



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD ANTE VARIABILIDAD
CLIMÁTICA DEL MAÍZ (*ZEA MAYS*) EN EL DISTRITO DE
DESARROLLO RURAL – 073, TOLUCA

T E S I S

Para obtener el grado de:

Maestra en Ciencias Ambientales

P R E S E N T A:

Gloria Isabel Reyes Anistro

COMITÉ TUTORIAL:

Dr. Salvador Adame Martínez

Dr. Edel Cadena Vargas

Mtra. Guadalupe Hoyos Castillo

Toluca, México

Diciembre del 2017

Dedicatoria

A mis padres Isabel Anistro y Ramiro Reyes

A mi esposo César por su apoyo incondicional para concluir esta tesis

A mi hijo César Damián

A mi hermana Michelle

Agradecimientos

Mi agradecimiento sincero a todas aquellas personas e instituciones que hicieron posible llevar a término mis estudios de maestría.

Al Doctor Salvador Adame quien dirigió esta tesis por su tiempo, dedicación y apoyo a la investigación, gracias por su contribución y amistad, ha sido un gran ejemplo en mi formación académica y profesional.

Al Doctor Edel Cadena, quien apoyó en la parte metodológica de la investigación, gracias por su tiempo y enseñanzas que han contribuido a mi formación profesional.

A la Maestra Guadalupe Hoyos, quien apoyó en la parte estructural y teórica de la investigación, gracias por sus atinadas sugerencias para mejorar la calidad de redacción y presentación de la tesis.

A la Maestra Mariana Mancino quien apoyó significativamente en el manejo de información climatológica y cartográfica, mi total admiración y agradecimiento por compartir su tiempo y conocimientos en el tema para la conclusión satisfactoria de la investigación.

A mis revisoras la Doctora Verónica Martínez y la Doctora Gabriela Roa, quienes aportaron observaciones para enriquecer la tesis, gracias por su tiempo y apoyo para concluir en tiempo mis estudios de posgrado.

Agradecimientos especiales al Doctor Jesús Soria del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales por apoyarme con el acceso a investigaciones de la institución respecto a los cultivos de maíz en el Estado de México.

A las Instituciones que facilitaron la obtención de bases de datos para el desarrollo de esta investigación como el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales (INIFAP), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Centro Nacional para la Prevención de Desastres (CENAPRED) y el Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, (CONACYT), por el apoyo económico brindado durante el desarrollo de esta investigación.

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
Resumen	1
Introducción	2
	7
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO – METODOLÓGICO	
1.1. Teoría Social del Riesgo	8
1.2. Vulnerabilidad	11
1.3. Cambio y variabilidad climática	13
1.4. Agricultura y variabilidad climática	14
1.4.1. Vulnerabilidad ante variabilidad climática en la agricultura	17
1.4.2. El maíz (zea mays) y la variabilidad climática	21
1.5. Evaluación de vulnerabilidad ante cambio y variabilidad climática	25
1.5.1. Enfoques para el estudio de vulnerabilidad	27
1.6. Metodología	32
CAPÍTULO 2. ESTUDIOS PRECEDENTES SOBRE VULNERABILIDAD	
2.1. Estudios a nivel global	40
2.1.1. Nuevo método para la evaluación cuantitativa de la vulnerabilidad agrícola ante cambio climático	40
2.1.2. Vulnerabilidad ambiental y socioeconómica del sector agrícola en Armenia	46
2.2. Estudios a nivel nacional	53
2.2.1. Dos métodos para evaluar la vulnerabilidad agrícola ante el cambio climático en el sector agrícola en México	53
2.2.2. Herramienta para evaluar la vulnerabilidad ante cambio climático en el sector agrícola en México	60
2.3. Estudios en el Estado de México	70
2.3.1. Efectos del cambio climático en el sector primario de dos especies de importancia económica para el Estado de México	70
2.3.2. Cambio climático y efectos en la fenología del maíz en el DDR-Toluca	74
CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO Y DIAGNÓSTICO RETROSPECTIVO DEL CLIMA Y LOS CULTIVOS DE MAÍZ DE TEMPORAL	
3.1. Caracterización ambiental del DDR 037 – Toluca	81
3.1.1. Ubicación geográfica	81
3.1.2. Climatología	85
3.1.3. Edafología	86
3.1.4. Características fisiográficas	92
3.1.5. Usos de suelo	92
3.1.6. Hidrografía	99
3.2. Diagnóstico actual del DDR Toluca	102

3.2.1. Determinación de variaciones climáticas de 1980 a 2014	102
3.2.2. Análisis longitudinal de producción de maíz de 1980 a 2014	121
3.2.3. Comparación del comportamiento de la producción de maíz de temporal y la variabilidad climática de 1980 a 2014	127
CAPÍTULO 4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS EN EL DDR	
037 – Toluca	
4.1. Evaluación de vulnerabilidad (método de pesos iguales)	131
4.1.2. Tratamiento de datos: selección de indicadores de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa	131
4.1.3. Obtención de subíndices de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa	134
4.1.3.1. Exposición	135
4.1.3.2. Sensibilidad	138
4.1.3.3. Capacidad adaptativa	141
4.2. Vulnerabilidad actual ante variabilidad climática	145
4.2.1. Índice de vulnerabilidad ante variabilidad climática	147
4.3. Análisis de indicadores de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa y su relación con la vulnerabilidad	149
	155
CONCLUSIONES	158
REFERENCIAS	165
ANEXOS. Carta de envío de artículo	
Artículo. Vulnerabilidad ante variabilidad climática en los cultivos de maíz <i>zea mays</i>	166

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del maíz	22
Cuadro 2. Requerimientos agroecológicos del maíz	23
Cuadro 3. Ecuaciones de correlación de temperatura y precipitación de Wuchuan	43
Cuadro 4. Cuadro comparativo de estudios de vulnerabilidad en el sector agrícola a nivel global	51
Cuadro 5. Indicadores de Exposición de Alejandro Monterroso	54
Cuadro 6. Indicadores de Sensibilidad de Alejandro Monterroso	55
Cuadro 7. Indicadores de capacidad de adaptación de Alejandro Monterroso	55
Cuadro 8. Indicadores de Exposición de Ramiro Ahumada	62
Cuadro 9. Indicadores de Sensibilidad de Ramiro Ahumada	63
Cuadro 10. Indicadores de Sensibilidad de Ramiro Ahumada	63
Cuadro 11. Comparación de estudios de vulnerabilidad en el sector agrícola a nivel nacional	68
Cuadro 12. Comparación de estudios sobre agricultura y cambio climático en el Estado de México	78
Cuadro 13. Tipo de clima y porcentaje de superficie en el Estado de México	85
Cuadro 14. Climas del DDR Toluca	86
Cuadro 15. Uso y cobertura del suelo en el DDR Toluca	96
Cuadro 16. Porcentaje y hectáreas de usos de suelo en el DDR Toluca	96
Cuadro 17. Estaciones climatológicas en el DDR Toluca	103
Cuadro 18. Años efectivos de las estaciones climatológicas en el DDR Toluca	105
Cuadro 19. Estaciones seleccionadas y completadas con datos del SMN	108
Cuadro 20. Producción de maíz de temporal durante el ciclo primavera – verano en el Estado de México de 1980 a 1998	123
Cuadro 21. Producción de maíz de temporal durante el ciclo primavera – verano en el DDR Toluca de 1999 a 2014	127
Cuadro 22. Indicadores de exposición	132
Cuadro 23. Indicadores de sensibilidad	133
Cuadro 24. Indicadores de capacidad adaptativa	133
Cuadro 25. Subíndice de exposición por municipio en el DDR Toluca	137
Cuadro 26. Subíndice de sensibilidad por municipio en el DDR Toluca	140
Cuadro 27. Subíndice de capacidad adaptativa por municipio en el DDR Toluca	144
Cuadro 28. Exposición, sensibilidad, capacidad adaptativa y vulnerabilidad por municipio	146
Cuadro 29. Índice de vulnerabilidad ante variabilidad climática por municipio	147
Cuadro 30. Indicadores que aumentan la exposición en municipios altamente expuestos	151
Cuadro 31. Indicadores que aumentan la sensibilidad en municipios altamente sensibles	152
Cuadro 32. Indicadores que aumentan la adaptación en municipios mayor capacidad adaptativa.	153

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama metodológico	38
Figura 2. Tendencias de temperatura y precipitación de Wuchuan de 1961 – 2009	42
Figura 3. Vulnerabilidad de temperatura y precipitación respecto al rendimiento del trigo en Wuchuan	44
Figura 4. Regresión entre temperaturas de abril a octubre de 1966 a 2010 en Armenia	48
Figura 5. Distribución de la vulnerabilidad agrícola en México de acuerdo con el método de componentes principales, Monterroso	58
Figura 6. Distribución de la vulnerabilidad agrícola en México de acuerdo con el método de pesos iguales, Monterroso	59
Figura 7. Espacialización de vulnerabilidad agrícola en Guasave	67
Figura 8. Ubicación geográfica del Estado de México	82
Figura 9. Distritos de Desarrollo Rural en el Estado de México	83
Figura 10. Municipios del DDR Toluca	84
Figura 11. Climas del DDR Toluca	88
Figura 12. Edafología del DDR Toluca	89
Figura 13. Provincias fisiográficas del Estado de México y el DDR Toluca	93
Figura 14. Geología del DDR Toluca	94
Figura 15. Topografía del DDR Toluca	95
Figura 16. Uso y cobertura de suelo del DDR Toluca	97
Figura 17. Cultivo de maíz en el DDR Toluca	98
Figura 18. Regiones hidrográficas en el Estado de México	100
Figura 19. Hidrología del DDR Toluca	101
Figura 20. Distribución de estaciones climatológicas del DDR Toluca de acuerdo con la CONAGUA	110
Figura 21. Estaciones climatológicas seleccionadas	111
Figura 22. Temperatura máxima por mes en el DDR Toluca de 1980 a 2014	112
Figura 23. Temperatura máxima por estación meteorológica de 1980 a 2014	113
Figura 24. Temperatura mínima por mes en el DDR Toluca de 1980 a 2014	114
Figura 25. Temperatura mínima por estación meteorológica de 1980 a 2014	115
Figura 26. Temperatura media por mes en el DDR Toluca de 1980 a 2014	116
Figura 27. Temperatura media por estación meteorológica de 1980 a 2014	118
Figura 28. Distribución espacial de la temperatura media mensual de 1980 a 2014 en el DDR Toluca	119
Figura 29. Precipitación media mensual de 1980 a 2014 en el DDR Toluca	120
Figura 30. Precipitación media mensual por estación meteorológica de 1980 a 2014	121
Figura 25. Superficie sembrada y cosechada del maíz de temporal durante el ciclo primavera – verano en el Estado de México de 1980 a 1998	126
Figura 26. Superficie sembrada y cosechada del maíz de temporal durante el ciclo primavera – verano en el DDR Toluca de 1999 a 2014	128
Figura 27. Temperatura máxima por año de 1999 a 2014 en el DDR Toluca	129

Figura 28. Temperatura mínima por año de 1999 a 2014 en el DDR Toluca	130
Figura 29. Precipitación media por año de 1999 a 2014 en el DDR Toluca	131
Figura 30. Distribución espacial de la vulnerabilidad ante variabilidad climática en el DDR Toluca	151

RESUMEN

La problemática que se presenta actualmente en torno al medio ambiente ha tomado relevancia debido a los impactos que han tenido en el entorno y la humanidad. Uno de los más significativos se ha manifestado en el sistema climático generando alteraciones en los ciclos y procesos naturales como sucede con los cambios en los patrones de temperatura y precipitación alterando así el equilibrio de los diversos sistemas que conforman el medio tanto natural como socioeconómico. Uno de los sistemas que se ha visto mayormente afectado por este fenómeno es el productivo sobre todo la práctica de la agricultura que es la base de la producción de alimentos y cuando se realiza bajo condiciones de temporal se muestra más vulnerable ante los cambios en el clima ya que depende directamente de las condiciones de temperatura y precipitación de la región en la que se desarrolle.

El maíz ha representado una de las bases alimenticias más importantes sobre todo en países de América Central y América Latina, de acuerdo con algunas investigaciones este cultivo ha presentado disminuciones en cuanto a productividad y rendimiento derivados de fenómenos naturales tales como sequías o precipitaciones extremas en algunas partes del mundo y en México. Por otro lado, los cambios en el clima también pueden representar oportunidades en algunas zonas sobre todo cuando las temperaturas se ajustan a las necesidades de producción del cultivo, de acuerdo con esto es importante conocer el grado de vulnerabilidad que presenta el sistema considerando aspectos físicos y naturales en torno al cultivo, así como sociales y económicos de la población dependiente de dicha actividad.

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la vulnerabilidad actual en los cultivos de maíz dentro del Distrito de Desarrollo Rural 073- Toluca en el Estado de México ya que este distrito es uno de los más importantes en cuanto a producción del maíz y la mayor parte de éste se realiza en condiciones de temporal, por lo cual se estudió la variabilidad climática a partir del año de 1980 al 2014, así como los impactos de la misma en el sistema agrícola, a su vez se utilizaron indicadores de carácter natural, social y económico los cuales fueron integrados y evaluados a través de un método estadístico que al final integraron el índice de vulnerabilidad que fue aplicado a cada uno de los 23 municipios que conforman la zona de estudio.

INTRODUCCIÓN

Uno de los retos a los que se ha enfrentado la humanidad en los últimos años es el relacionado a los cambios globales, el cambio climático no es un tema de reciente aparición y es un problema de carácter mundial con consecuencias regionales y locales que se han presentado en el sistema natural y antropogénico (Monterroso, 2012).

Estudios muestran la existencia de un incremento en la temperatura, así como anomalías climáticas dependiendo de la región como es la alteración del régimen hídrico (Barbero y otros, 2008). A este fenómeno se le conoce como *variabilidad climática* y se considera como una consecuencia del cambio climático, en el caso de México las tendencias del clima indican un patrón especial de calentamiento en la mayor parte del territorio (Magaña, 2013).

Una de las principales causas del cambio climático es la concentración de Gases de Efecto Invernadero derivado de las actividades humanas (IPCC, 2007) a consecuencia del crecimiento poblacional y sus niveles de consumo que han incrementado la demanda de recursos y desarrollo tecnológico, producción y consumo de energía, transporte, industria, edificación y cambios de usos de suelo (Barros y Esquivel, 2005; IPCC, 2007; Iglesias y Medina, 2009) alterando el equilibrio de los sistemas naturales y humanos.

La variación en el clima ha impactado en diferentes sistemas productivos, el sector rural ha presentado impactos significativos ya que desarrolla sus actividades económicas en actividades agropecuarias principalmente (Conde, 2000). La agricultura es una actividad altamente sensible a los cambios en el clima ya que cualquier cambio en la temperatura y precipitación altera la producción de alimentos y procesos relacionados (Tao y otros, 2011).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) argumenta que no se sabe con certidumbre las dimensiones de los impactos derivado del cambio climático ya que las evaluaciones muestran variaciones significativas entre las regiones suponiendo en algunas oportunidades y en otras riesgos en las distintas áreas de producción, sin embargo existe un gran contraste entre los impactos negativos en las regiones tropicales y subtropicales y ventajas en las regiones de clima templado (Iglesias y Medina, 2009) pero de acuerdo con el Quinto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, 2014) los impactos negativos son más comunes.

Los impactos negativos que pueden presentarse en la agricultura varían de acuerdo con las características geográficas y se dividen en dos categorías, a saber: impactos biofísicos y socioeconómicos. Los *impactos biofísicos* se manifiestan en los efectos fisiológicos de los cultivos tanto en cantidad como calidad, así como los recursos suelo y agua y el incremento de malas hierbas y plagas. Los *impactos socioeconómicos* se manifiestan a través de la disminución de la producción y rendimiento de los cultivos, así como el Producto Interno Bruto (PIB), fluctuaciones en precios de mercado mundial, cambios en distribución geográfica de regímenes comerciales, incremento de la población en riesgo al hambre e inseguridad de alimento y la marginación y baja calidad de vida de la población (FAO, 2007).

De acuerdo con un estudio realizado por la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (CICC, 2007) los impactos negativos derivados del cambio climático para el caso de los cultivos de maíz pueden presentarse a través de disminución de la superficie apta para cultivar maíz y erosión de la agro-biodiversidad del cultivo, la reducción de los rendimientos de cultivos en algunas regiones, riesgo de incremento de siniestros causados por eventos hidrometeorológicos extremos en zonas productivas como son sequías, inundaciones o huracanes, la expansión de plagas y pestes por el cambio de las condiciones ambientales y el deterioro de los niveles de bienestar de la población rural.

México es considerado por su ubicación geográfica y sus condiciones climáticas e hidrológicas un territorio vulnerable ante cambios en el clima y eventos hidrometeorológicos como sequías, inundaciones, oleadas de calor, entre otros (Ramírez y Meza, 2012). En el territorio, se estima que cerca de 30 millones de hectáreas son tierras de cultivo en las que predomina el maíz de temporal que se practica prácticamente en todo el territorio aún en zonas con climas, suelos o pendientes no propicios (Conde, 2006) y se desarrolla en localidades rurales con población menor a 2500 personas donde viven cerca de 24 millones de mexicanos (Monterroso, 2012) de los cuales el 23.5% subsiste de actividades relacionadas con la agricultura y en los últimos han presentado pérdidas de hasta el 50% debido a sequías y 27% por precipitaciones extremas, a su vez algunos escenarios proyectan una tendencia de pérdida en aumento en cuanto a la producción de maíz del 15% en promedio para el año 2055 (Sánchez y otros, 2008).

Derivado de lo anterior se ha profundizado actualmente en el tema de la vulnerabilidad que es entendida como el grado de susceptibilidad o incapacidad de un sistema para enfrentar los efectos adversos del cambio climático, este tipo de estudios son de gran importancia para proyectar escenarios que enfatizan la capacidad de adaptación de los sistemas naturales y humanos donde se incluyan las estructuras y organizaciones sociales (IPCC, 2007).

Para analizar la vulnerabilidad ante cambio y variabilidad climática no existe una metodología universalmente aceptada sin embargo hay contribuciones que permiten dar respuesta a preguntas básicas como ¿a qué se es vulnerable?, ¿quién es vulnerable? y ¿por qué es vulnerable? (Magaña, 2013). Uno de los esfuerzos más relevantes en el tema de la vulnerabilidad ha sido la creación del Índice de Variabilidad Climática (IVC) propuesto por el Instituto para la Competitividad A.C. (IMCO) sin embargo es aplicable a zonas metropolitanas por lo que aún no existe un índice que permita medir y evaluar a la vulnerabilidad en el sector agrícola aunque ya existen investigaciones donde se aplican diferentes métodos para establecerlo como es el caso de Alejandro Monterroso (2012) y Ramiro Ahumada (2014) sin embargo es necesario fortalecer este tipo de investigaciones a nivel región y reconocer a la vulnerabilidad como un evento clave para la estimación de impactos pasando del “somos vulnerables” al “somos vulnerables en X medida” (Magaña, 2013) en donde se consideren las condiciones actuales de los cultivos y socioeconómicas de la población para poder proyectar escenarios bajo variabilidad climática con todos los actores que intervienen en el proceso.

La zona de estudio seleccionada para la presente investigación es una región del Estado de México, el cual se ubica como una de las entidades más importantes en cuanto a la productividad agrícola ya que el 84% de su superficie corresponde a uso de suelo agropecuario y forestal (Sarabia, 2011). De la misma forma la entidad presenta condiciones ideales para la producción agrícola como son el tipo de suelo y clima por lo que sobresalen los valles de Toluca – Atlacomulco y el Valle de México donde se cultiva el maíz con un amplio rango de adaptación en una superficie con potencial productivo de 582, 192 ha y representa ingresos de aproximadamente 2, 940 millones de pesos, sin embargo en el período de 2002 a 2005 se observó una reducción de cerca del 6 y 9% de superficie sembrada (Soria y Sotelo, 2010; Soria y otros, 2007).

El manejo administrativo de las actividades productivas del sector rural en el Estado de México se ha dividido en zonas que presentan características similares del territorio así como de las necesidades institucionales que median al sector las cuales dieron como resultado ocho distritos conocidos como “Distritos de Desarrollo Rural” que son administrados por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), a saber: 073 Toluca, 074 Zumpango, 075 Texcoco, 076 Tejupilco, 077 Atlacomulco, 078 Coatepec Harinas, 079 Valle de Bravo y 080 Jilotepec, de los cuales sobresalen el DDT – Toluca y el DDR –Atlacomulco de acuerdo con su producción anual por lo que la investigación se enmarcó en el DDR 073 – Toluca debido a que es actualmente el más importante y cuya superficie comprende el 44% de la superficie total de la entidad donde impera la agricultura de temporal representando el 85% de la superficie agrícola y 15% de agricultura de riego y tecnificada. El DDR – Toluca se encuentra constituido por 23 municipios Almoloya de Juárez, Almoloya del Río, Atizapán, Calimaya, Capulhuac, Chapultepec, Jiquipilco, Lerma, Metepec, Mexicaltzingo, Ocoyoacac, Oztolotepec, Rayón, San Antonio la Isla, San Mateo Atenco, Temoaya, Tenango del Valle, Texcalcayac, Tianguistenco, Toluca, Xalatlaco, Xonacatlán y Zinacantepec (Sarabia, 2011).

Existen algunos estudios en el Distrito entre los que sobresale la investigación realizada por Sarabia en 2011 muestra que a partir del año 2000 se ha presentado una disminución en la productividad en el territorio mexiquense, en el caso del DDR – Toluca entre 1998 y 2008 hubo un descenso generalizado en cuanto a la producción de maíz, el cual se derivó principalmente por dos circunstancias: la disminución de superficie destinada a esta actividad y la ocurrencia de fenómenos meteorológicos que afectaron a los cultivos (principalmente en 2005) tal cual se registra a nivel estatal debido a una intensa sequía que afectó a gran parte del país, lo cual deja en claro que la variación en el clima afecta directamente el potencial y el rendimiento de éste grano.

Un estudio realizado por la Secretaría del Medio Ambiente en 2009 afirma que el aumento de hasta 2°C en la temperatura de la región es benéfico para la producción de maíz y se han reportado incrementos en los rendimientos de la agricultura debido a la reducción de heladas que son las que dañan principalmente a este tipo de cultivos, sin embargo una tendencia de incremento de temperatura puede resultar poco benéfico a mediano y largo plazo como lo

menciona la investigación realizada por Velázquez en 2011 la cual sostiene que el rendimiento del maíz bajo efectos de la variabilidad climática para el año 2030 es completamente benéfico, pero en las tendencias hacia el año 2050 y 2080 ésta aptitud disminuye hasta en un 50% lo cual puede generar problemas de escasez de este grano, sin embargo es importante considerar que un escenario es un supuesto y no condiciona el futuro de un sistema o región, por otro lado los estudios derivados de la variabilidad climática y su relación con la producción agrícola son la base para medir el estado de vulnerabilidad del sistema expuesto al estresor climático y establecer o reforzar medidas de capacidad de adaptación del mismo.

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la vulnerabilidad actual en el sector agrícola ante variabilidad climática en el Distrito de Desarrollo Rural 037- Toluca, Estado de México a través de indicadores. Para lograr el objetivo se plantearon los siguientes objetivos particulares: 1) Determinar las variaciones climáticas en el DDR 037 – Toluca, México en el período de 1980 – 2014, 2) Realizar un análisis longitudinal de la producción de maíz en el DDR 037- Toluca en el período de 1980 – 2014, 3) Comparar el comportamiento de producción de maíz y variabilidad climática de 1980 a 2014, 4) Seleccionar indicadores para crear un índice de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa en la producción de maíz y 5) Evaluar la vulnerabilidad actual del cultivo de maíz en el período de 1980 – 2014 ante variabilidad climática, la hipótesis planteada es que la variabilidad climática afecta de manera negativa a la producción de maíz en el DDR – Toluca.

