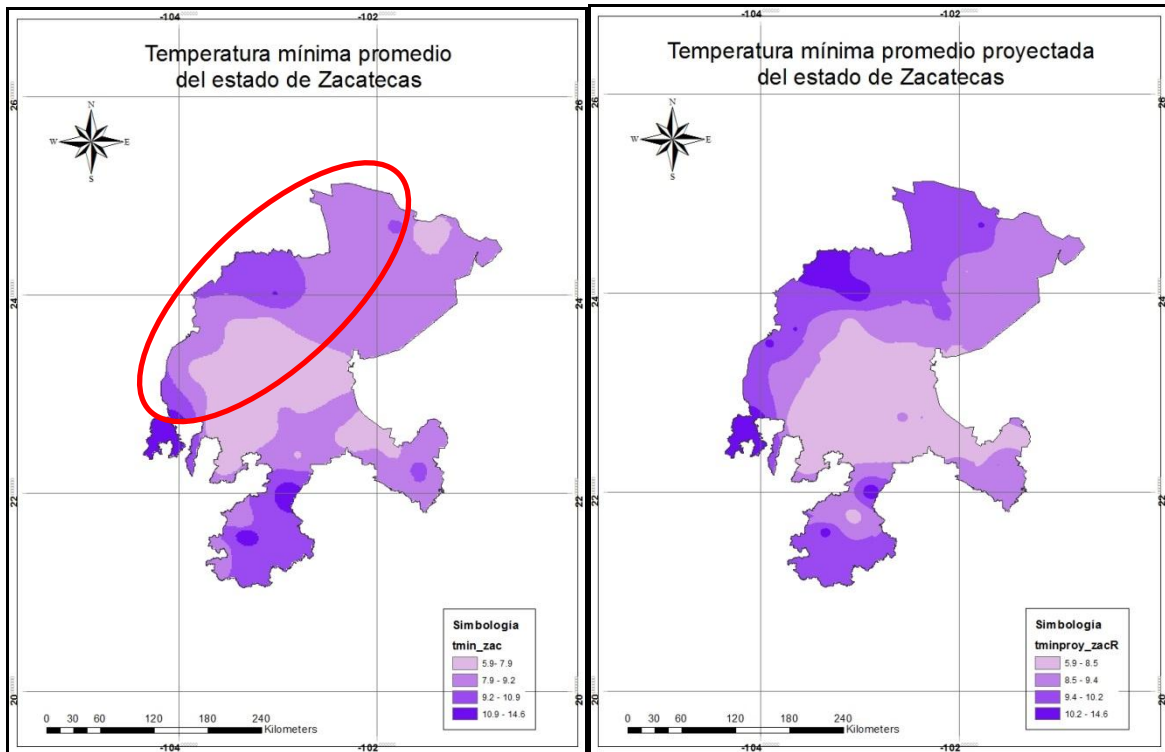


Figura 27 Distribución espacial de la Tmin observada (izquierda) y proyectada (derecha) en Zacatecas

8.2.4 Mapas de precipitación

En los mapas de precipitación se puede ver una disminución de la variable en los datos proyectados (escenario A2) con respecto a los observados de la misma en la parte centro norte, así como en el sur del estado. La disminución de esta variable se puede observar en la región de la Sierra Madre Occidental y la mesa del centro.