Esta investigación pretende contribuir a los estudios de vulnerabilidad ya que carece de investigaciones en la zona que la aborden en los sistemas agrícolas y es fundamental realizarlos debido a la importancia que esta actividad representa en cuanto a la economía, cultura y alimentación de la población que la realiza. A su vez el presente documento puede servir como base para la realizar futuras investigaciones que pretendan crear escenarios de vulnerabilidad en la zona.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO – METODOLÓGICO

En el presente capítulo se abordan los aspectos de la vulnerabilidad bajo contexto de la variabilidad climática partiendo de conceptos básicos de la misma a través de los diversos enfoques de los que se ha estudiado, a su vez se describe la evolución del concepto de variabilidad climática así como los componentes de vulnerabilidad y variabilidad del clima con la finalidad de tener una percepción global e integral de éstos y conocer el desarrollo, interacción e impactos de los mismos en los cultivos de maíz.

1.1. Teoría Social del Riesgo

El proceso de desarrollo del hombre lo ha llevado a conceptualizar de manera apropiada elementos vinculados a su hábitat, ambiente y los procesos de interacción entre éstos reconociendo su propia existencia en el mundo, así como los factores que lo pueden poner el peligro, dichas condiciones han cambiado a través del tiempo y su percepción se ha condicionado por la temporalidad y el contexto en el que se encuentre. Para poder entender a la vulnerabilidad hay que abordar al riesgo como un factor condicionante de la misma partiendo del supuesto de que si no existe riesgo no se considera un estado de vulnerabilidad de un sistema expuesto.

El ser humano a través del tiempo ha identificado los factores que suponen un peligro a su integridad personal, social y económica. De acuerdo con Darío (2001), el concepto de amenaza se refiere a un peligro o factor de riesgo externo de un sistema o de un sujeto expuesto, así pues, la terminología y la concepción del riesgo ha variado con el tiempo y con la perspectiva disciplinar desde la cual se aborde, por lo que se le considera como un término complejo. El autor en su trabajo llamado “la necesidad de representar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo” identifica los principales enfoques de éste término dependiendo del contexto en el que se esté tratando, así pues reconoce tres pilares básicos para el desarrollo del riesgo, a saber: las ciencias naturales, las ciencias aplicadas y las ciencias sociales.

El enfoque de las ciencias sociales propone una noción del riesgo socialmente construida, es decir “constructivista” que se obtiene desde la percepción individual, representaciones sociales e interacción de actores sociales. Por otro lado el enfoque desde las ciencias naturales adopta un punto de vista “realista” u “objetivo”, basándose en la hipótesis de que el riesgo

puede ser cuantificado y evaluado objetivamente sin embargo desde el punto de vista de las ciencias sociales el riesgo no debe entenderse exclusivamente como una posible ocurrencia de un fenómeno que pueda ser medido o cuantificado ya que en términos sociales este fenómeno puede tornarse complejo y de difícil cuantificación debido a las condiciones y cualidades individuales de la población, es por esto que el enfoque social ha contribuido a la construcción del conocimiento del riesgo de manera holística. En los países desarrollados se ha dado un énfasis al estudio del riesgo desde el punto de vista de la seguridad social ante hechos que pudiesen afectar su integridad surgiendo planteamientos que afirman que en ocasiones el riesgo puede derivarse de procesos sociales, económicos y políticos no únicamente naturales, aunque pareciera ser el enfoque más completo en ocasiones se ha omitido el impacto y daños físicos en el ambiente y que son esenciales para la estimación de riesgos.

Darío (2001) explica que desde el enfoque de las ciencias aplicadas se propone un concepto de riesgo más completo aunque continúa siendo parcial y las metodologías pocas veces ofrecen estimación de riesgos, un ejemplo de esto está en las evaluaciones de vulnerabilidad física las cuales han dejado de lado la evaluación de riesgo y se han centrado en técnicas de valoración del mismo en contexto económico como los costos de recuperación y tienen una visión restringida de los aspectos sociales, económicos y políticos deberían reflejar estos estudios. De acuerdo con el autor, las diferencias de contextos y metodologías aplicadas al estudio del riesgo ha generado una complejidad al momento de realizarlos, para mejorar esta condición es necesario trascender el antagonismo de “objetivismo” y “constructivismo” y adoptar métodos cualitativos y cuantitativos.

El estudio del riesgo sugiere una teoría derivada de experiencias sociales y aportes multidisciplinarios la cual ha generado estudios de tipo social, físico y sistémico (Martínez, 2009), el concepto del mismo está relacionado con la incertidumbre que el ser humano tiene respecto al conocimiento del futuro como la posibilidad de que existan daños provocados por agentes externos donde el riesgo representa un estado entre seguridad y destrucción y donde esta percepción está determinada por el pensamiento humano y se encuentra condicionado a través de la percepción y racionalidad del hombre para identificar un estado de peligro (Luhmann, 1996 y Beck, 2001). Ante estas afirmaciones ha surgido la “Teoría Social del

Riesgo” la cual surge como una nueva forma social a consecuencia de la modernización e industrialización y por medio de este proceso surge un cambio en la manera de pensar donde se considera a la naturaleza como un almacén de recursos y esto le ha dado un gran peso al riesgo bajo condiciones cambiantes en el sistema natural como es el caso del clima.

La Teoría Social del Riesgo busca explicar las condiciones y factores que intervienen en las estructuras sociales y que pueden afectar de manera significativa su funcionamiento esta teoría afirma que todo riesgo supone una probabilidad de ocurrencia y se puede abordar desde la perspectiva económica la cual calcula la cantidad de riesgo como característica de un evento y la perspectiva del individuo ante el peligro, la cual enfoca al riesgo a través de los individuos afectados y resulta subjetiva debido a la interpretación individual (Andrade y Laporta, 2009), la teoría establece cuatro dimensiones básicas para su estudio, a saber: a) Peligrosidad: se refiere a los aspectos físicos del evento o al proceso natural desencadenante y cuanto más se conozcan mejor se les podrá interpretar; b) vulnerabilidad social: hace referencia al estado antecedente de los grupos sociales involucrados y sus estructuras sociales que las condicionan para responder a los impactos; c) exposición: engloba los aspectos territoriales y de población así como su distribución; y d) incertidumbre: se refiere a los aspectos no conocidos de las tres dimensiones anteriores los cuales generan incertidumbre que impiden contar con los elementos de juicio para saber lo que puede pasar (Pérez, 2014).

De acuerdo con lo anterior, es fundamental considerar a la vulnerabilidad como un aspecto básico para la estimación de riesgos en donde los fenómenos naturales se pueden manifestar como amenazas cuando se presentan en lugares ocupados por las comunidades, por esta razón algunos especialistas han promovido el estudio de la vulnerabilidad permitiendo ampliar éste tipo de proyectos a ámbitos multidisciplinarios (Martínez, 2009; Darío, 2001), de acuerdo a esto uno de los fenómenos que ha impactado a la población y sus actividades productivas en los últimos años es el cambio climático, la vulnerabilidad bajo contexto de riesgo ante el cambio en el clima se define como la “probabilidad de que confluyan condiciones económicas, sociales o ambientales perniciosas, por un período determinado y bajo amenaza específica a la que las personas y sus bienes están expuestos y puede ser considerado como un problema de gestión, donde los cambios de temperatura y precipitación resultan del incremento en la concentración de Gases de Efecto Invernadero intensificados a raíz del

proceso de industrialización y modernización” (Magaña, 2013). El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2011) señala a través de sus informes que “algunos de los riesgos del cambio tecnológico están enraizados en el comportamiento humano y la organización social” por lo que se analizan los daños a la salud humana y al ambiente (Albarracin, 2002), de esta manera se observa un avance en los últimos años en cuanto a la integración de enfoques tanto sociales como naturales para obtener resultados que resulten beneficiosos tanto para la población como para el ambiente y que al final es el objetivo de la sustentabilidad.

1.2. Vulnerabilidad

El concepto de vulnerabilidad fue usado principalmente en los campos de desastres o peligros y ha sido estructurado por diversos componentes que han afectado áreas tanto físicas como sociales e ideológicas, las interacciones entre fenómenos naturales con los sistemas sociales presentan una dinámica correlacional donde todos los componentes están en permanente cambio, de la misma manera la vulnerabilidad ha sido comparada con otros conceptos como riesgo o adaptación, sin embargo se ha aceptado como un término independiente ligado a factores sociales, naturales, económicos y políticos así como a los riesgos a los que se expone una población cambio (Tao y otros, 2011; Martínez, 2009).

La vulnerabilidad también puede expresarse como la sensibilidad que presentan las personas, los sistemas económicos y ecosistemas de ser afectados por un fenómeno externo, de acuerdo con y la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (2004) se trata de una condición determinada por procesos físicos, sociales, económicos y ambientales que aumentan la susceptibilidad de una comunidad al impacto de las amenazas, es decir se trata de un factor de riesgo en el que el elemento expuesto puede ser predispuesto a ser afectado y encontrar dificultades para recuperarse (Monterroso, 2012; Magaña, 2013).

La vulnerabilidad está relacionada con los conceptos de amenaza entendida como el potencial que tiene un fenómeno natural o humano de causar daño, el riesgo que es la probabilidad de que una población vulnerable sufra daños a consecuencia de un fenómeno natural o antropogénico y el peligro que se expresa como una condición en el tiempo o clima derivado

de la probabilidad de que ocurra un fenómeno meteorológico que presente efectos negativos en un sistema tanto natural como humano (IICA, 2013; Magaña, 2013).

En términos generales, la vulnerabilidad es un concepto que se adapta a diferentes contextos, se puede hablar de vulnerabilidad de un sistema ante peligros, amenazas o efectos de procesos económicos, políticos, sociales o naturales. Debido a este amplio rango de posibilidades resulta complicado entenderla y estudiarla en su totalidad, sin embargo, en los últimos años se ha observado un esfuerzo en la comunidad científica por establecer marcos y metodologías de estudio relacionados a la misma.

En el contexto de cambio climático, la vulnerabilidad constituye un factor de riesgo que expresa la factibilidad de que un sujeto o sistema sea afectado por un fenómeno considerado como amenaza donde el riesgo corresponde al potencial de pérdidas como resultado de la convulsión de la amenaza con la vulnerabilidad la cual surge de la experiencia humana en situaciones donde existan condiciones que hagan frágil el desempeño de ciertos grupos sociales que dependen del desarrollo y la capacidad de adaptarse a determinadas circunstancias, de acuerdo con esto la vulnerabilidad social en éstas condiciones está vinculada al clima, geografía e infraestructura con la que cuente (Cardona, 2001; IICA, 2013), en términos generales se define a la vulnerabilidad ante cambio climático como el “nivel al que un sistema es susceptible o no es capaz de soportar los efectos adversos del cambio climático, incluida la variabilidad climática y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad está en función del carácter, magnitud y velocidad de la variación climática al que se encuentra expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación” (IPCC, 2001),

El tema de la vulnerabilidad bajo condiciones de cambio y variabilidad climática ha tomado relevancia en los últimos años debido a los impactos que ha tendido sobre el ambiente y el ser humano, es por eso que ha crecido la necesidad de estudiarla y evaluarla, de acuerdo con esto existen tres elementos que son necesarios para estudiar a la vulnerabilidad, a saber: a) exposición: medida en que un sistema está expuesto a variaciones en el clima, se caracteriza por la frecuencia, duración y extensión de un evento climático así como las características del sistema; b) sensibilidad: nivel intrínseco en el que un sistema resulta afectado negativa o positivamente por cambios en el clima (IPCC, 2007; IICA, 2013); y c) capacidad adaptativa:

capacidad que tiene una comunidad o sistema para hacer frente a los cambios climáticos y a la variabilidad climática así como de minimizar los posibles daños y maximizar las oportunidades resultantes del evento (IPCC, 2001).

1.3. Cambio y variabilidad climática

Hoy en día se sabe que el cambio climático es resultado de los procesos de modernización y globalización y muchas organizaciones internacionales como el IPCC aseguran que es inequívoco como evidencia de las observaciones de temperaturas globales.

Antes de hablar de cambio climático, es fundamental tener en claro el concepto de clima y su funcionamiento. El clima es el conjunto de fenómenos meteorológicos tales como las temperaturas medias, precipitaciones o vientos dominantes que caracterizan una región específica durante un período de muchos años, típicamente 30 años y para poder evaluarlo existen dos variables principales: a) Temperatura: es una variable que define los climas cálidos y fríos, y b) Pluviometría: es la que distingue a los climas húmedos de los secos. El clima varía a través del tiempo debido a eventos naturales como las explosiones en la superficie solar que incrementan la energía y radiación así como las actividades humanas como resultado del crecimiento exponencial de la población, niveles de consumo y producción de la misma que liberan una gran cantidad de Gases de Efecto Invernadero incrementando la temperatura media del planeta, el desarrollo tecnológico, uso de combustibles fósiles, cambios de usos de suelo y actividades en el sector agropecuario las cuales han acelerado el proceso de cambio (Conde, 2006; Marguin y otros, 2008; IICA, 2013).

El cambio climático es definido como una variación estadística que persiste en un período de tiempo prolongado y se puede deber a procesos naturales internos o externos, así como el cambio en el clima atribuible 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 periodos de tiempo comparables (IPCC, 2007), pese a las definiciones aceptadas universalmente para este fenómeno existen propuestas en la comunidad científica que argumentan que dichos términos hacen referencia a cambios bruscos en el clima por lo que advierten que se trata de una variación en los componentes climáticos como es la

modificación de la temperatura y precipitación durante un lapso de tiempo sin embargo no reflejan como ni cuánto han cambiado (IICA, 2013). Estas variaciones en el clima han existido siempre sin embargo actualmente existe un cambio sin precedentes que surgió a mediados del siglo XX cuando se empezaron a observar variaciones en los valores medios de algunos parámetros como la reducción de la frecuencia de ocurrencia de noches y días fríos o en contraposición el aumento en la frecuencia de ocurrencia de noches y días cálidos, olas de calor y lluvias intensas (Marguin y otros, 2008; Otero, 2013), de ahí surge el término de variabilidad climática, el debate entre autores surge del supuesto de que algunos sostienen que la variabilidad climática conforma en su conjunto al cambio climático del que se habla en la actualidad mientras que otros argumentan que éste proceso es un resultado de los cambios en el clima a nivel global.

El IPCC (2001) define a la variabilidad del clima como “las variaciones en el estado medio y otros datos estadísticos (como las desviaciones típicas, la ocurrencia de fenómenos extremos, etc.) del clima en todas las escalas temporales y espaciales, más allá de fenómenos meteorológicos determinados. La variabilidad se puede deber a procesos internos naturales dentro del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones en los forzamientos externos antropogénicos (variabilidad externa)”. Para fines de la presente investigación se toma el término de variabilidad climática como consecuencia del cambio climático debido a que se ha comprobado que la modificación de la precipitación es resultado del incremento de fenómenos naturales extremos como son los huracanes y ciclones, por otro lado, los aumentos en la temperatura son resultados del efecto invernadero desencadenado por la presencia de GEI en la atmósfera.

1.4. La agricultura y variabilidad climática

La agricultura es la empresa más importante de todas las épocas y es una parte integral en la vida de los seres humanos ya que provee alimentos y materias primas para la producción de vestido, vivienda, combustible, medicamento y medios de subsistencia. Esta actividad inició hace aproximadamente 10,000 años en regiones como Mesopotamia, Nueva Guinea, China, Mesoamérica y los Andes, la transición del hombre cazador y recolector a agricultor constituyó un largo camino de adaptación y es uno de los logros más significativos de la humanidad (PNUMA, 2008; De la Isla, 2009).

Para el caso de Mesoamérica que comprende parte de México, Guatemala, Belice, El Salvador, Honduras, Nicaragua y Costa Rica la agricultura inició con diversas variaciones en montañas, área de sotavento, barlovento y altiplanicies, sin embargo, el más fuerte se desarrolló en zonas semiáridas y a orillas de los ríos mediante sistemas de cultivo. Los pueblos prehispánicos en esta zona establecieron cinco áreas influenciadas por el desarrollo agrícola: Valle de México, llanuras de Cholula y Tlaxcala, la Mixteca y los valles centrales de Oaxaca y llanura de Guatemala, de esta forma se destaca la región por su intensa actividad productiva y así se da el nacimiento cultural y elementos formativos del territorio. En la actualidad existen dos tipos de agricultura: de riego y de temporal, la primera se refiere a la práctica bajo sistemas y tecnologías que controlan el suministro de agua para riego y retención en suelos mientras que la de temporal depende directamente de las condiciones de temperatura, precipitación y humedad presentes en la región donde se desarrolle (INEGI, 2009).

México es considerado como un país tradicionalmente agrícola y actualmente cuenta con 30 millones de hectáreas potenciales para cultivos lo que corresponde al 15% de la superficie total del territorio y de las cuales se cultivan cerca de 20 millones de hectáreas que representan el 70% de la superficie agrícola en donde predominan los cultivos de maíz, soya y algodón (Rodríguez y González, 2007; De la Isla, 2009; IMTA, 2013). En el caso del tipo de agricultura, en México predomina la de temporal, sin embargo, la productividad bajo riego es 300% mayor contribuyendo con un 53% del valor total de la producción cosechada, mientras que las de temporal contribuyen con 47%, siendo la agricultura de temporal la más importante en términos de productores y superficie cultivada. En general el sector agropecuario mexicano contribuye con aproximadamente el 3.8 del Producto Interno Bruto (PIB) y ocupa la quinta parte de la población económicamente activa (IMTA, 2013).

En los últimos años la producción por unidad de superficie ha aumentado en la mayor parte de los cultivos en el país, pero existe la preocupación de que este crecimiento se vea afectado por la intensificación del cambio y la variabilidad climática sobre todo bajo condiciones de temporal. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2015) señala que la variabilidad del clima y el cambio climático plantean múltiples dificultades, reducen la productividad y la producción de alimentos y aumentan las sequías,

inundaciones, huracanes, acidificación de océanos y en el mar, no solo ponen en peligro la vida de las personas, sino que amenazan sus futuros medios de subsistencia como es el caso de los cultivos. En este sentido, los grupos de población más vulnerables son los que se dedican a actividades agropecuarias que constituyen cerca del 80% de la población pobre del mundo y a su vez son los más afectados por los cambios en el clima y su capacidad para ganar sustento por medio de sus actividades en el sector primario se encuentra gravemente amenazada (IMTA, 2013; FAO, 2015). Este tipo de población ya ha comenzado a sufrir los impactos del cambio climático en su vida cotidiana y los más afectados de este grupo han sido los agricultores ya que la actividad está ligada a las condiciones del clima por lo que se considera que ningún otro sector es más sensible a dicho fenómeno y este sector absorbe aproximadamente el 22% de las consecuencias económicas en países en desarrollo derivadas de amenazas naturales como es el caso de la variación de la precipitación (Conde, 2000; IICA, 2013; IMTA, 2013).

En el mundo, cerca de 75% de las personas pobres padecen inseguridad alimentaria y debido al aumento de la población se estima que para el año 2050 la producción de alimentos tendrá que aumentar un 60% para satisfacer las necesidades alimenticias de la población, a consecuencia de esto el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (2014) asegura que el rendimiento de los cultivos ya puede estar en disminución y para el año 2050 puede haberse generalizado una reducción del 10 al 25% e incluso más y de acuerdo con este escenario existe la posibilidad de no poder atender las necesidades alimenticias de gran parte de la población pobre en el mundo (IPCC, 2014; FAO, 2015), como resultado de las proyecciones elaboradas por diferentes organizaciones a nivel mundial la FAO establece algunas medidas para abordar las consecuencias del cambio climático como es la elaboración de evaluaciones de efectos y vulnerabilidad relacionados con el cambio climático en el sector primario ya que éstas proporcionan información fundamental para la planificación y el desarrollo de estrategias de adaptación, el fomento de una mejor gestión de recursos naturales, la mejora en las predicciones meteorológicas y climáticas y la mejora en la capacidad de gestión de desastres (FAO, 2014; 2015).

1.4.1. Vulnerabilidad ante variabilidad climática en la agricultura

En la actualidad no queda duda que la temperatura global del planeta está cambiando y los regímenes de lluvia se están viendo alterados teniendo consecuencias no favorables en la mayoría de los sistemas naturales y humanos. Uno de los principales impactos que ha atraído la atención de muchas áreas de investigación son los relacionados a los sectores productivos, especialmente en las actividades agropecuarias que en la actualidad enfrentan circunstancias adversas como resultado de la variabilidad climática y para recuperarse de los daños ocasionados se requiere de varios años (Magaña, 2004; Conde, 2006; Giménez y Lanfranco, 2009).

Con la profundidad de las investigaciones sobre el cambio climático, el contexto de vulnerabilidad ha tomado mucha importancia donde la agricultura se encuentra en un contexto de alta vulnerabilidad por lo que su cuantificación es significativa para la formulación de estrategias de adaptación. La vulnerabilidad que se presenta en los sistemas agrícolas se puede definir como resultado de la medición de la variabilidad climática dentro de un contexto de vulnerabilidad social que ha ido agregando conceptos e indicadores que enriquecen y complementan el análisis de la seguridad alimentaria (Hernández *et al*, 2014).

Las primeras investigaciones sobre vulnerabilidad agrícola aparecieron en China donde se desarrollaron las primeras metodologías para evaluar a la vulnerabilidad y consistían en: 1) determinar la vulnerabilidad de los campos de cultivo con indicadores de temperatura y precipitación asociados al crecimiento de los cultivos; 2) conocer capacidad de adaptación enfocados en la exploración de las respuestas del sistema ante los daños y 3) habilidad de mitigación del sistema afectado (Tao y otros, 2011).

Actualmente existe una creciente en los esfuerzos de organizaciones y la comunidad científica para establecer medidas de mitigación y estrategias de adaptación en el sector rural ante cambios en el clima en donde la vulnerabilidad tome un partido importante en la parte social y ambiental. Algunos de los estudios utilizan métodos de proyección y cuantificación, por ejemplo, Kwado y Asantewaa (2015) analizaron la vulnerabilidad social, impactos y adaptación en un contexto de cambio climático en las comunidades rurales de Ghana, donde

realizaron una recolección de datos a través de cuestionarios y entrevistas de 196 amas de casa en 14 comunidades rurales y utilizaron seis indicadores demográficos sociales y económicos para determinar la vulnerabilidad social. Cada indicador fue estandarizado como un índice de acuerdo con la metodología propuesta por Hahn y Schipper (2009) mediante el uso de ecuaciones matemáticas que permitieron medir y crear un índice de vulnerabilidad social. Su trabajo determinó que la zona de estudio es la más vulnerable ante cambio climático derivado de factores como educación, fuentes de ingreso, falta de acceso a la información, entre otros.

Uno de los países que sobresale en cuanto a investigaciones de vulnerabilidad agrícola y social es España debido a los efectos que ha tenido el cambio climático en su país que se encuentra ubicado en la región del Mediterráneo la cual se considera altamente vulnerable debido a la distribución no balanceada de sus recursos naturales y las demandas de la población (Vargas y Pindado, 2013) lo cual ha llevado a la creación de iniciativas que integran elementos políticos y socioeconómicos para cuantificar y ubicar las zonas más vulnerables. Los estudios realizados en dicho país se enfocan en la vulnerabilidad socioeconómica en el sector rural, para el caso de Armenia el uso de indicadores climatológicos fueron recolectados de 47 estaciones meteorológicas para el período de 1966 a 2010, también se utilizó información de daños causados por desastres naturales a través del uso de indicadores de productividad agrícola utilizando expresiones matemáticas para determinar proyecciones meteorológicas y calcular índice de exposición y sensibilidad con los cuales se demostró que ha existido un incremento en la temperatura lo cual ha propiciado que existan condiciones no favorables para el desarrollo de la agricultura asociados a falta de agua, lo que pone como manifiesto el riesgo que representa para la estabilidad económica de la población (Melkonyan, 2014; Kwado y Asantewaa, 2015).

Estas investigaciones ponen como manifiesto la importancia que tiene el uso de indicadores numéricos que permiten medir y evaluar las condiciones naturales y socioeconómicas de una región y la población debido a esto los métodos econométricos han sido los más utilizados para el establecimiento de índices de vulnerabilidad actual y futura en diferentes sectores. Medir la vulnerabilidad actual permite establecer escenarios a través de modelos, en este sentido Mitter y otros (2014) crearon un modelo para evaluar la vulnerabilidad agrícola en

comunidades de Australia para poder cuantificar los impactos y la vulnerabilidad agrícola con indicadores económicos y así poder identificar la producción de los cultivos para la adaptación y la incorporación de factores políticos que favorecen la producción agrícola para establecer medidas de adaptación a través de la combinación de un modelo de cambio estadístico en el período de 2010 -2014, un modelo de rotación de cultivos, un modelo de política ambiental y de optimización económica.

Para el caso de México también se han realizado estudios relacionados con el cambio climático y la agricultura donde se han establecido escenarios de cambio climático derivados de metodologías propuestas por el IPCC que utilizan modelos ECHAM5, HADGEM1 y GFDL CM2.0 para la temperatura y precipitación mensuales para los horizontes 2030 y 2050 y escenarios de emisiones A1B, A2, B2 y B1 (Conde y otros, 2011). Este tipo de estudios están basados en el análisis de variables proyectadas y uso de cartografía automatizada para la interpretación, sin embargo, no consideran factores sociales ni económicos que intervienen en el proceso y su finalidad es conocer la situación de los cultivos a futuro dejando a un lado el fortalecimiento de la capacidad adaptativa.

Por otro lado, se han realizado estudios enfocados en evaluar la aptitud agrícola ante escenarios de cambio climático enfocados en la fenología de los cultivos y su respuesta ante dichos cambios. Para el caso del maíz en México existe una investigación donde se aplicó un método que comparación entre factores limitantes para el desarrollo del maíz con variables climatológicas de temperatura y precipitación que favorecen el desarrollo del cultivo y así obtener zonas potenciales de distribución que categorizaron a las mismas en cuatro niveles: apto, moderadamente apto, marginalmente apto y no apto. Los resultados muestran que un 63.1% de la superficie nacional presenta condiciones aptas mientras que 25.1% y 31.6% hay condiciones moderadas y marginales respectivamente. De acuerdo con los resultados obtenidos se concluye que las condiciones naturales en el país para el cultivo de maíz serán más restrictivas hacia el 2050 por lo que es urgente la aplicación de medidas de adaptación (García y otros, 2012).

Las investigaciones más sobresalientes respecto a la vulnerabilidad a nivel regional han aplicado métodos de proyección, por ejemplo Ojeda y otros (2011) estudiaron el impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos basándose principalmente en los componentes del ciclo hidrológico como la evapotranspiración y la precipitación usando proyecciones de cambio climático para escenario de emisiones A1B establecido por el IPCC, en el Distrito de Riego de Río Fuerte, Sinaloa utilizando datos de 2011 – 2098 a través de técnicas de reducción de escala con datos de modelos. Por su parte, Mendoza y otros (2013) realizaron un diagnóstico para determinar los cambios climáticos futuros y sus efectos en la agricultura del estado de Chihuahua, donde trabajaron con datos de 40 estaciones meteorológicas utilizando datos de temperatura y precipitación en el período de 1961 – 1990. El análisis consistió en clasificar el clima por el método de Köppen y para la obtención de proyecciones a 2020, 2050 y 2080 por medio de un modelo y escenarios A1 y B1 del IPCC, esta investigación se limitó únicamente al uso de indicadores meteorológicos y no consideró los aspectos socioeconómicos de la población.

En general diversos estudios han dado a conocer con sus resultados que las zonas más vulnerables actualmente y a futuro son las que presentan condiciones de aridez extrema por ejemplo en la región centro – norte donde se limita la producción agrícola por la poca disponibilidad de agua y esta actividad se realiza bajo condiciones de temporal, en este sentido Pineda y otros (2013), realizaron una investigación en el estado de Zacatecas con la finalidad de analizar la sustentabilidad de los sistemas de producción agrícola a través de índices de sostenibilidad productiva y suficiencia alimentaria, sin embargo las regiones cálidas y áridas no son las únicas que pueden ser consideradas como vulnerables derivados de eventos extremos como las sequías, las regiones templadas y frías también pueden considerarse vulnerables. Ante esta situación Barrett y Esquivel (2013) realizaron un estudio de variabilidad en precipitación y temperatura y sus resultados muestran severas anomalías en cuanto a precipitación, presión, viento y temperatura y su durabilidad, frecuencia y severidad, en algunos casos se muestran aumentos de temperatura significativos y condiciones que pueden ser no favorables para las comunidades rurales y sus actividades económicas, como es el caso de la agricultura.

En general, los estudios realizados en México muestran que la variabilidad en el clima está afectando a la mayor parte del territorio, los aumentos en la temperatura y las anomalías en la precipitación influyen de manera negativa en la mayor parte del país sobre todo en los cultivos de temporal, de acuerdo con esto es importante considerar reforzar este tipo de investigación a nivel región considerando aspectos climáticos y socioeconómicos de la población partiendo de estudios que permitan conocer las condiciones de vulnerabilidad actual y posteriormente utilizar modelos que permitan establecer escenarios y de esta forma establecer estrategias de adaptación o mitigación según sea el caso, las investigaciones también muestran que para poder cuantificar la vulnerabilidad es indispensable el uso de variables cuantitativas e indicadores que puedan ser aplicados a través de métodos matemáticos y posteriormente espacializados, de esta manera se pueden detectar las zonas que presentan mayor vulnerabilidad y los aspectos que intensifican a la misma.

1.4.2. El maíz (*Zea mays*) y la variabilidad climática

El maíz es uno de los principales cultivos a nivel mundial, de acuerdo con la FAO en los últimos 11 años se han producido en promedio 630.3 millones de toneladas del grano, superando a cultivos como el arroz, trigo y soya por lo que este grano es de suma importancia en diversos sectores económicos. Los países industrializados lo utilizan como forraje, materia prima para la producción de etanol, entre otros, por otro lado, en los países en desarrollo como los de América Latina y África se produce para el consumo, siendo un factor de supervivencia para campesinos e indígenas. En México se reconocen importantes valores culturales, simbólicos y espirituales en torno al maíz arraigados entre la población, siendo este grano la base de la alimentación y cultura del pueblo mexicano y es considerado como un insumo clave para el desarrollo rural, combate a la pobreza y motor de crecimiento económico y de competitividad (Serratos, 2009; Soria y Sotelo, 2010).

En México existen 59 razas y miles de variedades reconocidas que se han adaptado a las diferentes condiciones climáticas y se les han dado diversos usos, sin embargo, las proyecciones del clima obligan a estudiar el posible comportamiento de este cultivo y sus relaciones con la población dependiente del mismo. Las entidades federativas con mayor producción de maíz tanto en modalidad de riego como de temporal son: Sinaloa, Jalisco,

México, Chiapas, Michoacán, Guanajuato, Guerrero, Veracruz, Puebla y Chihuahua (Sarabia, 2011; Ahumada y otros, 2014). El cuadro 1 muestra la clasificación taxonómica del maíz.

El maíz como cualquier otra planta depende de las condiciones agroecológicas para su desarrollo (cuadro 2) y debido a su naturaleza se han originado variedades genéticas de gran adaptación en el tiempo y el espacio. En su mayoría el maíz se cultiva desde los 58° de latitud al norte en Canadá y Rusia, hasta los 40° de latitud sur en Argentina, así como a altitudes que oscilan entre los 3,200 y 3,600 msnm. El maíz requiere disponibilidad de radiación solar, agua y nutrientes para su crecimiento y supervivencia, al incrementarse la temperatura se producen problemas como el incremento de la respiración y la disminución de la fotosíntesis, así como la reducción de las etapas de desarrollo y de su ciclo fenológico, mientras que las bajas temperaturas detienen o reducen su crecimiento y desarrollo (Sarabia, 2011; Ahumada y otros, 2014).

Cuadro 1. Clasificación Taxonómica del maíz

Categoría	Ejemplo	Carácter distintivo
Reino	Vegetal	Planta anual
División o <i>phylum</i>	<i>Tracheophyta</i>	Sistema vascular
Sub- división	<i>Pterapsidae</i>	Producción de flores
Clase	Angiosperma	Semilla cubierta
Sub-clase	Monocotiledóneas	Cotiledón único (<i>Escutelum</i>)
Orden	<i>Graminales</i>	Tallos con nudos prominentes
Familia	Graminae	Grano-cereal
Tribu	<i>Maydae</i>	Flores unisexuales
Género	<i>Zea</i>	Único
Especie	<i>Z. mays</i>	Maíz común
	<i>Z. mexicana</i>	Teocintle anual
	<i>Z. perennis</i>	Teocintle perene
Raza	Más de 300 razas clasificadas	Adaptadas a regiones definidas
Variedades	Polinización libre V-7; Híbridos H-507	Clima frío, caliente y húmedo
Líneas Puras	T2	Interviene en todos los híbridos de clima caliente húmedo en México

Fuente: Sarabia, 2011

Cuadro 2. Requerimientos agroecológicos del cultivo del maíz

Clima	A, Cs, Cf, Do, Dc
Ciclo vegetativo mínimo	80 días
Ciclo vegetativo máximo	356 días
Temperatura mínima	14°C
Temperatura óptima	25°C
Temperatura máxima	30°C
Precipitación mínima	500 mm
Precipitación óptima	800 mm
Precipitación máxima	1,500 mm
pH mínimo	5.0
pH óptimo	6.5
pH máximo	8.5

Fuente: Sarabia, 2011

Durante el ciclo agrícola el maíz requiere tiempo caluroso en el día y templado en las noches, cuando la temperatura es menor a los 10°C en el día y 12°C en la noche el cultivo presenta problemas, generalmente la mayor producción del mundo se logra en lugares donde las temperaturas varían entre los 21 y 27°C libres de heladas entre 120 y 180 días. La necesidad de agua varía según el tipo de grano y etapa fenológica por lo que bajo condiciones de temporal se obtienen buenos rendimientos con lluvias entre los 500 y 800 mm. Por otro lado, los valores mínimos para la germinación, crecimiento vegetativo y floración varían entre los 10 y 20°C y los máximos de los 30 a 40°C por lo que los valores óptimos se encuentran entre los 20 y 30°C y una precipitación de mínimo 300 y máximo 800 mm (Sarabia, 2011).

En los últimos años, el maíz se ha visto amenazado por el cambio y variabilidad climática, los cuales han determinado la producción agrícola y sus consecuencias se han visto reflejadas en el rendimiento de los cultivos. Por ejemplo, en Europa se han incrementado las temperaturas hasta 6°, por lo que los rendimientos del maíz en países como Italia han presentado disminuciones de cerca del 40% y se pronostica que esta tendencia puede ir aumentando dependiendo del incremento en los valores de temperatura y disminución de precipitación, por el contrario, hay lugares que podrían verse beneficiados para el cultivo del maíz, como es el caso de Brasil. Debido a la importancia que tiene el maíz para diversos procesos productivos y alimenticios la posibilidad de que se vea afectada la producción del mismo ha atraído el interés de autoridades y científicos y algunos afirman que para el año

2030 el rendimiento del maíz disminuirá en algunas regiones como es el caso de Sudáfrica y Egipto mientras que para el 2050 se alcanzarían rendimientos muy bajos en China y la India (Tao y otros, 2011; Ahumada, 2014).

Para el caso de México que es uno de los principales productores de maíz a nivel mundial la FAO argumenta que de acuerdo con algunas proyecciones hacia el año 2030 y 2050 disminuirá la superficie apta para el cultivo, derivado de esto se han intensificado las investigaciones relacionadas con la variabilidad climática y el maíz destacando Sinaloa y Jalisco en el cual éste último ha proyectado un incremento en la superficie no apta para el cultivo de entre 60 y 90% en la zona centro, norte y este del estado. Por otro lado, algunas de las zonas del centro de Guanajuato y Querétaro podrían no tener posibilidades de mantener sus cultivos debido a la reducción de precipitaciones pronosticadas hacia el año 2050, caso contrario ocurre para el estado de Durango donde se prevé un aumento de precipitación hacia el 2020 lo cual podría beneficiar a la agricultura (Magaña, 2010; Ahumada y otros, 2014).

Para el caso de Jalisco de acuerdo con Ahumada y otros, (2014), se ha proyectado un incremento en la superficie no apta para el cultivo de entre 60 y 90% en la zona centro, norte y este del estado. Por su parte, Magaña (2010) reporta que algunas de las zonas del centro de Guanajuato y Querétaro podrían presentar pocas posibilidades de mantener los cultivos de maíz debido a la reducción de precipitaciones pronosticadas para el año 2050, al contrario de Durango en el cual es probable que haya un aumento significativo en la precipitación hacia el año 2020 y podría ser benéfico para dicho cultivo.

De acuerdo con algunas investigaciones en México se puede concluir que las zonas más afectadas por la variabilidad climática se encuentran en regiones agroecológicas de latitudes medias, por otro lado, las altas temperaturas de las regiones semiáridas y áridas podrían presentar una disminución de la superficie agrícola cosa contraria a las latitudes templadas donde este incremento podría generar un aumento de dicha superficie siempre y cuando éste no sea mayor a 3°C. En el caso de los valles altos la reducción de heladas y aumentos de temperatura pueden beneficiar el rendimiento y superficie óptima del maíz (IPCC, 20017; Ahumada y otros, 2014). Los escenarios muestran que para algunas zonas la variabilidad en el clima podría suponer una amenaza y para otras una oportunidad para los cultivos del maíz,

derivado de esto crece la importancia de realizar estudios donde se evalúen las condiciones de vulnerabilidad en los cultivos y la población dependiente considerando aspectos naturales, socioeconómicos y políticos para conocer el estado actual y proyectar escenarios que permitan detectar los aspectos que incrementan la severidad en la vulnerabilidad.

1.5. Evaluación de vulnerabilidad ante cambio y variabilidad climática

La evaluación de la vulnerabilidad ha sido un tema de interés en los últimos años especialmente cuando se habla de los impactos de la variabilidad climática en los cultivos. Pese a los diversos estudios realizados en el mundo en este tema aún no se ha concretado un marco metodológico formal para realizar este tipo de investigaciones, sin embargo, las contribuciones que ofrecen los diferentes autores proveen métodos y enfoques para evaluarla y así establecer índices que cuantifiquen la severidad de la misma a nivel regional. Algunas de las aproximaciones metodológicas sostienen y concuerdan en que el primer paso para elaborar este tipo de estudios consiste en elaborar un diagnóstico inicial que responda preguntas básicas como ¿a qué es vulnerable?, ¿quién o qué es vulnerable? y ¿por qué es vulnerable? y donde se reconozca la importancia de la vulnerabilidad como un evento clave para estimar impactos del cambio climático y así reconocer la medida en que un sistema es vulnerable. El segundo paso es contar con el conocimiento del objeto de estudio y su dinámica a través del tiempo y de los factores de riesgo que general el estado de vulnerabilidad para encontrar elementos que puedan cambiarse mediante estrategias de adaptación, a su vez es necesario identificar los peligros a los que se encuentra expuesto un sistema para estimar el grado de peligrosidad con ayuda de información meteorológica sin embargo es importante considerar que la vulnerabilidad tienen más connotaciones que los factores climatológicos y sus impactos no solo se deben a los cambios en el clima sino también a otros factores que han determinado el modelo de desarrollo seguido hasta ahora por lo que hay que considerar las acciones humanas (Monterroso, 2012; Magaña 2013).

Las primeras aproximaciones en cuanto a la vulnerabilidad asociada a cambios en el clima son: a) vulnerabilidad de la mujer y la inseguridad alimenticia, b) vulnerabilidad ante amenazas, c) ecología humana, d) presión y respuesta, e) vulnerabilidad ante cambio y variabilidad climática, f) vulnerabilidad ante pobreza y g) vulnerabilidad de los sistemas

sociales y ecológicos (Tao y otros, 2012). Derivado de estas primeras aproximaciones se han generado modelos conceptuales para estudiar la vulnerabilidad y riesgo ante cambio y/o variabilidad climática, de acuerdo con Mendoza (2012) son:

1. *Modelo de Gestión Social del Riesgo*: este modelo ha servido como marco conceptual para el Banco Mundial como estrategia para diseñar e implementar políticas para reducción de riesgos, a través de tres estrategias: prevención, mitigación y manejo de riesgo.
2. *Modelo de presión y recuperación*: aquí se muestra que el riesgo no debe ser analizado sólo considerando las amenazas, sino también considerando la vulnerabilidad creada por la sociedad como es la situación política y socioeconómica de la población. En este modelo se sostiene que los desastres son producto de la generación de la vulnerabilidad y ocurrencia de una amenaza.
3. *Medios de vida y vulnerabilidad*: en este modelo se sostiene que la vulnerabilidad está asociada a la economía y a la protección social.
4. *Vulnerabilidad Global*: en este sentido la vulnerabilidad es un concepto global que puede ser explicado en términos físicos, sociales, económicos, ambientales y culturales, determinados por factores institucionales, científicos y políticos. Una de las limitaciones de este modelo es que es difícil establecer una línea divisoria entre cada uno de los tipos de vulnerabilidad, sin embargo, su importancia radica en la posibilidad de incluir un conjunto de acciones concretas considerando cada tipo de vulnerabilidad.
5. *Vulnerabilidad como resultado de la exposición, fragilidad y resiliencia*: este es uno de los modelos más aceptados por un grupo importante de instituciones: EIRD (2009), DGPM (2006), GTZ (2002), y definen a la vulnerabilidad como “una situación de incapacidad de una unidad social para anticiparse, resistir y recuperarse de los efectos adversos de un peligro” y se explica por tres factores: exposición, fragilidad y resiliencia.

En la actualidad existen a nivel mundial algunas iniciativas relacionadas a la vulnerabilidad como es el Índice de Vulnerabilidad al Cambio Climático (IVCC) de las poblaciones

humanas ante fenómenos meteorológicos extremos y la DARA (organización dedicada a mejorar la calidad y la eficiencia de la ayuda para poblaciones vulnerables afectadas por conflictos, desastres y cambio climático) la cual mantiene el Monitor de Vulnerabilidad Climática como una herramienta para evaluar efectos del cambio climático. En México el Instituto Mexicano para la Competitividad A.C. (IMCO) ha propuesto un Índice de Vulnerabilidad Climática (IVC) como herramienta para medir el nivel de riesgo relacionado a fenómenos climatológicos al que se exponen municipios y zonas metropolitanas del país (Magaña, 2013), sin embargo el sector rural aún no cuenta con un índice que cuantifique la vulnerabilidad de los cultivos y la población que se dedica a las actividades agrícolas bajo condiciones de cambio y/o variabilidad climática y debido a esto es importante aumentar los esfuerzos por trabajar en esta área y conjuntar metodologías que permitan la aplicación de un índice a niveles regionales así como las evaluaciones de vulnerabilidad en dicho sector.

Una evaluación de vulnerabilidad ante cambio y/o variabilidad climática puede realizarse de dos maneras: actual o futura, la primera pretende conocer el grado de vulnerabilidad que se presenta en determinado sistema, a diferencia de ésta, la evaluación futura pretende construir escenarios de vulnerabilidad donde se proyecten las condiciones futuras que la generan, con frecuencia las condiciones de vulnerabilidad se estiman con base a la experiencia de quien las califica de forma subjetiva y debido a la falta de criterios establecidos para su cuantificación hasta ahora no siempre se ha logrado conjuntar elementos físicos, económicos y sociales de manera dinámica lo cual permitiría priorizar acciones de adaptación y darles seguimiento, es por esto que una evaluación debe integrar un sistema donde la información climática y socioeconómica así como las amenazas estén representados a manera de que el tomador de decisiones pueda acceder a la información para desarrollar estrategias de adaptación (Ramírez y Meza, 2012; Magaña, 2013).

1.5.1. Enfoques y métodos para el estudio de la vulnerabilidad

La vulnerabilidad es un concepto que se puede abordar desde diferentes contextos, en general existen dos enfoques conceptuales que van del de “punto final” que relaciona a la cantidad de daño causado en un sistema por evento en particular y el de “punto de inicio” que se refiere al estado que existe en un sistema antes de ser afectado, en este sentido el punto final facilita

las estrategias de mitigación y el punto de inicio las medidas de adaptación, para las evaluaciones de vulnerabilidad el más común es el de punto final ya que mide los impactos del cambio climático y la capacidad de respuesta de un sistema afectado. Por otro lado, los enfoques metodológicos de las evaluaciones de vulnerabilidad van desde el “cualitativo” que se basa métodos inductivos y sustenta la expansión de datos e información a través de la interpretación que parte de la observación, entrevistas, revisión de documentos, discusiones en grupo o evaluación de experiencias, sin embargo este enfoque no es siempre consistente debido a los diferentes puntos de vista de los actores involucrados y el enfoque “cuantitativo” basado en métodos deductivos que acotan la información y la asocia con experimentos diseñados, encuestas, instrumentos de medición estandarizados, entre otros permitiendo la unificación de criterios y la calificación objetiva de la vulnerabilidad es por eso que este enfoque se recomienda para la evaluación y construcción de escenarios en materia de vulnerabilidad y cambio climático (Monterroso, 2012; Magaña, 2013; Ahumada y otros, 2014).

Los métodos y modelos para cuantificar la vulnerabilidad más común son los métodos estadísticos, métodos por indicadores, modelos de simulación y evaluaciones comprensivas y aunque éstas formas de estudio de la vulnerabilidad han sido aplicados en diversos fines aún se encuentran en desarrollo y no se ha podido aceptar o encontrar un método específico para medir y evaluar la vulnerabilidad agrícola. La mayoría de los estudios sobre vulnerabilidad han tomado el enfoque cualitativo como eje dificultando la medición de ésta debido a que ese tipo de investigación se torna subjetiva en el sentido de que los actores que participan activamente proporcionan información basada en su experiencia y perspectiva, por lo que actualmente se está dando un paso de ese tipo de enfoque al cuantitativo utilizando métodos econométricos y por indicadores principalmente (Tao y otros, 2011; Monterroso, 2012; Magaña 2013).

El método por indicadores recurre al uso de variables de interés seleccionados para un grupo de estresores y que permiten evaluar la relación entre las mismas. Estos métodos nacieron en las estimaciones sobre nivel de pobreza y desarrollo y han sido usados a través de información socioeconómica para analizar el nivel de vulnerabilidad social y se dividen en

tres categorías: vulnerabilidad por pobreza esperada (VPE), vulnerabilidad por baja utilidad esperada (VUE) y vulnerabilidad por inesperada exposición al riesgo (VER). Por otro lado, el método por indicadores evalúa a cada uno considerando un grupo o combinación de los mismos para la creación de índices a través de promedios o pesos ponderados. Los indicadores ayudan a ordenar y sistematizar la información para la planificación, evaluación y toma de decisiones, a su vez permiten la construcción de sistemas de información que den cuenta de las características cuantitativas en diferentes ámbitos (Monterroso, 2012; Magaña 2013), éste es el método más utilizado en el tema de evaluar la vulnerabilidad y para fines de esta investigación fue el método seleccionado para realizarla.

Método por indicadores

Hasta el momento se identifican dos formas de calcular la vulnerabilidad a través del método por indicadores, la primera asume que todos los indicadores tienen la misma importancia y se les asignan los mismos pesos, por el contrario, la segunda asigna pesos distintos dada la diversidad de los indicadores que se aplican, en este último se tienen diferentes procedimientos respecto a la asignación de pesos a las variables como el juicio de expertos, análisis de componentes principales, correlación con eventos pasados y la lógica difusa (Monterroso, 2012). De acuerdo con la revisión bibliográfica el análisis de componentes principales es uno de los más utilizado para el establecimiento de índices debido a que es uno de los métodos más sencillos de aplicar, sin embargo, el método por pesos iguales facilita la integración de información más detallada para analizar y evaluar a la vulnerabilidad a través de sus tres dimensiones: exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación. Dada la variedad de procedimientos para realizar la evaluación es difícil establecer cuál es el adecuado sin embargo el investigador seleccionará el método que se ajuste mejor a los objetivos de su investigación, en este caso se optó por el uso del método de pesos iguales.

Para la selección de indicadores es esencial comprender las causas del porqué una región, sector o grupo social es vulnerable a cierto peligro, en este caso se recomienda contar con un compendio de indicadores físicos, económicos y sociales y en el caso de evaluarla bajo cambio climático es conveniente que el indicador describa aspectos del sistema modificables, también considera que debe ser suficientemente sensible para reflejar cambios en el mismo.