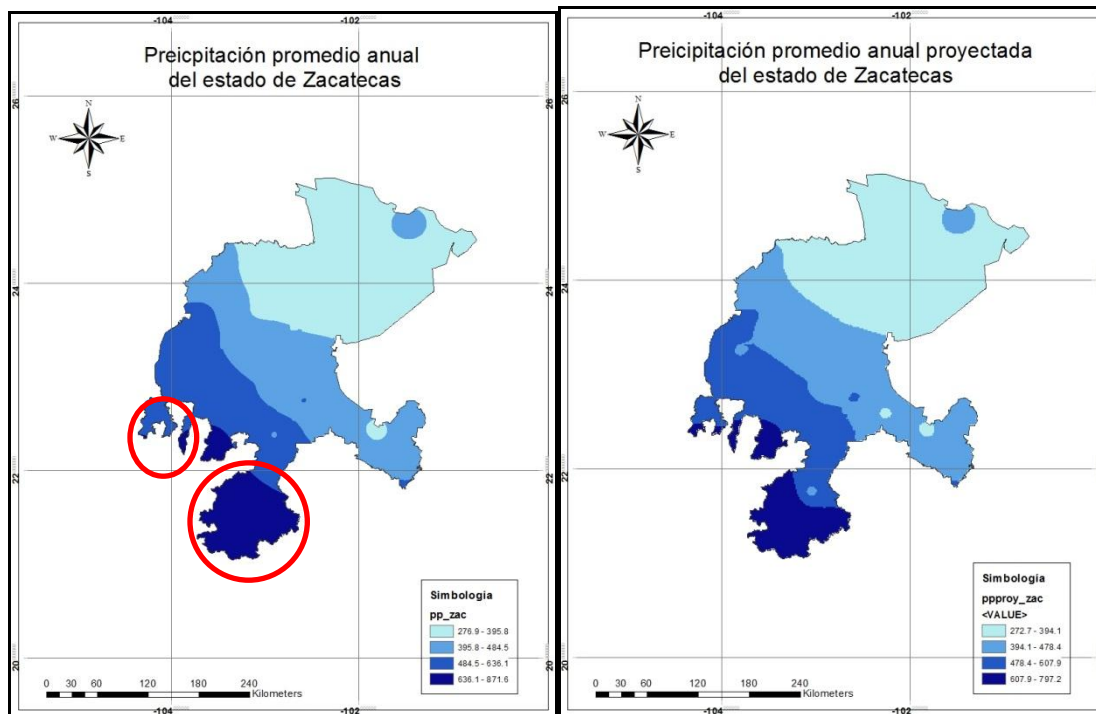


Figura 28 Distribución espacial de la Precipitación observada (izquierda) y proyectada (derecha) en zacatecas

8.2.4 Mapas de Rendimiento de frijol

El rendimiento del cultivo de frijol en Zacatecas se puede observar un aumento del rendimiento en la región con menos relieve del estado, en la mesa del centro, en el resto del estado el rendimiento no presenta mucha variación con respecto de los datos observados (históricos) en relación a los proyectados (escenario A2).

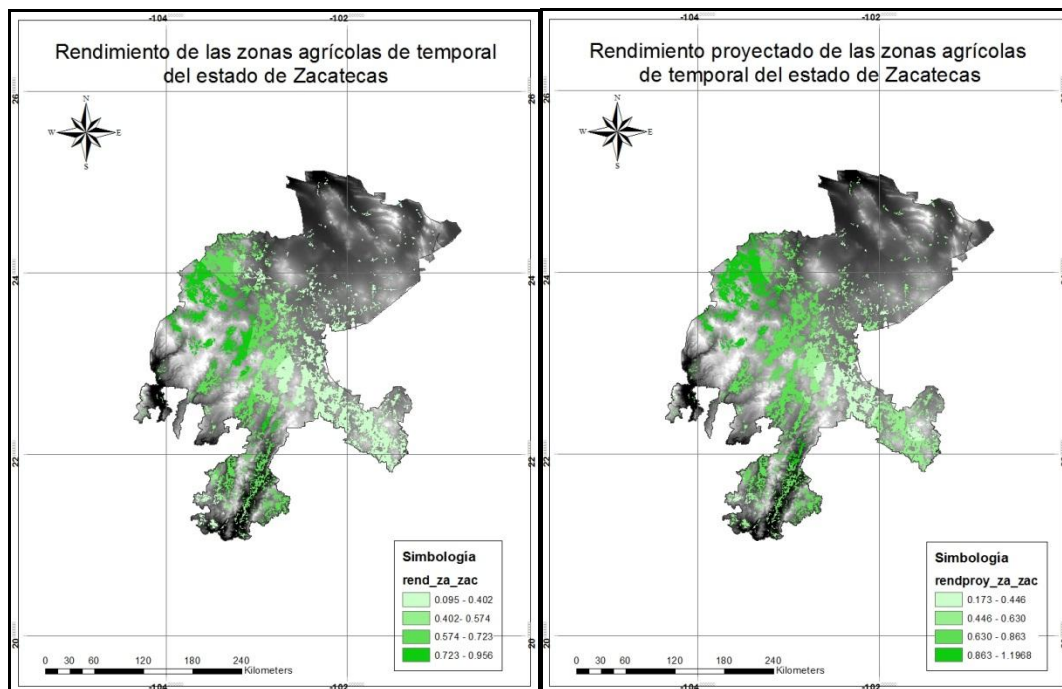


Figura 29 Distribución espacial del rendimiento de frijol observado (izquierda) y proyectado (derecha) en Zacatecas