Identificar las causas que provocan el estado de vulnerabilidad permite la elaboración de un modelo conceptual que facilite la búsqueda de los datos que van a dar pie a la construcción de los indicadores (Magaña, 2013).

El primer paso para la estimación de la vulnerabilidad es la elaboración de un diagnóstico que permite incorporar los tres factores de la misma para su cuantificación, la finalidad de esto es tener claridad de lo que se está haciendo y cada factor responde a las tres preguntas básicas a las que debe responder la evaluación: 1) vulnerable ¿a qué?, en esta fase se debe reconocer la dinámica de los factores que existen en el entorno y su relación geoespacial con la población permitiendo estimar el nivel de *exposición* al que se encuentra sujeto el sistema; 2) ¿quién o qué es vulnerable?, aquí se deben analizar las condiciones de *sensibilidad* de individuos, regiones, sectores, etc. a partir de la caracterización del objeto de análisis; 3) ¿por qué es vulnerable?, esta es la clave del diagnóstico de la vulnerabilidad ya que implica el análisis de los factores que hacen a los sistemas afectables reconociendo sus *capacidades de adaptación*, en esta parte se integra el concepto de evaluación integrada de la vulnerabilidad donde los indicadores elegidos deben corresponder a las esferas socioeconómicas y biofísicas clasificados en las tres dimensiones de la vulnerabilidad correspondiente a la definición del IPCC: capacidad adaptativa, exposición y sensibilidad (Monterroso, 2012; Magaña 2013).

Dentro de los factores de vulnerabilidad se pueden identificar los de carácter objetivo y otros subjetivos que permiten explicar en quién, cómo y por qué se presenta esta condición, tomando en cuenta las características y condiciones previas que prevalecían en el sistema que se está evaluando. A su vez, se debe considerar el estado físico del sitio, uso, vocación, grado de antropización, biodiversidad, actividades productivas y relaciones espacio – temporales con los fenómenos naturales, por el lado socioeconómico se tiene que analizar la densidad de población, distribución, dinámica demográfica, ingreso de la población, condición social, nivel de escolaridad y acceso a servicios principalmente. (IPCC, 2007; Monterroso, 2012; Magaña 2013).

Dong y otros (2014) proponen un método para evaluar la vulnerabilidad que consiste en primer lugar en determinar las características de cambio climático en la zona de estudio, posteriormente establecer el período de estudio y las ecuaciones que permitan analizar las condiciones climáticas y de los cultivos para poder calcular la exposición, sensibilidad y

capacidad de adaptación de los cultivos y finalmente evaluar la vulnerabilidad y calcular la tendencia de ésta.

Por otro lado, Magaña (2013) sugiere que para construir una cuantificación de la vulnerabilidad las etapas a seguir pueden ser las siguientes:

- 1) Diagnóstico: en esta etapa se establece cual es el objeto de estudio, sea una región, grupo social o sector económico, así como el dominio y la resolución espacial con que puede definirse sus características mediante criterios de selección de escala y capacidad de acción para reducir la vulnerabilidad, en donde se determinen los fenómenos climáticos que han causado o se espera que tengan un impacto negativo y analizar las causas que provocan este estado.
- 2) Modelo Conceptual: consiste en la búsqueda de información que cuantifique los factores de vulnerabilidad y que permita caracterizar las causas, aquí se consultan las bases de datos con información histórica y actual de fuentes oficiales. Posterior a la obtención de los datos crudos se procede a construir indicadores normalizados utilizando operaciones aritméticas simples donde se representen factores físicos, sociales y económicos. Con la tendencia del indicador se analiza si la vulnerabilidad está aumentando o disminuyendo. Una vez realizado lo anterior, los indicadores pueden ser ponderados para obtener un índice de vulnerabilidad y finalmente establecer el nivel de vulnerabilidad en la actualidad, su dinámica y si se pretende hacer proyecciones ver cómo pueden cambiar en el futuro.
- 3) Validación del modelo: en esta última etapa, con base en la dinámica histórica del riesgo se debe mostrar que este modelo explica parte de los impactos observados recientemente, por esto se requiere que se cuente con cuantificaciones de la probabilidad de ocurrencia del peligro por periodos mayores a la duración del fenómeno. Finalmente se pueden proyectar las tendencias de los indicadores de vulnerabilidad mediante un escenario de referencia para considerar acciones de adaptación.

Las propuestas metodológicas de Dong y otros (2014) y Magaña (2013) coinciden en que lo que se debe hacer primero es realizar una caracterización de la zona de estudio tomando en cuenta aspectos naturales y socioeconómicos de la región e identificando los riesgos y

amenazas naturales que afectan a los cultivos y a la población que se dedica a la actividad agrícola. Posteriormente, la realización de un diagnóstico por medio de indicadores que permita cuantificar los elementos de la vulnerabilidad como sensibilidad, exposición y capacidad de adaptación que corresponde a la fase más importante para calcular la medida de vulnerabilidad y las tendencias de la misma. Es importante resaltar que no todas las investigaciones llegan a la parte de proyección de vulnerabilidad, esto depende directamente de los objetivos de cada investigación.

Las etapas metodológicas para evaluar la vulnerabilidad mencionadas en los párrafos anteriores son algunas de las diferentes contribuciones que se han hecho en este campo, sin embargo, el que no exista aún una metodología establecida permite la adopción de diversos métodos dependiendo de las características de la zona de estudio y las necesidades del autor.

1.6. Metodología

De acuerdo con la revisión bibliográfica y retomando otras investigaciones se seleccionó la metodología empleada para la realización de la presente investigación. Los siguientes sub apartados muestran las fases establecidas para la investigación partiendo de las propuestas metodológicas de Monterroso (2012), Magaña (2013) y Ahumada (2014).

Fase I. Caracterización ambiental del DDR 037 – Toluca.

En esta fase se realizó la caracterización del medio físico de la zona de estudio donde se incluyeron la ubicación geográfica, climatología, edafología, fisiografía, usos de suelo e hidrografía, obteniendo productos cartográficos que permitieron conocer las características naturales del Distrito.

Fase II: Diagnóstico actual del DDR 073 – Toluca.

En esta fase se elaboró un diagnóstico actual basado en un análisis retrospectivo de las características climatológicas, el comportamiento de los cultivos de maíz de temporal y las condiciones socioeconómicas de la zona de estudio. El período establecido para realizar los análisis fue del año de 1980 al 2014, así se analizó el comportamiento de la temperatura y

precipitación, así como el de los cultivos de maíz durante 34 años y se obtuvo un panorama de la situación actual de estos parámetros en el Distrito.

Los pasos para realizar el análisis fueron los siguientes:

- a) Determinación de las variaciones climáticas en el DDR 037 – Toluca en el período de 1980 – 2014 a través de las variables de temperatura máxima, mínima y media por día durante el período establecido, así como la precipitación acumulada a través de bases de datos de 18 estaciones meteorológicas de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) con ayuda del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y el Servicio Meteorológico Nacional. La selección de las estaciones se realizó a través de Sistemas de Información Geográfica con el software Arc Gis, con dicha herramienta se delimitó la zona de estudio y se identificaron las estaciones presentes dentro del Distrito. Una vez identificadas se utilizó la base de datos del software Eric 3.2 para identificar aquellas estaciones que tienen información consecutiva durante los 34 años, finalmente se eligieron las estaciones factibles y se realizó el análisis de variabilidad climática.
- b) Análisis longitudinal de la producción de maíz en el DDR 037 – Toluca en el período de 1980 – 2014. En esta parte se realizó un análisis para determinar las condiciones actuales en cuanto a la producción de maíz en la zona a través de datos de la Secretaría de Desarrollo Agropecuario (SEDAGRO) y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SEDAGRO), considerando variables de superficie cultivada de maíz de temporal, rendimientos para el maíz de temporal y valor económico para la producción de maíz de temporal de 1980 a 2014. Este apartado se dividió en dos secciones ya que los datos de maíz de temporal antes de 1999 se encuentran reportados a nivel estado y de ese año en adelante se reportan a nivel municipal, por lo que la primera parte describe el comportamiento del maíz a nivel entidad y la segunda especifica la situación en el Distrito. Finalmente, se generó una base de datos que se procesó a través los softwares de SPSS y Excel los cuales permitieron ordenar y analizar la información para describir el proceso del cultivo de maíz de temporal en la zona de 1980 a 2014.

- c) Comparación del comportamiento de producción de maíz y variabilidad climática en el DDR 073 – Toluca de 1980 a 2014. En esta última fase, se analizaron los datos obtenidos de variabilidad climática y el comportamiento del maíz desde 1980 a 2014 y se conoció la relación que existe entre la producción de maíz y las variaciones en el clima, finalmente se generó un diagnóstico integral del cultivo de maíz de temporal y la relación que tiene con las fluctuaciones de las variables de temperatura y precipitación.

Fase III: Evaluación de vulnerabilidad agrícola actual ante variabilidad climática en el DDR 037 – Toluca.

El método seleccionado para evaluar la vulnerabilidad fue el de pesos iguales a través del uso de indicadores naturales, sociales y económicos. El primer paso fue el tratamiento de los datos donde se seleccionaron los indicadores en función de la exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación, estos datos se organizaron en tablas descriptivas con las siguientes características: a) componente: aspectos generales a evaluar; b) indicador: nombre específico de cada indicador; c) descripción: se describieron las características principales de cada indicador; medida: unidad de medida correspondiente a cada indicador; d) fuente: la fuente de donde se obtuvo la información.

En los indicadores referentes a exposición y sensibilidad se prestó atención al valor máximo de cada indicador ya que éste refleja la máxima severidad, por otro lado, en los de capacidad de adaptación el valor máximo refleja el máximo potencial de capacidad adaptativa. Para hacer los valores comparables entre sí y eliminar las diferentes escalas se utilizó la ecuación 1:

$$Zv = \frac{(Xi - X)}{DS} \quad (1)$$

Dónde:

Z = Valor estandarizado de la variable v

Xi = Valor observado de la variable

X = Valor medio del conjunto de valores i

DS = Desviación estándar del conjunto de valores

Una vez estandarizados los datos se calculará cada uno de los subíndices, normalizando sus distancias a valores de 0 a 100 con la ecuación 2:

$$Ip = \frac{(I_{obs} - \text{mínimo } I)}{(\text{máximo } I - \text{mínimo } I)} \quad (2)$$

Dónde:

I = Subíndice de la variable P

I_{obs} = Valor del subíndice para la región

$\text{mínimo } I$ = Valor mínimo observado del conjunto de valores de I_p

$\text{máximo } I$ = Valor máximo observado del mismo conjunto de valores I_p

El puntaje final en porcentaje se obtendrá al multiplicar los valores normalizados por 100.

El segundo paso consistió en la obtención de subíndices correspondientes a exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación.

Exposición

Para establecer el subíndice de exposición se consideraron tres grupos de indicadores: frecuencia de eventos extremos, problemática ambiental y climatología. Debido a que los datos se obtuvieron para cada municipio fue necesario agruparlos a través de una media aritmética, de esta manera se obtuvieron datos a nivel región. Posteriormente, se estandarizaron los indicadores por medio de la ecuación 1 y una vez estandarizados se integraron de la misma forma (media aritmética) y así se obtuvo un dato homogéneo para cada grupo de indicadores y se construyó el subíndice de exposición (ecuación 3). Por último, se normalizaron sus distancias aplicando la ecuación 2.

$$\text{Subíndice de Exposición} = \text{Frecuencia de eventos extremos} + \text{problemática ambiental} + \text{climatología} \quad (3)$$

Sensibilidad

De la misma manera que en la exposición, para la obtención del subíndice de sensibilidad se utilizaron tres grupos de indicadores, a saber: población, salud y aptitud agrícola. Los datos obtenidos por municipio se agruparon a través de una media aritmética para y se estandarizaron por medio de la ecuación 1 y una vez estandarizados se integraron de la misma forma (media aritmética) para obtener un dato homogéneo para cada grupo de indicadores y construir el subíndice de sensibilidad (ecuación 4). Finalmente se normalizaron sus distancias aplicando la ecuación 2.

$$\text{Subíndice de sensibilidad} = \text{Población} \frac{\text{salud}}{\text{aptitud agrícola}} \quad (4)$$

Capacidad adaptativa

Para el cálculo del subíndice de capacidad adaptativa se consideraron cuatro grupos de indicadores: capital humano, capital social, capital natural y capital financiero.

De la misma manera que el cálculo de los subíndices anteriores, los datos se agruparon a través de una media aritmética, se estandarizaron por medio de la ecuación 1 y se integraron para obtener el subíndice de sensibilidad base (ecuación 5), por último, se normalizaron sus distancias aplicando la ecuación 2.

$$\text{Subíndice de capacidad adaptativa} = \text{capital humano} + \text{capital social} + \text{capital natural} + \text{capital financiero} \quad (5)$$

Evaluación de la vulnerabilidad actual de los cultivos de maíz ante variabilidad climática.

Una vez obtenidos los índices de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa se realizó el análisis de la vulnerabilidad a través del método de pesos iguales, el cual asigna el mismo peso a todas las variables a partir de la suma de los subíndices de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa. Finalmente, se construyó un índice de vulnerabilidad de acuerdo con la ecuación 6:

$$Vulnerabilidad\ base = \frac{exposición+sensibilidad}{capacidad\ adaptativa} \quad (6)$$

Una vez obtenido el índice, se construyó una tabla para jerarquizar el grado de vulnerabilidad por municipio y en la zona de estudio, el rango de valores quedó dividido de acuerdo con los siguientes criterios con base en la propuesta de Monterroso (2012).

0-20: Muy baja vulnerabilidad

21-40: Baja vulnerabilidad

41-60: Media vulnerabilidad

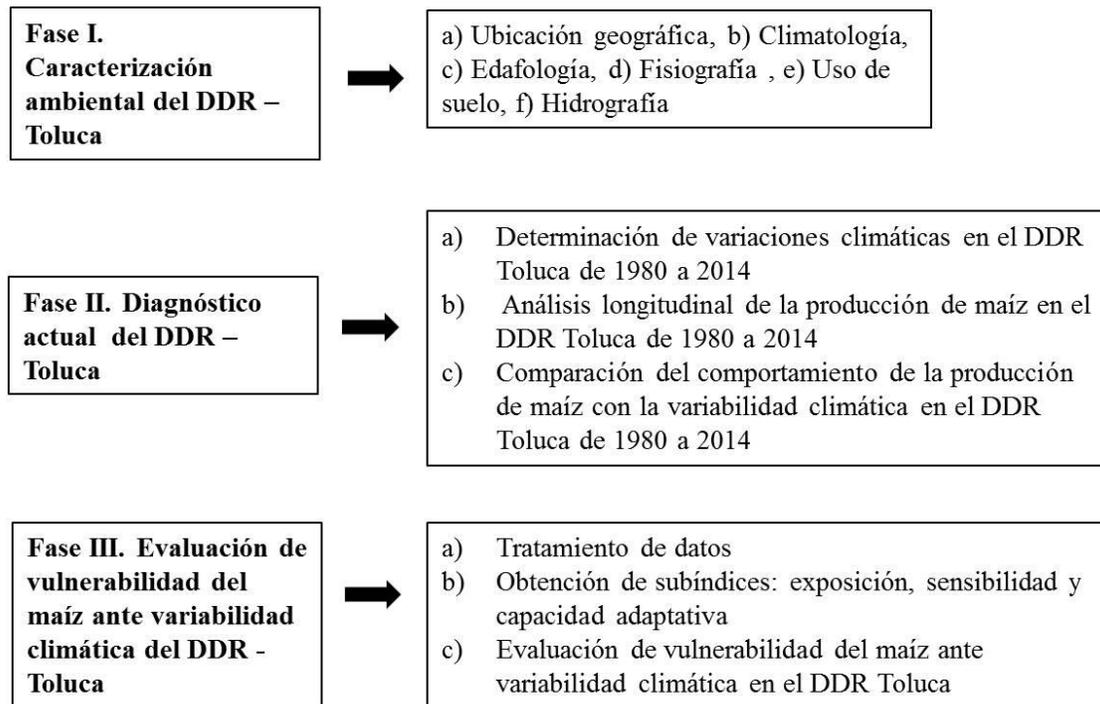
61 – 80: Alta vulnerabilidad

81 – 100: Muy alta vulnerabilidad

Esquema metodológico

Finalmente, de acuerdo con la metodología descrita en este apartado se muestra un esquema metodológico tomando como base de referencia algunos aspectos de la propuesta metodológica de Monterroso (2012) y Magaña (2013) para evaluar vulnerabilidad agrícola:

Figura 1. Diagrama metodológico



Fuente: Elaboración propia basada en la metodología propuesta por Monterroso (2012)

CAPÍTULO 2.

ESTUDIOS PRECEDENTES SOBRE VULNERABILIDAD

En este capítulo se analizan algunas investigaciones relacionadas a la vulnerabilidad ante cambio y variabilidad climática a escala global, nacional y local, con la finalidad de tener una referencia de otras investigaciones en el tema para identificar factores, elementos y metodologías aplicadas que sirven como sustento de la presente investigación.

2.1. Estudios a nivel global

En el mundo se han realizado diferentes investigaciones relacionadas con el cambio climático y los impactos que ha tenido en los sistemas agrícolas, a su vez, se ha trabajado en estudios respecto a la vulnerabilidad ante variabilidad climática en los sistemas agrícolas como es el caso de las siguientes investigaciones.

2.1.1. Nuevo método para la evaluación cuantitativa de la vulnerabilidad agrícola ante cambio climático

Esta investigación fue realizada por Zhiqiang Dong, Zhihua Pan, PingliAn, Liewei Wang, Jingting Zhang, Di He, Huijie Han y Xuebaio Pan, del Colegio de Recursos y Ciencias Ambientales en China y fue publicada como artículo científico en la revista *Ecological Indicators* de Elsevier en Julio de 2014. El objetivo de la investigación consistió en proponer un nuevo método para evaluar a la vulnerabilidad de forma cuantitativa ante el cambio climático, la importancia de este tipo de estudios radica en el alto valor que tienen en el desarrollo de estrategias de adaptación y su contribución al desarrollo sustentable en el sector agrícola. La zona de estudio se encuentra en el centro de Mongolia, se trata de Wuchuan County, una región caracterizada por la práctica de agricultura de secano donde el trigo de primavera es uno de los principales cultivos.

El estudio enmarca la metodología propuesta por el IPCC en sus reportes de evaluaciones de vulnerabilidad, los cuales argumentan que para evaluar a la vulnerabilidad se tiene que medir primero el grado de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación. Para realizar este tipo de investigaciones es importante primero determinar el periodo básico de estudio, en este caso, los autores inspeccionaron los años por factores climáticos como la temperatura y la precipitación, el periodo básico se estableció antes de que existiría una fluctuación

significativa en ambos parámetros, mientras que el periodo de estudio se seleccionó después de que se presentaran dichos cambios. Utilizando el método de Mann – Kendall, se inspeccionó la temperatura media anual y precipitación de 1961 a 2009 en la región. Se encontró que el sitio de cambio fue cerca de 1991, por lo que los años de 1961 a 1990 se establecieron como período base y de 1991 a 2009 fueron el período de estudio.

Posteriormente, se calculó la tendencia de los rendimientos (Y_{a1}) y factores climáticos (Y_{c1}) para el período básico y se establecieron ecuaciones relacionales de las tendencias climáticas respecto a la temperatura y precipitación. Una vez establecidas las ecuaciones relacionales se simuló el rendimiento del clima para cada período. La sensibilidad (Y_{c2}) y capacidad adaptativa (Y_{a2}) se calcularon utilizando el rendimiento del cultivo menos el rendimiento climático, para el caso de la exposición se utilizó cada relación regional entre las áreas de cultivo para cada año de estudio y el promedio de las áreas plantadas en el periodo básico para calcular el grado de exposición, la vulnerabilidad fue calculada con la fórmula “[$-Y_{c2}/Y_{a2} = -Y_{c2}/(Y - Y_{c2})$]”. Con la fórmula anterior se calcularon las unidades que presentan vulnerabilidad y éstas fueron multiplicadas por el grado de exposición para calcular la tendencia de la temperatura, precipitación y vulnerabilidad a escala regional. Generalmente la sensibilidad del cultivo es diferente a la capacidad de adaptación del mismo, por lo que la vulnerabilidad oscila entre -1 y 1. La vulnerabilidad negativa indica un impacto positivo el cambio climático en el rendimiento, mientras que la vulnerabilidad positiva indica un impacto negativo.

Los niveles de vulnerabilidad se dividieron en los siguientes grados:

- $V \leq 0$ = No vulnerable
- $0 < V \leq 0.10$ = Medianamente vulnerable
- $0.10 < V \leq 0.20$ = Moderadamente vulnerable
- $0.20 < V \leq 0.30$ = Severamente vulnerable
- $0.30 < V$ = Intensamente vulnerable

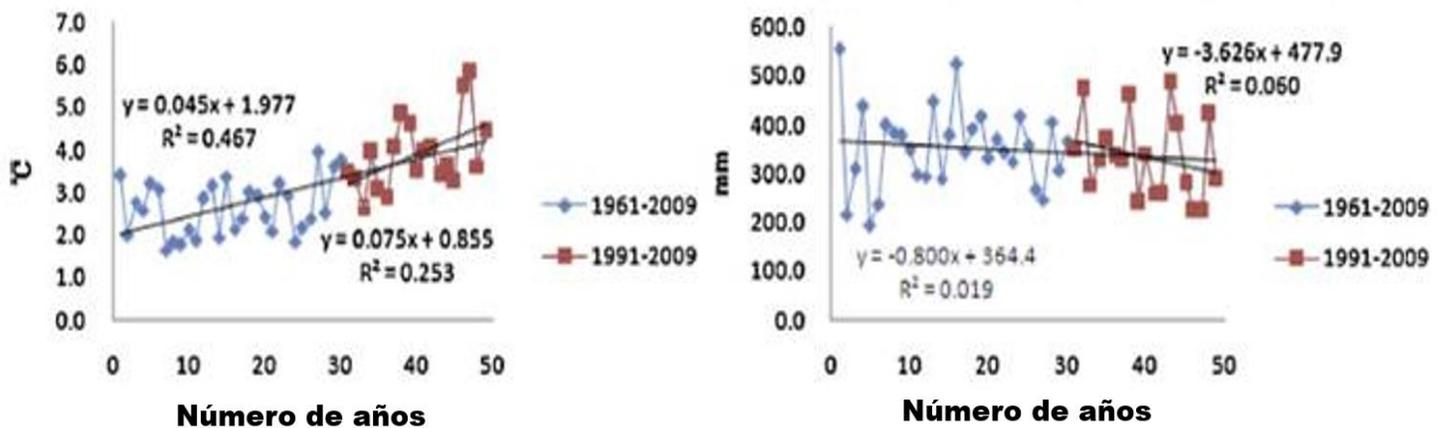
Como resultado de la investigación se encontró que en los últimos 50 años el promedio de la temperatura anual en la región ha tenido una tendencia de incremento en un rango promedio de 0.43°C por década. La velocidad de aumento de la temperatura en los últimos 20 años también se incrementó sustancialmente con un promedio de 0.75°C por década. La tendencia

de variación por año de la precipitación en los últimos 50 años no ha sido tan significativa con una tasa de disminución promedio de 8 mm por década, sin embargo, en los últimos 20 años la tasa de disminución promedio aumentó a 36 mm por década.

De acuerdo con el rendimiento del trigo de primavera por unidad, en el período básico se estableció la ecuación de rendimiento $Y = 0.285x + 42.20$ y se calculó el rendimiento climático por año durante el período base utilizando el rendimiento en el trigo de primavera por año menos la tendencia del rendimiento de esta forma se establecieron las ecuaciones de correlación entre el rendimiento del clima anual y los factores climáticos del período básico.

En la siguiente figura se muestra el cambio en la tendencia de la temperatura media anual y la precipitación de Wuchuan de 1961 al 2009 y de 1991 a 2009, el eje X representa al número de serie del año (el año 1961 es el 1, 1962 es el 2, y así sucesivamente) y en el siguiente cuadro se enlistan las ecuaciones utilizadas para las correlaciones de temperatura y precipitación.

Figura 2. Tendencias de temperatura y precipitación de Wuchuan de 1961 – 2009, (modificado de)



Fuente. Dong y otros, 2014

Cuadro 3. Ecuaciones de correlación de temperatura y precipitación de Wuchuan

Correlación	Ecuaciones
Temperatura media anual	$YCI - (-11.77)*1 + 30.93$
Precipitación media anual	$YCI - 0.048*2 - 16.94$
Factores involucrados	$YCI - (-11.34)*1 + 0.04*2 + 15.46$

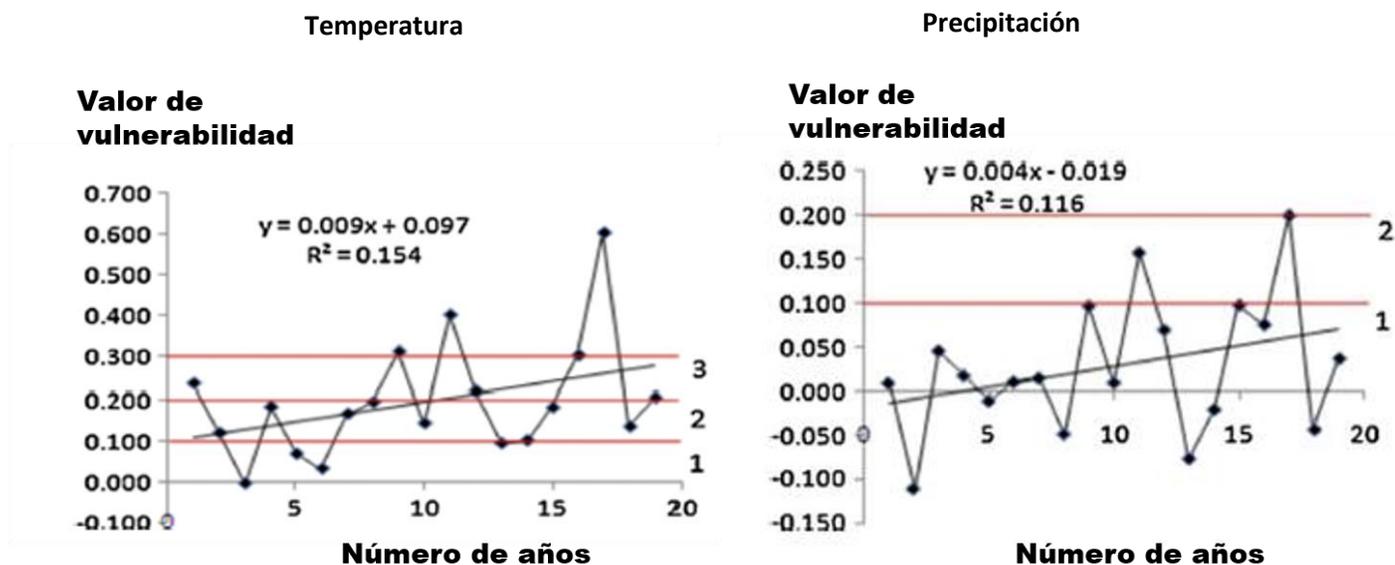
Fuente. Dong y otros, 2014

Los autores calcularon el rendimiento y cambio del clima de la temperatura anual promedio y la precipitación anual, así como algunos factores integrados en el período de estudio. Se utilizó el rendimiento del trigo en primavera del período de estudio menos el rendimiento climático ($Yc2$) para calcular la adaptación ($Ya2$) de tres factores que afectaron en el período de estudio.

Por otro lado, el grado de exposición se calculó utilizando la relación entre el área de siembra y de cultivo de trigo en primavera en cada año de estudio y el promedio cultivo por área en el período básico. Respecto a la vulnerabilidad, primero se calculó el cociente entre $Yc2$ (Sensibilidad del cultivo) y $Ya2$ (Tres factores que afectan) con la finalidad de encontrar la unidad de vulnerabilidad de la temperatura media anual, la de precipitación anual y la de los factores que afectan para después analizar y evaluar la vulnerabilidad.

La siguiente figura muestra la unidad de la vulnerabilidad de la temperatura media anual y el rendimiento del trigo en primavera, el primer nivel muestra que son moderadamente vulnerables sin embargo la frecuencia de la vulnerabilidad es cada vez mayor, por otro lado, se observa la vulnerabilidad de la precipitación anual, en este caso se mostró medianamente vulnerable, con la precipitación no decreciendo significativamente y como el único factor de restricción, la contribución a la vulnerabilidad del trigo de primavera es insignificante.

Figura 3. Vulnerabilidad de temperatura y precipitación respecto al rendimiento del trigo en Wuchuan (modificado de)



Fuente. Dong y otros, 2014

Para calcular la vulnerabilidad regional se multiplicó la exposición por la vulnerabilidad, respecto a esto, el cambio en la tendencia de los promedios anuales de temperatura, precipitación y factores que interfieren a nivel región, la vulnerabilidad en Wuchuan no es significativa por lo que, aunque la unidad de vulnerabilidad muestra una tendencia de riesgo, la vulnerabilidad regional está en decremento debido a la reducción del grado de exposición.

De acuerdo con los autores, la evaluación de vulnerabilidad ante cambio climático es una de las investigaciones más importantes en años recientes y los métodos son variados, sin embargo, hasta el momento el método del índice sintético (pesos iguales) es el más usado. El proceso general de este método consiste en seleccionar indicadores que reflejen varios factores utilizando promedios ponderados, análisis de componentes principales, puntuación por expertos entre otros para determinar el peso de cada indicador y calcular la vulnerabilidad de acuerdo con la fórmula correspondiente a cada método. Sin embargo, muchos factores son

subjetivos y tienen una influencia en la selección y determinación del peso en este método, adicionando la dificultad para comparar diferentes regiones con distintos indicadores.

Otro método típico es el cálculo del valor vector para variables y comparar las diferentes distancias entre los estados naturales con el valor vector de cada variable, esto teoriza que un sistema será más vulnerable en cuanto a la distancia sea más cercana, sin embargo, este método es poco certero por dar estados naturales y no hay claridad para establecer un índice cuantitativo para el grado de cambio.

Por otro lado, la función de un modelo de vulnerabilidad es estudiada con más frecuencia, algunos investigadores creen que la vulnerabilidad es una función hecha de la sensibilidad de algunas variables en un sistema que presenta disturbios y el grado de cercanía de los daños limita a estas variables y la vulnerabilidad puede ser medida por la expectativa de ambos lados de esta relación, para este método existen muchas dificultades para expresar los componentes de la vulnerabilidad de manera cuantitativa.

Basado en lo anterior, los autores sostienen que existen muchos factores que limitan la aplicación de esas evaluaciones en diferentes regiones o sistemas agrícolas, mientras más subjetivos sean los indicadores menos cuantitativos pueden ser, de acuerdo con ellos, el método utilizado en su investigación es objetivo y cuantitativo y contiene expresiones claras de los componentes de la vulnerabilidad y a su vez puede ayudar a evaluaciones cuantitativas en los cultivos a través de indicadores objetivos, permitiendo comparar a los diferentes cultivos en la misma región, pero no solo a los cultivos si no los diferentes grados de vulnerabilidad que pueden presentarse en diferentes regiones, además de poder comparar la vulnerabilidad en diferentes años y aprender acerca de la tendencia del cambio en la vulnerabilidad directamente tomando medidas de ajuste para los sistemas agrícolas.

En Wuchuan County, la tendencia de la vulnerabilidad agrícola local se está incrementando debido a los impactos negativos de las temperaturas promedio anuales, las cuales son significativas, por lo mismo la frecuencia de la vulnerabilidad severa e intensa está creciendo. Por otro lado, la precipitación no ha presentado disminuciones severas, por lo que la

tendencia de calor y humedad está clara. Finalmente, los autores argumentan que para cualquier estudio sobre vulnerabilidad hay dos puntos principales que se deben de considerar, el primero es destacar los impactos del cambio climático, por lo que establecer un período de estudio es crucial, y el segundo punto consiste en determinar el rango de los impactos, con la implementación de un método de evaluación de vulnerabilidad se puede proveer un método más efectivo para la adaptación del cambio climático en los sistemas agrícolas.

2.1.2. Vulnerabilidad ambiental y socioeconómica del sector agrícola en Armenia

Esta investigación fue realizada por Ani Melkonyan de la Universidad de Duisburg-Essen en Alemania y fue publicada en 2014 como artículo científico en la revista “Science of the Total Environment” de Elsevier. La zona de estudio fue elegida debido a que el país de Armenia ha presentado diferentes tipos de desastres naturales como sequías, inundaciones y tormentas los cuales han influenciado directamente en la economía y se espera la ocurrencia de fenómenos de este tipo de manera más frecuente debido al cambio climático lo cual ha aumentado la necesidad de estimar la vulnerabilidad en términos económicos en el sector agrícola ya que ésta actividad juega un papel muy importante para la economía del país.

De acuerdo con la investigación, el desarrollo de los cultivos depende no solo de los parámetros meteorológicos clásicos como son la temperatura y precipitación, sino también de otros como la radiación, evapotranspiración, días cálidos o helados, entre otros. El potencial de todos estos elementos hidrológicos influye en la producción de los cultivos y son llamados recursos agroclimáticos y existen diferentes modelos para calcular estos parámetros, en Armenia existe el modelo AMBAV/AMBETI, el cual incluye datos del Servicio Hidrometeorológico de Armenia, por medio de los cuales se pueden realizar proyecciones del clima de la región. El objetivo fue evaluar los recursos agroclimáticos y su influencia en la producción agrícola y de esta manera encontrar el potencial de crecimiento de la producción de los cultivos para el desarrollo del país. Estas interrelaciones entre clima y la cosecha permiten desarrollar programas efectivos de manejo del cultivo bajo escenarios de cambio climático para proyectar pérdidas económicas en el sector agrícola. De acuerdo con las características físicas de la región existen diferentes áreas utilizadas para el cultivo

de varios tipos de frutos, vegetales y granos, éstos últimos ocupan el 55% de la producción, seguido por frutos y uvas con un 30%, papa con un 11% y vegetales con un 6% del total del área agrícola.

Los datos meteorológicos se obtuvieron de 47 estaciones registradas por el Servicio Hidrometeorológico de Armenia distribuidas en 11 estados y de las cuales se seleccionaron 30 estaciones debido a la confiabilidad en la calidad de los datos y fueron sumados ocho veces en un día desde 1966 a 2010. Por otro lado, la información de los datos de daños económicos causados por desastres naturales se obtuvo del Servicio Nacional de Rescate de Armenia. En materia económica, los datos de producción agrícola, precios, oferta y demanda e ingresos, fueron recopilados del Servicio Nacional de Estadística de Armenia del período de 1995 a 2012.

Los eventos de sequías fueron examinados con ayuda del SPI y la relación hidrotermal Selyaninov. El SPI trata la frecuencia de distribución de la precipitación mensual durante el período vegetativo que sigue una distribución gamma. Primero se realizó una conversión de la distribución gamma a una distribución normal, como resultado los valores menores a 0 representan condiciones de sequía, y los valores mayores a 0 presentan condiciones de humedad. Para el caso de la temperatura se utilizó otro índice de relación hidrotermal Selyaninov utilizando la ecuación 7:

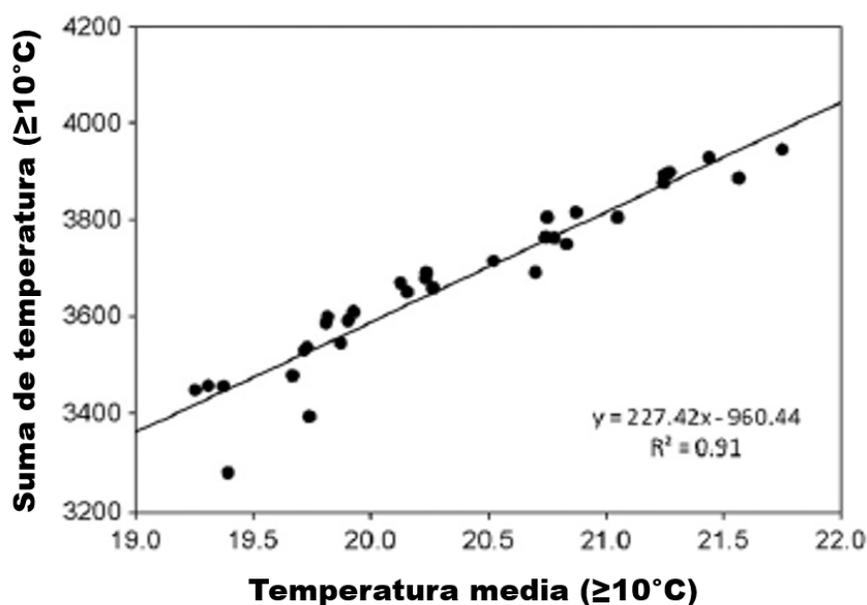
$$Selcoef = \frac{\sum P}{\sum T} * 0.1 \quad (7)$$

Dónde $\sum P$ es la suma de la precipitación y $\sum T$ es la suma de la temperatura durante el período vegetativo (abril a octubre).

La suma de la temperatura mayor a 10°C fue correlacionada con la temperatura media (abril a septiembre), finalmente se evaluó la suma de la temperatura y se determinó el futuro climático por mes con el coeficiente Selyaninov. Posteriormente, se calculó el índice de estrés de cada uno de los cultivos considerando los límites de temperatura que cada uno de ellos necesita para desarrollarse. Los valores del índice de intensidad de calor fueron sumados y

promediados durante el período termo – sensitivo y se obtuvo así la gráfica de regresión entre la temperatura del aire y la suma de la temperatura mayor a 10°C de abril a octubre de 1966 a 2010, como muestra la figura 4.

Figura 4. Regresión entre temperaturas de abril a octubre de 1966 a 2010 en Armenia (modificado de)



Fuente. Melkonyan, 2014

En el modelo macroeconómico que se utilizó en la investigación define el equilibrio entre el mercado cuando la demanda y la alimentación presentan una intersección, representando un punto de equilibrio entre el precio y la cantidad de productos. Proyectar la temperatura y precipitación con modelos diferentes para distintos escenarios puede aportar un nuevo mercado más equilibrado dependiente del clima y otros parámetros económicos.

Los resultados de la investigación muestran que la producción agrícola está influenciada por factores como los sistemas de irrigación, tecnología, nutrientes, entre otros, pero el factor más importante es el clima (temperatura y precipitación, principalmente). Dentro de la propuesta del estudio solo se analiza al clima debido a las limitaciones de acceso a otros

parámetros. En la primera parte se presenta el panorama general de los parámetros agrometeorológicos (medidos y modelados), así como la evaluación de los impactos de éstos en los cultivos de 2011 al año 2040 y la vulnerabilidad de la producción económica a través de modelos.

El análisis tendencial de la temperatura muestra que el promedio de la temperatura en el aire incrementó de 4.65°C a 5.5°C en Armenia entre 1966 y 2010, de acuerdo con los datos registrados de las estaciones meteorológicas seleccionadas el mayor incremento se presentó en altitudes medias de aproximadamente 1500 msnm, donde la mayor parte de la actividad agrícola está concentrada haciendo a la producción más vulnerable.

Para facilitar la evaluación de la vulnerabilidad de la producción agrícola a través de parámetros climáticos en cada estado del país los datos de las estaciones fueron promediados. A su vez, se realizaron dos correlaciones de datos climatológicos de temperatura y precipitación con respecto a la altura de cada estación, el promedio de los parámetros meteorológicos de los estados y su relación con la producción de los cultivos fueron calculados a través de Sistemas de Información Geográfica, donde se sobrepusieron layers de los distritos políticos (mapa topográfico) y producción de uvas y granos a manera de que la altura promediada utilizada fue solamente la adecuada para la producción éstos.

Finalmente, se analizaron a través de correlaciones los parámetros climatológicos que tienen mayor influencia en la producción de uvas, mostrando que el 84% de la producción se encuentra influenciada por la temperatura, precipitación, humedad relativa, velocidad del viento y dirección, principalmente. Sin embargo, se deben tomar en consideración otros factores importantes como es el potencial de evapotranspiración, la temperatura del suelo y la profundidad, por lo que éstas se calcularon con ayuda del modelo AMBAV/AMBETTI. Como resultado, los meses más húmedos son abril y mayo cuando la acumulación de la precipitación suma 45 mm, el de evapotranspiración se presenta en el mes de julio con 150 mm, las temperaturas más altas del suelo ocurren en los meses de verano alcanzando hasta los 17°C y es ahí cuando se presenta una disminución en la humedad del suelo hasta un 40% de la capacidad, dando como resultado sequías.

Con la ayuda del modelo AMBW se pueden verificar las épocas de sequías de la región, lo cual resulta útil para proporcionar información a los productores que les permita organizar y planificar, por ejemplo, cuando la capacidad del campo es igual al contenido de agua en el suelo es cuando inicia el periodo vegetativo o la temporada de crecimiento de los cultivos, en este sentido el análisis muestra que de acuerdo con las temperaturas medias en el período de 1966 al 2010, las temperatura ha aumentado significativamente (0.02°C por año), lo cual han cambiado los periodos vegetativos de abril a mayo.

Para evaluar la vulnerabilidad en los cultivos y realizar proyecciones primero se estimaron las pérdidas de producción durante las sequías y posteriormente se modelaron dichas pérdidas al incrementar la temperatura proyectada. Se emplearon modelos de circulación general para dos escenarios para estimar los cambios de la temperatura de 2011 a 2040 durante los meses de abril a octubre. Este método ha sido empleado para evaluar la vulnerabilidad del sector agrícola, el modelo de equilibrio de mercado se emplea cuando la demanda está equilibrada con los precios y la cantidad de producción, con el uso del índice Selyaninov permite crear una correlación entre ambos parámetros respecto a la producción e indica que al existir un empeoramiento en las condiciones climáticas se presentarán pérdidas por lo que resulta necesario calcular el índice de estrés de los cultivos por el incremento de la temperatura, en Armenia la sensibilidad en los cultivos oscila entre los 0.05 y 0.15 al suroeste del país lo que deja en claro que en esta zona el daño a la producción es causada por el incremento de la temperatura, sin embargo ésta puede ser reemplazada por mecanismos de adaptación como la planificación anticipada a dichos eventos y ajustes en las fechas de siembra.

La investigación concluye en que la producción de grano reduce el riesgo a la pobreza alimentaria, esta actividad requiere altos niveles de agua por lo que es crucial que la viabilidad del recurso sea calculada no solo al presente si no al futuro, los índices para calcular sequías muestran que en Armenia la producción de cultivos es sensible a las altas temperaturas y con el tiempo esto tendencia incrementará, por lo que los requerimientos para la producción de granos y frutos aumentarán entre 19 y 23%. Para lograr un equilibrio en el mercado y el bienestar social, la información obtenida de los modelos macroeconómicos y

climatológicos empleados en la investigación puede ser de utilidad para establecer medidas de adaptación como implementar y mejorar los sistemas de riego, construir reservas de agua y mejorar la resistencia de los cultivos hacia las sequías.

El cuadro 4 muestra una comparación entre los dos estudios mencionados en este apartado que corresponden a investigaciones relacionadas con la vulnerabilidad en el sector agrícola en otras partes del mundo, la finalidad es realizar una comparación entre ambos en cuanto a procedimiento metodológico y métodos empleados para su realización.

Cuadro 4. Comparación de estudios de vulnerabilidad en el sector agrícola a nivel global

	Nuevo método cuantitativo para evaluar la vulnerabilidad agrícola ante cambio climático	Vulnerabilidad ambiental y socioeconómica del sector agrícola en Armenia
Zona de estudio	Wuchuan County	Armenia
Objetivo	Proponer un nuevo método para evaluar la vulnerabilidad ante cambio climático en el sector agrícola	Evaluar los recursos agroclimáticos y su influencia en la producción agrícola y encontrar el potencial de crecimiento de los cultivos para el desarrollo del país
Tipo de vulnerabilidad	Vulnerabilidad agrícola	Vulnerabilidad socioeconómica
Variables	Rendimiento de cultivos Factores climáticos: temperatura y precipitación	Datos meteorológicos: temperatura y precipitación Daños económicos por desastres naturales Datos económicos: producción agrícola, precios de mercado, oferta y demanda, ingresos
Método	1) Cambios en el clima: método de Mann-Kendall 2) Tendencia de rendimientos y factores climáticos: establecimiento de ecuaciones correlacionales 3) Sensibilidad y capacidad adaptativa: rendimientos del cultivo – rendimientos de factores climáticos 4) Exposición: Relación entre áreas de cultivo y promedio de áreas cultivadas 5) Vulnerabilidad agrícola: (-sensibilidad/capacidad adaptativa = - capacidad adaptativa/ (tendencias de	1) Calcular sequías (relación hidrotérmica Selyaninov) y precipitación (SPI) 2) índice de estrés de cultivos 3) Modelo proyectado de temperatura y precipitación 4) Tratamiento de datos: promedio de parámetros climáticos, correlación de datos climáticos respecto a altura de cada estación y relación con los cultivos (sobre posición cartográfica), cálculo de potencial de evapotranspiración, temperatura de suelo y profundidad (modelo AMBAV/AMBETTI)

rendimientos de cultivo y factores climáticos – sensibilidad))	5) Evaluación de vulnerabilidad agrícola: estimación de pérdidas de producción durante sequías, modelación de pérdidas con temperatura proyectada (MCG) 6) Correlación entre vulnerabilidad agrícola y equilibrio de mercado: Índice Selyaninov
--	--

Fuente: elaboración propia, 2017

El tema de vulnerabilidad ha sido aplicado a diversos sectores y ha sido aplicado a diferentes enfoques dependiendo de los objetivos y necesidades de cada investigador, en el sector agrícola puede ser estudiada desde la perspectiva social, económica, política o fisiológica de los cultivos. Las investigaciones mencionadas anteriormente muestran la diversidad de métodos aplicados para su evaluación, sin embargo, al hablar de cambio climático los factores que intervienen para su medición son la temperatura y la precipitación dejando en claro que las alteraciones en dichas variables condicionan la producción agrícola y la situación económica de la población que se dedica a esta actividad.

En el caso de la vulnerabilidad agrícola es indispensable medir los grados de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa que se presentan en el sistema agrícola considerando factores climatológicos y socioeconómicos, en el caso de realizar una evaluación socioeconómica es necesario tener énfasis en las características económicas de la región considerando factores como el valor de la producción, la oferta y demanda, nivel de ingresos, entre otros. El método seleccionado para cada investigación depende en gran medida del tipo de vulnerabilidad que se desee evaluar así como la disposición de tiempo y recursos para lograr los objetivos de la misma, el establecimiento de índices y correlación de variables juega un papel importante para determinar el comportamiento de la vulnerabilidad, de la misma forma las proyecciones de dichas condiciones son importantes para el establecimiento de medidas de adaptación o mitigación dentro del sistema en caso de verse afectados por el cambio climático.

2.2. Estudios a nivel nacional

En este apartado se presentan dos estudios relacionados con la evaluación de vulnerabilidad que se han llevado a cabo en México y han sido de gran utilidad en cuanto al desarrollo metodológico referentes a este proceso en los sistemas agrícolas y su relación con el cambio y la variabilidad climática.

2.2.1. Dos métodos para evaluar la vulnerabilidad agrícola ante el cambio climático en el sector agrícola en México

Esta investigación fue realizada por Alejandro Monterroso, Cecilia Conde, Carlos Gay, David Gómez y José López y publicada en la revista *Mitig Adapt Strateg Glob Change* de Springer en 2012.

Existen estudios recientes que se proponen evaluar la vulnerabilidad a través de variables físicas o socioeconómicas o en combinación, sin embargo, si se considera a la vulnerabilidad en función de la exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa se necesita establecer como funcionarían estas variables a diferentes escalas. Algunas investigaciones han demostrado que los problemas prácticos y los teóricos surgen durante la elección de variables, otro problema surge cuando hay que asignar pesos a los mismos, para este último existen dos maneras: a) todos los indicadores de vulnerabilidad tienen pesos iguales o b) se le asignan diferentes pesos a cada variable a través de métodos como el juicio de expertos, análisis de componentes principales, correlación de eventos y análisis multicriterio.