8 CONCLUSIONES

- ✓ De acuerdo con el escenario A2 en Zacatecas, las temperaturas máximas y mínimas registraron un aumento en 0.38°C y 0.37°C , respectivamente; en tanto que la precipitación tuvo una disminución de 16.78 mm.
- ✓ El periodo en el que más aumenta la T_{max} es de los meses de enero a mayo y la T_{min} en los meses de enero a junio; la disminución de precipitación se presenta en los meses de junio a octubre.
- ✓ En el estado de Jalisco, se presentó una disminución de la precipitación estatal de 2.91 mm y las temperaturas mínimas y máximas aumentaron en 0.12 y 0.13°C , respectivamente.
- ✓ El rendimiento de frijol en el estado de zacatecas, en el escenario A2, aumentó en su proyección, con respecto a los datos observados, principalmente en la mesa central, con un índice de impacto de 0.23 por las variables climatológicas.
- ✓ El rendimiento de maíz en el estado de Jalisco no varió, la proyección sobre lo observado, ya que sólo una pequeña parte en el noreste del Estado se observó un aumento en la producción, con un índice de impacto de 0.05 por las variables climatológicas.

9 BIBLIOGRAFÍA

IPCC, 2000. Informe Especial del IPCC. Escenarios de Emisiones. Resumen para responsables de políticos. Grupo intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. 2000. ISBN: 92-9169-413-4.

Sánchez-Cohen et al, 2011. Sánchez Cohen Ignacio, Días Padilla Gabriel, Cavazos Pérez María Teresa, Granados Ramírez Guadalupe Rebeca, Gómez Reyes Eugenio. 2011. Elementos para entender el Cambio Climático y sus impactos. INIFAP. Pag 155.

SAGARPA y FAO, 2012. México: El sector agropecuario ante el desafío del Cambio Climático. Volumen 1. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Agosto 2012.

Esquivel, 2011. Efecto del cambio en los patrones del clima sobre el rendimiento de los cultivos. Universidad Autónoma Chapingo, Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas.

IPCC, 2012. Gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático. Resumen para responsables de políticas. Informe especial del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático. Informe especial sobre la gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático. Resumen para responsables de políticas, informe de los grupos de trabajo I y II del IPCC. 2012

IPCC, 2007. Cambio climático. Informe de Síntesis. Informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. 2007

INEGI, 2010. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Realidad, datos y espacio. Revista internacional de estadística y geografía. Noviembre, 2010.

Conde, et al., 2013. Impactos del cambio climático en la agricultura en México. Instituto Nacional de Ecología en su portal de internet: <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/437/conde.html>. Consultado el 13 de abril de 2013.

Cifuentes, 2010. ABC del cambio climático en Mesoamérica. Miguel Cifuentes Jara. Serie técnica, Informe técnico No. 383. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) programa Cambio Climático, Turrialba, Costa Rica, 2010.

IPCC, 2009. Gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático. Resumen para responsables de políticas. Informe especial del grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático. Marzo de 2009. ISBN 978-92-9169-333-7.

Ortiz, 2012. El cambio climático y la producción agrícola. Rodomiro Ortiz. Banco Interamericano de Desarrollo. Febrero 2012.

FAO, 2008. El Cambio Climático y la Producción de Alimentos. Agricultura y Cambio Climático: Desafíos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Biodiversidad. 2008.

FAO, 2014. La Fao Salvaguarda el Medio Ambiente Mundial. Adaptación de la Agricultura al Cambio Climático. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Página de la FAO www.fao.org en su apartado División de Tierras y Aguas de la FAO. Consulta en abril de 2014.

Martell, 2012. Tesis doctoral “Modelación y Simulación de Procesos Hidro-climáticos para cuantificar el impacto del Cambio en Patrones de Clima sobre el Rendimiento de Maíz Grano: Estudio de caso, Estado de Jalisco, México”. Felipe de Jesús Martell Rodríguez. Diciembre de 2012.

INEGI, 2013a. Perspectiva estadística Jalisco. Junio 2013. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 103 p. Aguascalientes, Aguascalientes.

INEGI, 2013b. Perspectiva estadística Zacatecas. Septiembre 2013. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. 91 p. Aguascalientes, Aguascalientes.

INEGI, 2014. Página de Cuéntame de México del Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Consultada 25 de Octubre de 2014. <http://cuentame.inegi.org.mx/>.

SIAP, 2006. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Situación actual y perspectivas del maíz en México 1996-2012.

SIAP, 2003. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Situación actual y perspectiva de Frijol en México 2000-2005.