Hablar de vulnerabilidad y capacidad adaptativa es complejo debido a que no son fenómenos observables, sin embargo se les ha tratado de abordar de diversas maneras dependiendo de la región, la escala y las condiciones ambientales, políticas, económicas o sociales así como de acuerdo al sector que se desee abordar, por ejemplo el sector agrícola se ha enfocado desde una escala local, evaluar la vulnerabilidad ante cambio climático requiere primero analizar y conocer los impactos que este fenómeno ha causado a nivel nacional y una vez hecho esto ya se puede analizar a nivel local debido principalmente a que el análisis inicial identifica las regiones subnacionales donde se encuentra la población más vulnerable, sí se identifican

primero las variables socio-económicas y ambientales será un excelente punto de partida para entender a la vulnerabilidad.

El primer objetivo de la investigación consiste en contribuir al estudio de la integración de métodos asignando pesos a las variables que determinen la vulnerabilidad. A través de esta aplicación y comparación del análisis de componentes principales y pesos iguales se discutirá la similitud de resultados y la importancia de cada método. El segundo objetivo fue mapear la vulnerabilidad ante cambio climático a escala nacional y sectorial tomando al sector agrícola como caso de estudio en un área donde se espera sea mayormente afectada por el cambio climático global.

Durante años la vulnerabilidad se ha conceptualizado en diferentes maneras y disciplinas, la investigación retoma el concepto del IPCC (2007) que se encuentra basado en tres dimensiones: exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa. Para caracterizar la vulnerabilidad a nivel nacional ante cambio climático se seleccionaron variables pertenecientes a estas dimensiones influyentes en el sector agrícola como se muestran en los cuadros 5, 6 y 7.

Cuadro 5. Indicadores de Exposición de Alejandro Monterroso

Dimensión	Abreviación	Definición de variable
Eventos extremos	E1	Total de inundaciones, 1985 - 2000
	E2	Total de heladas y granizo, 1985 – 2000
	E3	Total de lluvias intensas, 1985 – 2000
	E4	Total de deslizamientos, 1985 – 2000
Problemas ambientales	E5	Total de 5 problemas ambientales (tala, incendios, plagas, pérdida de biodiversidad y contaminación del agua)
	E6	Superficie sin vegetación (%)
	E7	Unidades de producción con pérdidas debido a factores climáticos (%)
Clima	E8	Unidades de producción con pérdidas por fertilidad de suelo (%)
	E9	Temperatura media anual (°C), 1950 – 2000
	E10	Precipitación media anual (mm), 1950 – 2000
	E11	Temperatura futura (°C), HadGEM1, A2 a 2030
	E12	Precipitación futura (mm) HadGEM1, A2 a 2030
	E13	Temperatura futura (°C), MPI ECHAM5, A2 a 2030
	E14	Precipitación futura (°C), MPI ECHAM5, A2 a 2030

Fuente: Alejandro Monterroso, 2012

Cuadro 6. Indicadores de Sensibilidad de Alejandro Monterroso

Dimensión	Abreviación	Definición de variable
Población	S1	Hogares con jefatura femenina (%)
	S2	Hogares indígenas en el municipio (%)
	S3	Población con pobreza alimenticia (%)
	S4	Población dedicada a actividades primarias (%)
Salud	S5	Niños menores a 5 años con baja talla al nacer (%)
	S6	Niños menores a 5 años con ajo peso al nacer (%)
	S7	Población sin acceso a servicios de salud (%)
Agricultura	S8	Uso de suelo dedicado a actividades primarias (%)
	S9	Unidades de producción que no cuentan con sistemas de riego (%)
	S10	Promedio de cultivos de maíz de temporal en 2005 (tn/ha)
	S11	Probabilidad de bajo rendimiento en granos
	S12	Probabilidad de bajo rendimiento en maíz
	S13	Aptitud agrícola del maíz, 1950 – 2000
	S14	Potencial de ganado, 1950 – 2000
	S15	Potencial forestal, 1950 – 2000
	S16	Aptitud agrícola futura Modelo MPI ECHAM5 a 2030
	S17	Aptitud potencial de ganado futura Modelo MPI ECHAM5 a 2030
	S18	Aptitud de potencial forestal futura Modelo MPI ECHAM5 a 2030
	S19	Aptitud agrícola futura Modelo HadGEM 1 a 2030
	S20	Aptitud potencial de ganado futura Modelo HadGEM 1a 2030
	S21	Aptitud de potencial forestal futura Modelo HadGEM 1a 2030

Fuente: Alejandro Monterroso, 2012

Cuadro 7. Indicadores de capacidad de adaptación de Alejandro Monterroso

Dimensión	Abreviación	Definición de variable
Capital humano	C1	Población de 15 años o más que sabe leer (%)
	C2	Población de 6 a 24 años que va a la escuela (%)
	C3	Índice de alfabetismo por municipio
	C4	Cambios en la población municipal de 2005 – 2030 (%)
Capital social	C5	Unidades de producción que no tienen acceso a apoyos (%)
	C6	Unidades de producción que no presentan disputas o litigios por la tierra (%)
	C7	Unidades de producción con entrenamiento técnico (%)
	C8	Tenencia de la tierra o posesión (%)
	C9	Unidades de protección civil
Capital financiero	C10	Mapa de riesgos
	C11	Unidades de producción con dificultades para acceder a créditos (%)
	C12	Unidades de producción que reciben remesas del exterior (%)
	C13	Unidades de producción con algún tipo de ahorro (%)

Capital	Natural	C14	Unidades de producción con crédito y cobertura de seguros (%)	
		C15	Producto Interno Bruto en 2000 (\$)	
		C16	Población con un ingreso mayor a dos salarios mínimos (%)	
		C17	Estimado de producto interno bruto a 2030 (\$)	
		C18	Superficie con bosques y/o selvas (ha)	
		C19	Superficie reforestada en el municipio (ha)	
		C20	Tasa de extracción de agua de acuíferos	

Fuente: Alejandro Monterroso, 2012

El primer paso consistió en estandarizar las variables seleccionadas para eliminar las diferentes escalas y hacerlas comparables por medio de la ecuación “ $Z_v = (X_i - X)/SD$ ”, donde Z indica el valor estandarizado de la variable v , X_i es el valor observado de v , X es el valor principal del conjunto de valores i y SD es la desviación estándar del conjunto de valores i . Por otro lado, la vulnerabilidad base fue obtenida por dos métodos: Análisis de Componentes Principales y una media aritmética, en el primer método se le asignaron diferentes pesos a cada variable. De acuerdo con la literatura existen tres maneras de asignar pesos a las variables, a saber: 1) juicio de expertos, 2) pesos iguales y 3) métodos estadísticos (componentes principales), en este sentido se aplicaron los últimos dos métodos para comparar los valores a nivel municipal y así pudieron identificar las regiones que muestran más vulnerabilidad con ambos métodos. El análisis de componentes principales es una técnica utilizada para extraer combinaciones lineales de grupos de variables y seleccionar la que tiene mayor peso, para esto se utilizó la siguiente ecuación “ $BV = f_1(i_1j_1 - m_1)/(S_1) + \dots + f_n(i_nj_n - m_n)/(S_n)$ ”, donde BV es la vulnerabilidad base, m es el valor principal, s es la desviación estándar y f_n es el peso de cada indicador i .

El otro método que se utilizó fue la asignación de pesos iguales a todas las variables. Para la estandarización de variables de exposición y la sensibilidad el valor máximo de cada una de éstas refleja un gran rigor, en contraste con la capacidad adaptativa donde el valor máximo refleja mayor capacidad adaptativa. Todas las variables de exposición fueron estandarizadas e integradas a través de una media aritmética y así se creó el subíndice de exposición, lo mismo se realizó para la sensibilidad y la capacidad adaptativa y finalmente para calcular el índice de vulnerabilidad se aplicó la ecuación 8.

$$\text{Índice de vulnerabilidad} = (\text{exposición} + \text{sensibilidad}) - \text{capacidad adaptativa} \quad (8)$$

Mapeo de vulnerabilidad

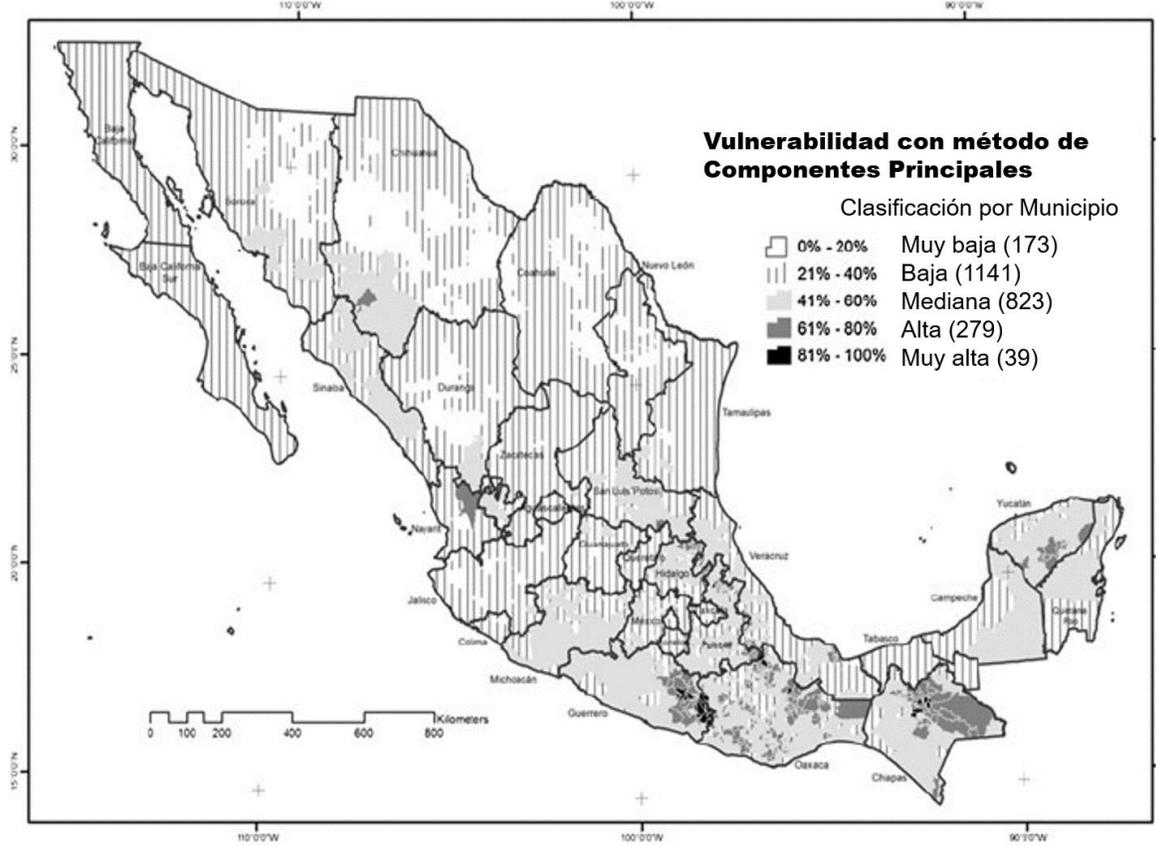
Para el mapeo de la vulnerabilidad se le asignó el valor obtenido a cada municipio del país y sus distancias fueron normalizadas a valores de 0 a 100 con la ecuación 9, donde I es el valor del subíndice de la variable P , I_{obs} es el valor del índice dado a cada municipio, $minimum I$ representa el valor mínimo observado de los valores I_p y $maximum I$ es el valor máximo obtenido del conjunto de valores I_p .

$$I_p = \left[\frac{I_{obs} - minimum I}{maximum I - minimum I} \right] * 100 \quad (9)$$

El rango de valores final fue dividido en cinco categorías de acuerdo con la distribución geométrica de frecuencias y a cada grupo se le asignó un indicador cualitativo de vulnerabilidad.

En el análisis de Componentes Principales se extrajo el componente principal que representa solo el 16.5% de la varianza total. Las variables que contribuyeron más a este componente fueron: problemas ambientales, hogar de jefatura femenina, unidades de producción sin sistemas de riego y baja producción de maíz y frijol. En cuanto a la situación agrícola futura el modelo MPI ECHAM5 y HadGEM1 fueron la protección civil, mapas de riesgo, unidades de producción sin apoyo ni remesas de otros países. De acuerdo con la clasificación de la vulnerabilidad 39 municipios (1.6% del total del país) se encuentra en un rango de muy alta vulnerabilidad, 279 (11.4% del total) se encuentran en alta vulnerabilidad, 1141 (46.5%) se encuentran en baja y muy baja vulnerabilidad. Los municipios dentro de alta y muy alta vulnerabilidad suman 318 donde se encuentra el 13% de la población nacional mientras que cerca de 79 millones de personas (78% de la población total) se encuentran en baja y muy baja vulnerabilidad. La siguiente figura muestra la distribución de la vulnerabilidad de acuerdo con este método.

Figura 5. Distribución de la vulnerabilidad agrícola en México de acuerdo con el método de componentes principales, Monterroso

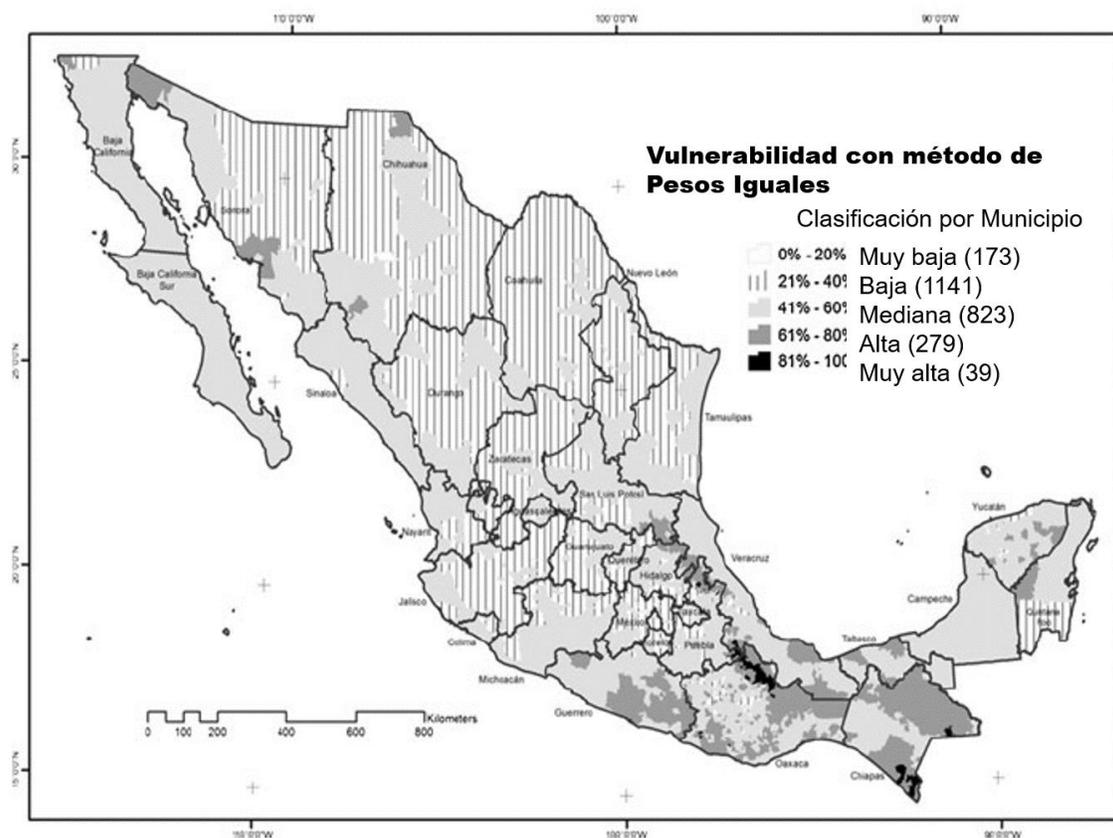


Fuente: Alejandro Monterroso, 2012

Por otro lado, en el método de pesos iguales se identificaron tres subíndices: exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación. Aplicando las fórmulas mencionadas anteriormente, se obtuvieron correlaciones positivas de exposición (0.73) y sensibilidad (0.75), para la capacidad adaptativa la correlación fue negativa (-0.73), esto indica en las dos primeras que sí estas aumentan la vulnerabilidad también, por ejemplo, sí aumentan los eventos extremos, problemas ambientales o clima puede ser suficiente para que la vulnerabilidad de un municipio aumente. En este sentido, la capacidad adaptativa debería reducir la vulnerabilidad y explicar las correlaciones de variables negativas.

Entre las variables de exposición, las climáticas son las que explican de mejor manera a esta con una correlación de 0.61, en cuanto a la sensibilidad las variables demográficas son las que más influyen en la vulnerabilidad municipal con una correlación de 0.72, finalmente en la capacidad adaptativa el capital humano y financiero son las variables más influyentes con una correlación de -0.60 y -0.59, respectivamente. La figura 6, muestra la distribución espacial a través de este método, donde la vulnerabilidad muy alta contiene 39 municipios (1.6%), la alta vulnerabilidad contiene 405 municipios (16.5%), la baja vulnerabilidad contiene 764 municipios (31%) y la muy baja vulnerabilidad 8 municipios (0.4%).

Figura 6. Distribución de la vulnerabilidad agrícola en México de acuerdo con el método de pesos iguales, Monterroso



Comparando los métodos, el análisis de componentes principales y pesos iguales en 1377 tienen valores similares en todos los rangos, es por esto por lo que se obtuvo la misma vulnerabilidad en el 56% de los casos. Por otro lado, de acuerdo con el método de

componentes principales 148 municipios presentan alta vulnerabilidad (6%) y 930 (38%) con baja vulnerabilidad comparado con el método de pesos iguales, lo que indica que el análisis por componentes principales muestra valores más bajos. Ambos métodos son fáciles de aplicar, en el de Componentes Principales los resultados muestran que 35 variables incrementan la vulnerabilidad y 25 la decremantan, por otro lado, en el de pesos iguales 39 indicadores aumentan y 21 disminuyen la vulnerabilidad.

La diferencia entre ambos métodos fue más significativa en cuanto a la distribución espacial de la vulnerabilidad alta y muy alta. Los dos métodos coinciden en que la vulnerabilidad muy alta contiene 39 municipios, pero sus distribuciones espaciales son un tanto diferentes. En el análisis de componentes principales los municipios más vulnerables están en estados como Oaxaca, Chiapas, Puebla y Guerrero, por otro lado, el método de pesos iguales los detecta en estados de Oaxaca, Chiapas, Puebla y Veracruz, la diferencia surge porque los eventos extremos son incluidos de manera distinta en cada método, por ejemplo, Veracruz comparado con Guerrero ha sufrido más golpes por eventos extremos. La vulnerabilidad alta incluye 279 municipios por componentes principales y 405 por pesos iguales. Los dos métodos coinciden también en la mediana, baja y muy baja vulnerabilidad ya que la mayor parte de las regiones se encuentran en los estados de Chihuahua, Sinaloa, Durango, Jalisco, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Puebla, Hidalgo, Campeche, Yucatán, San Luis Potosí y Quintana Roo.

En el sector agrícola los eventos extremos son muy complejos, para ser analizados e incorporados en las evaluaciones de vulnerabilidad, debido a que hay muchos factores en este proceso por lo que consideran que es deseable incorporar variables o indicadores que permitan la evaluación de este fenómeno considerando el impacto que esto tiene en la sociedad.

2.2.2. Herramienta para la evaluación de la vulnerabilidad ante cambio climático en el sector agrícola en México

Esta investigación fue realizada por Ramiro Ahumada, Gilberto Velázquez, Hugo Rodríguez, Edith Flores, Rubén Félix, Jaime Romero y Alfredo Granados y publicada en junio de 2015

en la revista *Mitig Adapt Strateg Globe Change* de Springer. De acuerdo esta investigación, en la actualidad es de suma importancia realizar evaluaciones de vulnerabilidad sobre todo en las áreas rurales donde predomina la actividad agrícola ya que ésta se ha visto afectada directamente por las variaciones climáticas y debido a esto se han realizado diferentes estudios a diversas escalas de trabajo, sin embargo este estudio resalta por ser uno de los primeros acercamientos en cuanto al intento de identificar a la población más vulnerable a nivel local y así determinar los factores más relevantes que contribuyen a la vulnerabilidad para identificar acciones que puedan mejorar la situación y la sustentabilidad de la agricultura local, es por eso que el objetivo de la investigación fue evaluar la vulnerabilidad local ante cambio climático en el sector agrícola por medio de un indicador que permita proponer estrategias específicas de adaptación.

La zona de estudio corresponde al municipio de Guasave en el estado de Sinaloa en México. El municipio cuenta con 721 localidades de las cuales el 37.2% corresponde a población rural de las cuales el 31% no cuenta con servicio de agua para uso y consumo humano, 3% no tiene electricidad y 71% no cuenta con alcantarillado, adicionando que el 21.2% de la población no cuenta con servicios de salud. El 36.8% de la población se dedica a actividades agrícolas y a la pesca. A nivel nacional el municipio ocupa el cuarto lugar en cuanto a producción agrícola generando el 2% del valor de dicha producción del país en los últimos 5 años de los cuales el 4% corresponde al cultivo de maíz y generando cerca del 83% de los ingresos de los productores.

La temperatura media anual del municipio es de 25.4°C y la precipitación promedio anual de 449 mm, los principales desastres hidrometeorológicos en los últimos años tienen que ver con inundaciones, sequías y huracanes, principalmente. Estos han causado severos daños pérdidas de cultivos de cerca del 40% y los modelos de cambio climático de 2015 a 2039 proyectan un aumento de temperatura de 1 a 2°C y del 8% en decremento de la precipitación en la región.

Los estudios de vulnerabilidad han sido direccionados a diversas escalas dependiendo de las condiciones de la región y la viabilidad de los datos, en este caso los se utilizó la escala

AGEB, la cual es una región geográfica definida con el propósito de realizar censos, estas regiones coinciden con los límites de las ciudades, poblados y otras áreas administrativas llamadas áreas geoestadísticas. De acuerdo con el INEGI (2010), el territorio mexicano está dividido en áreas geoestadísticas con tres niveles de disgregación: estatales, municipales y áreas básicas las cuales corresponden a la subdivisión de las regiones municipales y se clasifican en urbanas o rurales, estas últimas se caracterizan por tener población menor a 50 personas y su uso de suelo es principalmente agrícola y forestal, tal es el caso del municipio de Guasave.

Las variables individuales o indicadores pueden ser medidos por índices y generalmente tienen conexiones lógicas con el proceso u objeto de evaluación para que reflejen el estado, causas o resultados. En este estudio se desarrolló un índice de vulnerabilidad derivado de variables de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa en el sector rural a nivel local aplicado a la zona de estudio. Para la selección de variables se buscaron aquellas aplicables a la actividad agrícola de las cuales muchas de ellas se obtuvieron de experiencias de otros autores y aquellas que fueran aplicables a la escala BCA. Las variables seleccionadas fueron agrupadas en tres dimensiones: exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa como se muestran en los cuadros 8, 9 y 10.

Cuadro 8. Indicadores de Exposición de Ramiro Ahumada

Categoría	Código	Definición de variable
Eventos extremos	E1	Frecuencia de días extremadamente húmedos, 1981 - 2010
	E2	Grado potencial de inundaciones
	E3	Frecuencia de días con temperaturas menores a 5°C, 1981-2010
	E4	Grado potencial de ocurrencia de ciclones
Problemas ambientales	E5	Presencia de 2 problemas ambientales (tala ilegal y contaminación del agua)
	E6	Unidades de producción con pérdidas por un factor climático (%)
	E7	Unidades de producción con pérdidas por fertilidad del suelo (%)
Clima	E8	Desviación estándar de la temperatura media por mes, 1981-2010
	E9	Desviación estándar del total de precipitación por mes, 1981-2010

E10	Anomalías proyectadas (°C) de temperatura media con el modelo HADGEM2-ES, 2015 – 20139
E11	Anomalías proyectadas (°C) de la temperatura media con el modelo MPI-ESM-LR, 2015-2039
E12	Decremento en la precipitación anual con el modelo HADGEM2-ES, 2015 – 20139 (%)
E13	Decremento en la precipitación anual con el modelo MPI-ESM-LR, 2015-2039 (%)

Fuente: Ahumada y Otros, 2015

Cuadro 9. Indicadores de Sensibilidad de Ramiro Ahumada

Categoría	Código	Definición de variable
Población	S1	Amas de casa y jefatura femenina (%)
	S2	Población indígena (%)
	S3	Población por debajo de los 6 años (%)
	S4	Población rural
Salud y servicios	S5	Hogares que no tienen servicios de agua, electricidad y alcantarillado (%)
	S6	Población que no tiene servicios de salud (%)
Agricultura	S7	Unidades de producción con agricultura (%)
	S8	Unidades de producción de maíz (%)
	S9	Promedio de cultivos de maíz de 2007 – 2011 (ton/ha)
	S10	Área agrícola en el BCA (%)
	S11	Área agrícola sin acceso a sistemas de riego (%)
Economía	S12	Número de dependientes económicos por productor
	S13	Ingresos relacionados a la agricultura (%)

Fuente: Ahumada y Otros, 2015

Cuadro 10. Indicadores de capacidad adaptativa de Ramiro Ahumada

Categoría	Código	Definición de variable
Capital humano	A1	Población de 15 o más que sabe leer o escribir (%)
	A2	Población de 6 a 14 años que va a la escuela (%)
Capital financiero	A3	Áreas de producción con acceso a algún tipo de soporte (%)
	A4	Áreas de producción con cobertura crediticia (%)

	A5	Promedio de apoyos por parte de gobierno a áreas de producción
	A6	Áreas de producción que tienen ingresos no relacionados a la agricultura (%)
Infraestructura	A7	Infraestructura de riego
	A8	Áreas de producción con agricultura tecnificada (%)
	A9	Densidad de red de carreteras (km/km2)
Agricultura	A10	Áreas de producción que utilizan fertilizantes (%)
	A11	Índice de diversidad de cultivos

Fuente: Ahumada y Otros, 2015

La información de las variables fue recopilada de agencias gubernamentales como el Centro Nacional para la Prevención de Desastres (CENAPRED), la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), entre otros, así como de centros de investigación como el Centro para la Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, Baja California y el Departamento de Computación para las Ciencias Ambientales y Atmosféricas de la UNAM.

Las variables fueron estandarizadas para eliminar las diferencias en las escalas y hacerlas comparables con la ecuación 10 donde Z_v es el valor estándar de la variable v , X_i representa el valor observado de v , X es el valor principal del conjunto de valores i y SD es la desviación estándar del conjunto de valores i .

$$Z_v = \frac{X_i - X}{SD} \quad (10)$$

Posteriormente, se estimaron los subíndices de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación a través del método de pesos iguales para todas las variables y así obtener el grado de influencia de cada uno en la vulnerabilidad. El cálculo de cada subíndice se hizo por una media aritmética con las variables estandarizadas por categoría con las ecuaciones 11, 12 y 13:

Exposición:

$$E = \frac{\left(\frac{E_1 + E_2 + E_3 + E_4}{4}\right) + \left(\frac{E_5 + E_6 + E_7}{3}\right) + \left(\frac{E_8 + E_9 + E_{10} + E_{11} + E_{12} + E_{13}}{6}\right)}{3} \quad (11)$$

Sensibilidad:

$$S = \frac{\left(\frac{S1+S2+S3+S4}{4}\right) + \left(\frac{S5+S6}{2}\right) + \left(\frac{S7+S8+S9+S10+S11}{5}\right) + \left(\frac{S12+S13}{2}\right)}{4} \quad (12)$$

Capacidad adaptativa:

$$CA = \frac{\left(\frac{A1+A2}{2}\right) + \left(\frac{A3+A4+A5+A6}{4}\right) + \left(\frac{A7+A8+A9}{3}\right) + \left(\frac{A10+A11}{2}\right)}{4} \quad (13)$$

Finalmente, la vulnerabilidad se obtuvo tomando los pesos de los promedios aritméticos de los tres subíndices en donde un nivel alto de exposición y sensibilidad implica un alto nivel de vulnerabilidad, mientras que un nivel alto de capacidad adaptativa representa un nivel bajo de vulnerabilidad, para obtener ésta los autores utilizaron la ecuación 14:

$$VI = \frac{exposición + sensibilidad + (1 - capacidad adaptativa)}{3} \quad (14)$$

Para el mapeo de la vulnerabilidad, los valores se normalizaron con el propósito de obtener valores finales en una escala de 0 a 5 con la ecuación 15, donde V es el valor de la vulnerabilidad obtenido por región, V_{min} es el valor mínimo del conjunto de valores (v) y V_{max} representa el valor máximo del mismo conjunto de datos (v).

$$V \text{ normalizado} = 5 \times \frac{V - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} \quad (15)$$

Una vez normalizados los valores se clasificaron de acuerdo con cinco clases:

- $0 \leq V \text{ normalizado} < 1 =$ muy baja vulnerabilidad
- $1 \leq V \text{ normalizado} < 2 =$ baja vulnerabilidad
- $2 \leq V \text{ normalizado} < 3 =$ mediana vulnerabilidad
- $3 \leq V \text{ normalizado} < 4 =$ alta vulnerabilidad
- $4 \leq V \text{ normalizado} < 5 =$ muy alta vulnerabilidad

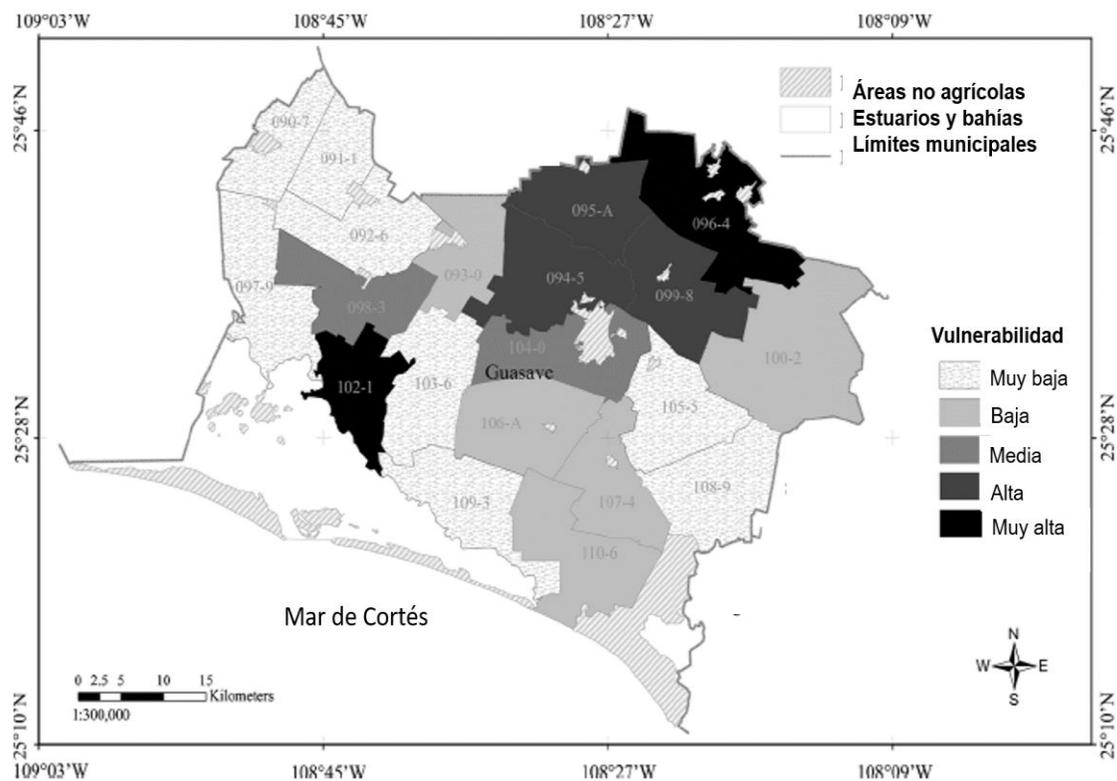
En términos de exposición la región 096 representó el valor más alto respecto a las demás regiones en el municipio debido a que tiene mayor frecuencia de días con temperaturas bajo los 5°C, así como meses secos y presencia de problemas ambientales, seguido de la región 094 – 5 por la misma situación y la 103 – 6 debido a que tiene el porcentaje más alto de pérdidas de fertilidad del suelo y alta variabilidad en la temperatura.

En cuanto a la sensibilidad, las tres regiones (102 – 1, 104 – 0 y 095 – A) presentan mayor sensibilidad, en la primera, la población fue significativa ya que tiene mayor densidad de población rural y un alto porcentaje de población menor a 6 años, también los accesos a servicios como agua, drenaje y electricidad son escasos. En la segunda región el acceso a servicios de salud fue determinante ya que la mayor parte de la misma no cuenta con éstos, así como tampoco hay suficiente cobertura de servicios. Finalmente, la última región está influenciada con las condiciones económicas y agrícolas en las cuales se presenta la producción más baja de maíz y escasa infraestructura para hacer frente a la variabilidad del clima en la zona.

Las regiones que muestran menor grado de capacidad de adaptación son las 094–5, 104–0 y 110-6. La primera tiene el porcentaje más bajo en cuanto a agricultura tecnificada y uso de fertilizantes, así como muy pocos apoyos por parte de gobierno. Por otro lado, la segunda región muestra un porcentaje muy bajo en créditos y apoyos de gobierno, infraestructura de riego y diversidad de cultivos. Finalmente, la tercera región tiene un bajo grado de acceso a apoyos de gobierno y diversidad de cultivos.

De acuerdo con las 20 regiones rurales del municipio de Guasave, los resultados que obtuvieron los autores con esta investigación muestran que ocho de ellos tienen muy baja vulnerabilidad, cinco tienen baja, dos tienen media, tres tienen alta y dos tienen muy alta vulnerabilidad y se muestran espacializados en la figura 7. Dentro del rango de vulnerabilidad se pueden considerar desde media a muy alta vulnerabilidad, en los cuales entran 7 regiones donde viven 51,569 habitantes, es decir cerca del 50% de esta población vive en áreas vulnerables al cambio climático de acuerdo con los censos de 2010.

Figura 7. Espacialización de vulnerabilidad agrícola en Guasave



Fuente: Ahumada y Otros, 2015

La vulnerabilidad agrícola ante el cambio climático se explica a través de la sensibilidad, exposición y capacidad de adaptación, donde se presentan correlaciones lineales en las dos primeras, es decir que, si alguna de estas aumenta, la vulnerabilidad lo hace, caso contrario a la capacidad de adaptación. Los indicadores que tuvieron más peso para la exposición y sensibilidad fueron la población, cobertura de servicios y salud, mientras que para la capacidad de adaptación fueron la agricultura y la infraestructura. Los resultados muestran que la herramienta que utilizaron los autores es muy factible para determinar la vulnerabilidad ante el cambio climático en áreas pequeñas o a niveles locales y puede ser adaptada a diversos sectores y escalas.

Como conclusión, existen pocos estudios de cambio climático que se hayan realizado a escalas muy pequeñas, los autores sostienen que la escala BCA (geoestadístico) es útil para expresar la vulnerabilidad en el sector agrícola en el país a niveles locales para la

implementación de estrategias de adaptación la cual puede contribuir a la reducción de la vulnerabilidad en lugares donde se producen alimentos como es el caso de Guasave el cual ha incrementado la sustentabilidad en el sector agrícola y mejorado la seguridad alimenticia.

Una de las limitaciones de este método consiste en la recopilación de información y de variables debido a la escasez de información viable y su incorporación con el conocimiento local, estudios a futuro consideran la reducción del número de variables y en lugar de ello incorporar el conocimiento local a través de entrevistas a los productores. Este tipo de evaluaciones son validadas a través de datos históricos de la región, por ejemplo, la presencia de sequías o inundaciones que impliquen un riesgo a la población.

En el cuadro 11 se presenta una comparación entre las investigaciones mencionadas en este apartado con la finalidad de conocer estudios sobre vulnerabilidad ante cambio y variabilidad climática en México, como se puede observar la metodología empleada en ambos corresponde al método de pesos iguales ya que según los autores es la forma más integral de abordar a la vulnerabilidad a través de sus tres componentes: exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación.

Cuadro 11. Comparación de estudios de vulnerabilidad en el sector agrícola a nivel nacional

	Dos métodos para evaluar la vulnerabilidad agrícola ante el cambio climático en el sector agrícola en México	Herramienta para la evaluación de la vulnerabilidad ante cambio climático en el sector agrícola en México
Zona de estudio	México	Guasave, Sinaloa
Objetivo	Contribuir al estudio de la integración de métodos asignando pesos a las variables que determinen la vulnerabilidad	Evaluar la vulnerabilidad local ante cambio climático en el sector agrícola por medio de un indicador que permita proponer estrategias específicas de adaptación
Tipo de vulnerabilidad	Vulnerabilidad agrícola	Vulnerabilidad agrícola
Variables	Indicadores de exposición Indicadores de sensibilidad	Indicadores de exposición Indicadores de sensibilidad

	Indicadores de capacidad adaptativa	Indicadores de capacidad adaptativa
Método	Análisis de Componentes Principales Método de Pesos Iguales	Método de Pesos Iguales

Fuente: Ahumada y Otros, 2015

En México el tema de la vulnerabilidad ha ido tomando importancia derivado de los cambios en el clima y los impactos que ha tenido este en diversos sectores. El sector agrícola se considera uno de los más sensibles ya que en condiciones de temporal puede presentar pérdidas debido a eventos climatológicos extremos repercutiendo no solo en los cultivos sino en las condiciones socioeconómicas de la población.

Existen diferentes contribuciones para medir, estudiar y evaluar la vulnerabilidad, las investigaciones mencionadas anteriormente son unas de las más importantes y reconocidas en esta materia y han servido como base para mejorar la investigación en esta materia a niveles regionales. Pese a la diversidad de métodos empleados para evaluar la vulnerabilidad, sobresalen dos: el Análisis de Componentes Principales y el método de pesos iguales. El primer método suele ser más rápido que el segundo, sin embargo, resulta ser más funcional cuando se trata de manera general, por ejemplo, a nivel nacional debido a la cantidad de información con la que se cuenta.

El método de pesos iguales es más riguroso ya que permite integrar variables para medir cada nivel de la vulnerabilidad, en este caso integrar los subíndices de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación. Es importante señalar que ambos métodos inician con un proceso de selección de variables que faciliten la explicación del comportamiento de cada componente, sin embargo al hablar en términos locales o regionales, este acceso a información puede ser muy escaso ya que muchas de las fuentes de información no cuentan con datos suficientes a este nivel, sin embargo, ambas investigaciones muestran que la información a nivel municipal es lo suficientemente completa como para caracterizar el grado de exposición, sensibilidad, capacidad de adaptación y vulnerabilidad en el sector agrícola.

2.3. Estudios en el Estado de México

En este apartado se analizan dos estudios en la región que están relacionados con la productividad agrícola del Distrito de Desarrollo Rural de Toluca, si bien no son estudios de vulnerabilidad se considera a éstos como una base importante para el conocimiento, caracterización y diagnóstico de la zona.

2.3.1. Efectos del cambio climático en el sector primario de dos especies de importancia económica para el Estado de México

Investigación realizada por Vitoria Velásquez y Antonio González del Colegio de Geografía perteneciente a la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad Nacional Autónoma de México en el 2011. El objetivo de la investigación consistió en evaluar los efectos del cambio climático bajo diferentes escenarios, modelos y períodos en el maíz de grano y papa del Estado de México, el estudio estuvo enfocado en determinar los posibles escenarios donde el cambio climático puede impactar a estos cultivos, para lo cual se hicieron proyecciones de 74 estaciones climatológicas (60 del estado y 14 de estados colindantes) para las décadas de 2030, 2050 y 2080 a partir de los modelos de circulación general HadCM3 y CGCM2 con los escenarios socioeconómicos A2 y B2 del Reporte Especial de Escenarios de Emisiones (SRES) del IPCC.

De acuerdo con el modelo HadCM3, el escenario A2 muestra un aumento en todos los periodos y no se presentan disminuciones en la precipitación, mientras que en el escenario B2 la precipitación de los meses iniciales presentan un ligero aumento con relación a la precipitación actual y en el mes de junio se presenta un aumento considerable disminuyendo en el mes de septiembre y reponiéndose de octubre a diciembre concentrándose la mayor parte al noroeste del Estado. En cuanto al modelo CGCM2 no existe precipitación en la zona noroeste de la entidad y la temperatura máxima anual muestra un incremento para años posteriores para los dos modelos y los dos escenarios, de acuerdo con el modelo HadCM3 la temperatura aumenta en el centro y noroeste del Estado mientras que las temperaturas mínimas disminuyen en la misma zona.

Los resultados obtenidos de la investigación muestran un aumento y disminución en las zonas “muy buenas” del cultivo de maíz con el modelo CGCM2 y con el modelo HadCM3 fueron benéficos para las zonas “muy buenas” y “buenas” debido a la precipitación y temperatura donde hay un incremento por lo que existen mayores zonas aptas para el desarrollo de este cultivo. Respecto al cultivo de papa los resultados cuantitativos apuntan una zona potencial apta para un futuro con ambos modelos y escenarios, sin embargo, el modelo espacial muestra un desplazamiento hacia el noreste de la entidad.

Los autores realizaron una comparación de las zonas actuales de maíz respecto al modelo CGCM2 en la cual se refleja que para la década de los 30 existirán zonas “muy buenas” pero para los años posteriores la zona más favorecida será la “medianamente apta” y con el modelo HadCM3 se proyecta un beneficio para las zonas “buenas” y “muy buenas”.

El primer paso del estudio consistió en realizar una caracterización física de la zona, partiendo de la ubicación del Estado de México respecto al territorio nacional, donde la entidad representa el 1.1% del porcentaje total y de este el 34% es de uso agrícola derivado de las condiciones naturales como el clima y las características fisiográficas de la región.

Para la generación de escenarios se utilizaron datos del Servicio Meteorológico Nacional de manera diaria hasta el 2007 para los estados de México, Guerrero, Hidalgo, Michoacán, Morelos, Puebla y Tlaxcala eligiendo aquellas estaciones que tienen 30 años o más de información de las variables de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación, obteniendo para las dos primeras promedios mensuales y para la tercera valores acumulados teniendo como período de estudio de 1961 a 1990 quedando así 74 estaciones. Una vez ordenados y rellenados los datos de cada estación se procedió a graduar cada variable y añadir cada carpeta de los predictores para posteriormente crear los escenarios A2 y B2 de los modelos HadCM_3 y el CGCM_2.

Para la generación de mapas con escenarios de cambio climático se utilizó el programa SDMS 4.2, el cual generó archivos que fueron procesados para cada estación en hojas de cálculo de Excel para obtener el promedio diario de 20 simulaciones. Una vez obtenidos esos

datos de cada estación se recopilaron por separado de acuerdo a cada variable y al modelo por escenario y por año de interés con un total de 34 mapas. A los archivos generados se les asignaron coordenadas geográficas de cada estación y se transformaron a datos vectoriales en el software ArcGis donde se realizó finalmente la interpolación de cada variable con el método “Inverse Distance Weighting” creando mapas mensuales en formato raster de modelos, variables y escenarios para los años 2030, 2050 y 2080.

Precipitación

Modelo CGCM2

De acuerdo con el modelo CGCM2, en el escenario A2 para el 2030 se prevé un aumento de la precipitación en el mes de junio, disminuyendo un poco en julio, pero seguirá siendo más alta que la actual, en el escenario B2 aumentará en forma gradual a partir de junio hasta agosto donde habrá un declive por debajo de la actual. En el año 2050 de acuerdo con el escenario A2 también se prevé un aumento de la precipitación entre junio y agosto, mientras que para el B2 la precipitación estará por arriba de la actual. Finalmente, para el año 2080 en el escenario A2 pese al incremento de la precipitación entre junio y julio para el mes de agosto ésta disminuirá más que la actual por otro lado en el escenario B2 se presenta el mayor aumento en relación con otros períodos.

Los resultados muestran que este tipo de fluctuaciones de precipitación podrían ser positivas para los cultivos de maíz y papa ya que se encuentran en el rango óptimo para el desarrollo de los mismos. En cuanto al maíz, el año más favorecedor es el 2030 bajo el escenario A2 ya que las zonas “muy buenas” tendrán un alto rendimiento mientras que en la papa su beneficio estará en las zonas “buenas”.

Por otro lado, de acuerdo con el modelo HadCM3 bajo el escenario A2 para el 2030 existirá un aumento de precipitación media estatal para el mes de agosto mientras que para el año 2080 el aumento que más se observa es en los últimos tres meses del año. Con el escenario B2, la precipitación de los meses iniciales presenta un ligero aumento en relación con la actual, no obstante, aumenta considerablemente en junio y disminuyendo en septiembre, pero reponiéndose de octubre a diciembre. De acuerdo con los datos obtenidos, el cultivo que se

verá más beneficiado es el maíz por lo que se obtendrán mejores rendimientos en las zonas “muy buenas”, en el caso de la papa también se tendrán buenos rendimientos y producción en las zonas “buenas”, sin embargo, la precipitación afectó a la papa desplazándola hacia el norte del estado.

Al hacer una comparación del valor máximo de la precipitación del modelo CGCM2 con el valor máximo actual existe un aumento en todos los escenarios y periodos, pese a este aumento en algunas áreas en otras también se proyecta una precipitación menor a la actual, los resultados más drásticos se presentan en el modelo HadCM3 en ambos escenarios.

En cuanto a la temperatura los valores máximos de las temperaturas máximas anuales muestran un incremento para años posteriores en ambos modelos y escenarios, pero el más representativo ocurre en 2080 bajo el escenario A2 del modelo HadCM3 en el centro y noroeste del Estado. En cuanto a la temperatura mínima se muestra el mismo fenómeno que en las máximas donde para el año 2080 bajo el escenario A2 éstas disminuyen en el centro y noroeste del Estado, esta situación pronostica que algunos cultivos se pueden ver beneficiados de acuerdo con la temperatura mínima alejando los peligros de heladas que siniestran los cultivos de temporal, sin embargo en cuanto a la temperatura máxima algunos cultivos presentan límites como es el caso del maíz con 47°C y la papa con 30°C. Respecto a lo anterior, en ambos modelos existen aumentos significantes de temperatura en relación a la actual, por lo que el maíz para el año 2030 presentará un auge y en los siguientes períodos una disminución, la papa en contra parte muestra un impacto más espacial, es decir que existe un desplazamiento hacia la zona norte del Estado a consecuencia de los cambios de temperatura.

El impacto positivo del cambio climático se presenta en el maíz con el modelo CGCM2 donde las zonas “muy buenas” para el 2030 bajo ambos escenarios aumentan la superficie en relación a la actual, sin embargo, para el 2050 pasa lo contrario, mientras que con el modelo HadCM3 se proyecta un beneficio para las zonas “muy buenas” y “buenas” debido a que existirá un aumento de temperatura y precipitación propiciando áreas más aptas para este cultivo. Por otro lado, la papa presenta cambios menos bruscos en cuanto a superficies en

ambos modelos donde las zonas “buenas” dominan para todos los años y escenarios, sin embargo, la superficie “muy buena” se reduce a la mitad en ambos escenarios con respecto a la actual lo que puede ocasionar pérdidas productivas. Así como en el maíz se observa un desplazamiento hacia el norte el Estado dejando las áreas que se dedican a este cultivo sin ninguna posibilidad de su siembra lo que puede afectar a los productores.

Las superficies con potencial muy apto para maíz pueden sufrir modificaciones benéficas y perjudiciales, el modelo que estima cambios benéficos es el HadCM3 ocurriendo lo contrario con el CGCM2. En cuanto a la papa la superficie apta sufre ligeras pérdidas con escenarios de cambio climático en los modelos y años estudiados, bajo cambio climático es la que presenta cambios más drásticos en cuanto a la distribución espacial comparada con la actual.

2.3.2. Cambio climático y efectos en la fenología del maíz en el DDR-Toluca

Esta investigación fue realizada por Rebeca Granados y Alejandro Sarabia por parte del departamento de Geografía Física de la Universidad Nacional Autónoma de México y publicada como artículo en la Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas en 2013. El objetivo del estudio fue analizar las posibles alteraciones que puede traer el cambio climático en la producción de maíz de temporal en el DDR Toluca. De acuerdo con la investigación, los resultados obtenidos con el modelo de cambio climático Hadley con los escenarios A2 y B2 muestran que las variables de temperatura y precipitación tendrán implicaciones negativas en el desarrollo fenológico del maíz.

La fenología estudia la secuencia temporal de distintas fases periódicas de las plantas y sus relaciones con el clima y el tiempo atmosférico como son: aparición de las primeras hojas, floración, maduración de frutos, etc. y tienen relaciones con las condiciones de la temperatura y la precipitación. De acuerdo con lo anterior, cada planta presenta límites mínimos, óptimos y máximos, algunas son susceptibles a temperaturas altas en las primeras fases fenológicas y pueden resistir altas o bajas temperaturas, de la misma manera la cantidad de agua es vital por lo que el exceso de precipitación durante las primeras fases puede afectar a los retoños y

más si va acompañada de granizo lo cual puede afectar a la producción, las condiciones de sequía también son fundamentales en este proceso.

El primer paso para realizar la investigación consistió en realizar entrevistas a productores de comunidades pertenecientes al DDR Toluca para conocer el tipo de maíz que se siembra en la región, los cuales son el maíz blanco y sus variedades principales son: H-23, 28, 30, 33 y 34 y su período de crecimiento oscila entre los 160 – 170 días del 20 de abril al 31 de mayo para siembra y del 11 de octubre al 15 de diciembre para cosecha. A través de recopilación bibliográfica se integraron los niveles de aptitud y potencial productivo del maíz, así como los requerimientos (mínimos, óptimos y máximos) por fase fenológica del cultivo.

Posteriormente, se obtuvieron las anomalías de temperatura y fluctuaciones de precipitación del Modelo de Circulación General (MCG) Hadley en forma mensual bajo escenarios A2 que consideran incrementos de Gases de Efecto Invernadero de 850 ppm y B2 que proyecta emisiones de 620 ppm para el 2050, los cuales fueron ordenados por ciclo agrícola y fase fenológica. Se construyeron gráficas y diagramas ombrotérmicos en los cuales representaron las cinco fases fenológicas manejadas por los agricultores y expertos en estudios de maíz, las cuales son: germinación, crecimiento vegetativo, floración, formación del fruto y madurez. Los diagramas ombrotérmicos definen condiciones de humedad respecto a la temperatura donde la intersección de las curvas de temperatura y precipitación forman polígonos que se refieren al área que representa un aporte de lluvia entre 60 y 100 mm que mantiene el suelo húmedo y libre de estrés para la planta.

Los resultados muestran en el escenario base que en verano la temperatura mínima de la región osciló entre 5.7 y 8.4 °C los cuales representan un valor inferior al de los parámetros óptimos para el desarrollo del maíz el cual debe ser mayor a 10°C. Por otro lado, las temperaturas máximas fueron entre 19.1 y 22.5°C lo cual permite el buen desarrollo de la planta. Las condiciones ombrotérmicas normales en verano reportaron temperatura media mensual entre 13.1 y 14.8°C y la precipitación fue de 701 mm, mayo alcanzó una condición húmeda lo cual propició la buena germinación del cultivo.

De acuerdo con el estudio, la intersección de la información climática y requerimientos termopluviométricos del cultivo dieron como resultado que el maíz de temporal de la región se halle en condiciones medianamente aptas (mA) y potencial productivo medio presentando una tasa de crecimiento del 1.9% y rendimiento promedio de 4.6 t/ha de 1996 al 2010, donde en el mismo período se presentó una sequía cuantificada entre el 15 – 20% que causó una disminución en rendimientos.

El modelo Hadley bajo el escenario A2 a 2050, simuló los incrementos de la temperatura y porcentajes de precipitación ante la duplicación del CO₂, donde la temperatura media aumenta 1.3°C, de acuerdo con los requerimientos óptimos de temperatura para el maíz (20 a 25°C), el escenario base reporta 14.8°C, mientras que el escenario A2 del modelo Hadley reportó 16.1°C lo cual beneficiaría al cultivo de maíz para las fechas de siembra. En cuanto a la fase de crecimiento vegetativo (junio y julio) el escenario de referencia reportó una temperatura de 14.5 y 13.6°C lo cual resulta poco favorable para el desarrollo de la planta ya que la temperatura recomendable es de $\geq 15^{\circ}\text{C}$ mientras que con las proyecciones del escenario A2 se tendría un incremento de 15.9 y 14°C lo cual favorecería a la planta en esta fase. En lo que corresponde a la floración (agosto) la temperatura óptima oscila entre 20 – 30°C, el aumento ascendió 1.3°C respecto a la normal, aun cuando se presente este incremento hacia el año 2050 no se encontrará en los niveles óptimos térmicos. En cuanto a la fase de madurez (octubre) las necesidades deben ser entre 20-30 °C, aun cuando se proyecta un aumento de 1.5 °C a 2050 se encontrará lejos de los niveles óptimos. En lo que se refiere a temperaturas mínimas se espera que éstas aumenten cerca de 2.5 °C y en las máximas 2°C, aun así, no se alcanzarían los valores óptimos, pero serán positivos en cuanto a la disminución de heladas y un ligero beneficio en el desarrollo de las fases fenológicas del cultivo. Este escenario muestra que en 2050 existirá un aumento de precipitación en verano del 93% respecto al total. Entre el mes de abril y mayo se presenta el polígono de condición húmeda el cual es propicio para la siembra y proliferación de la germinación del maíz.

De acuerdo con el modelo Hadley bajo escenario B2 a 20150, la temperatura escenifica un aumento de 1.4 °C durante el invierno. Los valores para el ciclo agrícola primavera – verano son similares a los resultados obtenidos en el escenario A2 con una diferencia de <0.5 °C, de

igual forma se escenifica un aumento de la temperatura mínima de primavera a verano de 2.2 °C y la máxima de 2.3 °C lo cual muestra que las temperaturas se ubicarán cercanas a los parámetros recomendados. Los niveles de precipitación simulados para el ciclo primavera – verano serán de 907.3 mm lo que representa un aumento de 114 mm con respecto al escenario base.

El modelo Hadley en los escenarios A2 y B2 aplicados en este estudio mostraron que los incrementos simulados en temperatura son beneficiosos para el cultivo al aumentar las temperaturas mínimas en verano lo cual disminuiría las heladas que siniestran frecuentemente los cultivos de temporal. Por otro lado, el aumento de la precipitación proyectada será mínima por lo que el aumento en niveles de evapotranspiración será poco. En caso de las reducciones proyectadas para la fase de floración en ambos escenarios se puede afectar la producción, sin embargo, un buen manejo del cultivo puede reducir los daños y posibles impactos en rendimientos, para la formación de grano en el escenario B2 se pueden presentar bajas en la producción que pueden atenuarse mediante la aplicación de prácticas agrícolas. De acuerdo con esto la zona está lejos de ser catalogada como muy apta para el cultivo del maíz, pero los aumentos escenificados mejorarán las condiciones a futuro.

Los ciclos biológicos de los organismos están relacionados con las condiciones ambientales donde se desarrollan por lo que pueden verse afectados por el cambio de temperatura y precipitación futuras. En cuanto a los cultivos del maíz, los requerimientos son más elevados a los existentes en el DDR Toluca aún con los aumentos esperados a 2050. La temperatura media, mínima y máxima, así como la precipitación del escenario A2 y B2 del modelo Hadley a 2050 fueron comparadas con los requerimientos termopluviométricos del maíz, por lo que se sugiere que el aumento de la temperatura favorecerá en general a todas las fases fenológicas de maíz, pero la escasez de agua podría provocar el desarrollo de plaga y enfermedades que impactarán en la producción.

Como conclusión, es importante conocer las anomalías que podrían presentarse en cuanto a temperatura y precipitación ante cambio climático para que los encargados del mejoramiento genético y nuevas variedades que consideren que dichas variedades deben poseer mayores límites de tolerancia, así como para los productores que puedan aplicar medidas de

adaptación como mejoras en el manejo de cultivos, cambios de variedades empleadas, conversión y diversificación de cultivos, entre otros.

El cuadro 12 presenta una comparación entre los dos estudios mencionados en el presente apartado respecto a investigaciones realizadas en el Estado de México respecto a agricultura y variabilidad climática donde se aplican modelos de circulación general para establecer escenarios hacia los años 2030 y 2050.

Cuadro 12. Comparación de estudios sobre agricultura y cambio climático en el Estado de México

	Efectos del cambio climático en el sector primario de dos especies de importancia económica para el Estado de México	Cambio climático y efectos en la fenología del maíz en el DDR-Toluca
Objetivo	Evaluar los efectos del cambio climático bajo diferentes escenarios, modelos y períodos en el maíz de grano y papa del Estado de México	Analizar las posibles alteraciones que puede traer el cambio climático en la producción de maíz de temporal en el DDR Toluca
Zona de estudio	Estado de México	Distrito de Desarrollo Rural - Toluca
Tipo de estudio	Proyecciones de cultivos bajo escenarios de cambio climático	Proyecciones de cultivos bajo escenarios de cambio climático
Variables	Temperatura Precipitación Zonas de cultivo de maíz Zonas de cultivo de papa	Temperatura Precipitación Evapotranspiración Zonas de cultivo de maíz
Método	Simulación de escenarios con el Modelo de Circulación General HadCM3 (escenario A2 y B2) y el CGCM2 (escenario A2 y B2). Interpolación cartográfica	Simulación de escenarios con el Modelo de Circulación General Hadley (escenario A2 y B2).

Fuente: elaboración propia, 2017

Como se puede observar, hasta el momento no se han reportado evaluaciones de vulnerabilidad en el sector agrícola a nivel estado, región o municipio en el Estado de México, las aportaciones más significativas en esta materia consisten en la elaboración de diagnósticos que cuantifican y miden los impactos de los cambios en el clima en los sistemas agrícolas, por otro lado, resalta el esfuerzo de la comunidad científica por generar estudios que presenten modelos y proyecciones que muestren un posible escenario para los cultivos a corto, mediano y largo plazo a través del uso de Modelos de Circulación General.

En el caso del maíz ambas investigaciones reportan que los aumentos en la temperatura resultan beneficiosos para la mayoría de escenarios y modelos ya que la disminución de heladas y el aumento de hasta 2°C en la temperatura media anual implican un beneficio para este grano. Por otro lado, las temperaturas muestran un aumento en la mayor parte del territorio, esto por una parte puede verse beneficioso debido a la disponibilidad de agua, sin embargo, los aumentos en este parámetro pueden incrementar el número e intensidad de inundaciones o deslizamientos que podrían afectar a los cultivos sobre todo en épocas de lluvias. Si bien los resultados de ambas investigaciones muestran que el maíz tiende a verse beneficiado por los cambios en el clima no se puede descartar que hay un porcentaje mínimo que afirma que esta condición puede afectar la producción del grano lo que podría poner en riesgo no solo al cultivo sino también a la población que depende de éste considerando que gran parte de la población rural de la entidad se dedica al cultivo de maíz de temporal, es por eso que resulta fundamental evaluar el grado de vulnerabilidad actual y futura que se presenta en los cultivos de maíz y la población dependiente de estos.

CAPÍTULO 3.
CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO FÍSICO Y DIAGNÓSTICO
RETROSPECTIVO DEL CLIMA Y LOS CULTIVOS DE MAÍZ DE TEMPORAL

En el presente capítulo se presenta el desarrollo de la caracterización del medio físico del Distrito de Desarrollo Rural 073 Toluca abarcando desde la localización de la zona en el territorio mexicano, así como las características fisiográficas y climatológicas de la región para conocer la fisiografía y el entorno físico, así como las condiciones del medio natural que son determinantes para el desarrollo de los cultivos de maíz de temporal en el Distrito.

3.1. Caracterización ambiental del DDR 073 – Toluca.

3.1.1. Ubicación geográfica

El Estado de México se ubica en la región centro – sur de la República Mexicana (figura 8), cuenta con una superficie territorial de 21, 461 km^2 , representando el 1.1 % del territorio nacional y se encuentra conformado por 125 municipios con 4,786 localidades. La entidad se encuentra dividida en ocho regiones llamadas Distritos de Desarrollo Rural a saber: 073 Toluca, 074, Zumpango, 075 Texcoco, 076 Tejupilco, 077 Atlacomulco, 078 Coatepec Harinas, 079 Valle de Bravo y 080 Jilotepec (figura 9), el objetivo de dicha regionalización es la adaptación de las características del estado y la satisfacción de las instituciones encargadas de mediar al sector agrícola (Sarabia, 2011; CEPF, 2001).

La zona de estudio corresponde al DDR 073 – Toluca, que está ubicado en la parte central del estado y se sitúa entre los 18°59'04'' y los 19°34'54'' de latitud norte y los 99°14'43'' y 99°56'27'' de longitud oeste a una altitud de 2,680 msnm y se encuentra conformado por 23 municipios: Almoloya del Río, Almoloya de Juárez, Atizapán, Calimaya, Capulhuac, Chapultepec, Jiquipilco, Lerma, Metepec, Mexicaltzingo, Ocoyoacac, Oztolotepec, Rayón, San Antonio la Isla, San Mateo Atenco, Temoaya, Tenango del Valle, Texcalyacac, Tianguistenco, Toluca, Xalatlaco, Xonacatlán y Zinacantepec (figura 10), y tiene una superficie total de 298,800 hectáreas (Soria y Sotelo, 2010; Sarabia, 2011).

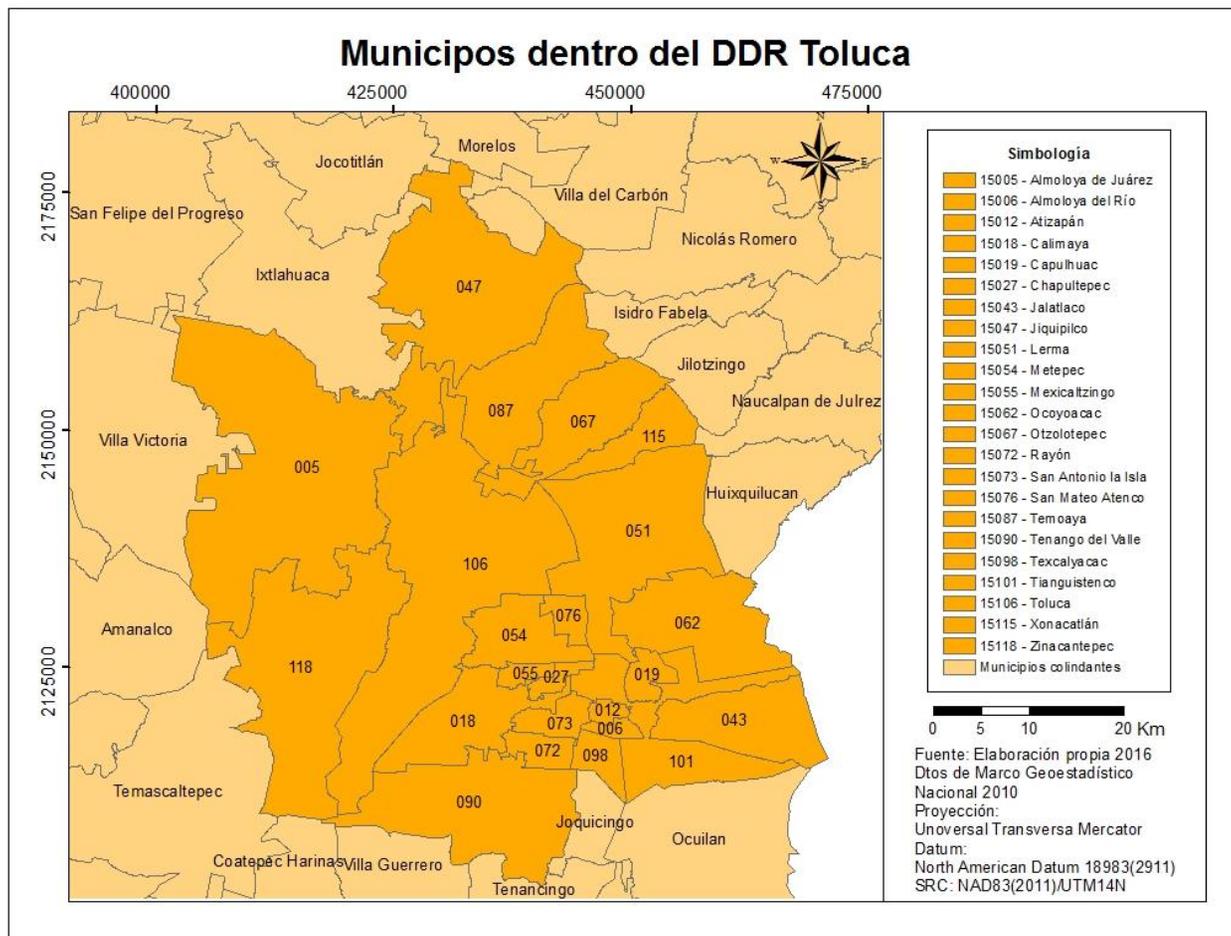
Figura 8. Ubicación geográfica del Estado de México



Figura 9. Distritos de Desarrollo Rural en el Estado de México



Figura 10. Municipios del DDR 073 Toluca



3.1.2. Climatología

De acuerdo Sarabia (2011), los climas predominantes en el estado de México son los cálidos y semicálidos, templados húmedos, subhúmedos y semifríos, los cuales son condicionados por la diferencia de altitud que oscilan entre los 1,130 a 4,558 msnm. Por otro lado, de acuerdo con información de Casa, (1997) publicado por la CONABIO, (2001) se muestra una clasificación de climas en el Estado de acuerdo con la clasificación de Köppen como se presenta en el cuadro 13.

Cuadro 13. Tipo de clima y porcentaje de superficie en el Estado de México

Clasificación	Superficie
Cálido subhúmedo con lluvias en verano - A (w)	10.32 %
Semicálido subhúmedo con lluvias en verano - AC (w)	10.36 %
Templado subhúmedo con lluvias en verano - C(w)	61.82 %
Semifrío húmedo con abundantes lluvias en verano - C(E) (m)	0.67 %
Semifrío subhúmedo con lluvias en verano - C (E) (w)	10.90 %
Semiseco templado - BS1k	5.77 %
Frío – E (T)	0.16 %

Fuente: Elaboración propia con base en datos de INEGI 2014

La región que comprende al DDR Toluca presenta condiciones de valles altos, cuyas temperaturas oscilan entre los 10 y 17°C en promedio al año, sin embargo, en las partes altas se presentan temperaturas por debajo de los 0°C teniendo como consecuencia fuerte heladas que inician a partir de las últimas semanas de septiembre y las precipitaciones varían de 800 a 1250 mm anuales (Soria y Sotelo, 2011).

Sarabia (2011), señala que el clima predominante en la región es el templado que cubre aproximadamente el 80% de la superficie total con temperaturas medias anuales que varían entre los 10 y 14°C y precipitaciones que van de los 800 a los 1,110 mm, el resto de la superficie presenta climas fríos que van de los -4 a 2°C en promedio al año con precipitaciones abundantes de entre 1,200 a 1,500 mm y semifríos que van de los 5 a los 12°C en promedio al año con precipitaciones de ente 1,000 a 1,5000 mm y se encuentran distribuidos en las zonas suroeste, sureste y noreste (cuadro 14 y figura 11).

Cuadro 14. Climas del DDR Toluca

Clasificación	Símbolo
Frío	E(T)
Semifrío húmedo con abundantes lluvias en verano	C(E)(m)
Semifrío subhúmedo con lluvias en verano	C(E)(w)
Templado subhúmedo	C(w)

Fuente: Elaboración propia con base en datos de CONABIO, 2001

3.1.3. Edafología

Sotelo y otros (2006), reportan que los suelos que predominan en el Estado de México son los Andosoles con 4,799.08 km² (centro – oeste, centro – este y sureste), Feozems con 4, 727 km² (norte), Regosoles 2,656.83 km² (zona de Tejupilco y límites con Guerrero y Michoacán), Vertisoles con 2, 414 km² (valle de Ixlahuaca – Atlacomulco, Jilotepec y Texcoco), Cambisoles 1,960.47 km² (sur) y Leptosoles con 1, 749.68 km² (límites con Morelos), sin embargo, de acuerdo con esto, la mayor superficie agrícola del Estado se localiza en: el Valle de Toluca, donde predominan los suelos Feozems; Valle de Ixtlahuaca – Atlacomulco, Jilotepec y Texcoco donde predominan los suelos Vertisoles, de ahí deriva la importancia que tienen estas zonas para el desarrollo de la agricultura siendo los principales productores de la entidad, especialmente del maíz bajo condiciones de temporal.

En lo que corresponde al Distrito de Desarrollo Rural en Toluca los suelos predominantes corresponden a: Acrisol, Andosol, Cambisol, Feozem, Fluvisol, Histosol, Leptosol, Luvisol, Planosol, Regosol y Vertisol (figura 12).

El suelo Acrisol (A) es un suelo ácido, se encuentran en zonas tropicales o templadas muy lluviosas, en condiciones naturales tienen vegetación de selva o bosque y se caracterizan por tener acumulación de arcilla en el subsuelo, su color generalmente es rojo, amarillo o amarillos claros con manchas rojas y son pobres en nutrientes, cuando se usan para la agricultura tienden a obtener rendimientos muy bajos, sin embargo son ideales para la

conservación del uso de suelo forestal, se localizan en la zona norte de la región (INEGI, 2004).

Los suelos Andosoles (T) son de origen volcánico, se constituyen principalmente de ceniza que contiene un alto grado de alófono lo que le confiere ligereza y untuosidad al suelo. Son generalmente de color oscuro y tienen alta capacidad de retención de humedad, en condiciones naturales presentan vegetación de bosque o selva, mientras que en cuestiones de producción agrícola presentan bajos rendimientos debido a que retienen altas cantidades de fósforo el cual no puede ser absorbido por las plantas y son muy susceptibles a erosión, su uso ideal es el forestal (INEGI, 2004). En el DDR Toluca este tipo de suelos cubren la mayor área en la parte suroeste donde la mayor parte se destina al uso forestal y pastizal (Sarabia, 2011).

Los suelos Cambisoles (B) son suelos jóvenes poco desarrollados donde se puede encontrar en cualquier tipo de vegetación o clima excepto en zonas áridas, se caracterizan por presentar en el subsuelo una capa de terrones que presentan vestigios del tipo de roca subyacente y puede tener pequeñas acumulaciones de arcilla, carbonato de calcio, fierro o manganeso. Son suelos abundantes y se destinan a muchos usos, sus rendimientos son variables ya que dependen del clima donde se encuentren (INEGI, 2004). En la región, los suelos Cambisoles se encuentran en pequeñas áreas localizadas al noroeste y se les da un uso agrícola y forestal principalmente con rendimientos moderados (Sarabia, 2011).

Los suelos Feozem (H) se pueden presentar en cualquier tipo de relieve y clima excepto en regiones tropicales lluviosas o zonas muy desérticas, es el cuarto tipo de suelo más abundante a nivel nacional y se caracteriza por tener una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y nutrientes. Son suelos de profundidad muy variable, cuando son profundos se encuentran en terrenos planos y se utilizan para la agricultura de riego o temporal con rendimientos altos, por otro lado, los menos profundos se localizan generalmente en laderas o pendientes y son de bajos rendimientos, sin embargo, puede utilizarse para el pastoreo, su uso óptimo depende de las características del terreno y la disponibilidad del agua (INEGI, 2004). En el DDR Toluca es el suelo más importante ya que cubre la mayor parte del territorio y es designado para la agricultura tanto de riego como de temporal (Sarabia, 2011).

Figura 11. Climas del DDR 073 Toluca

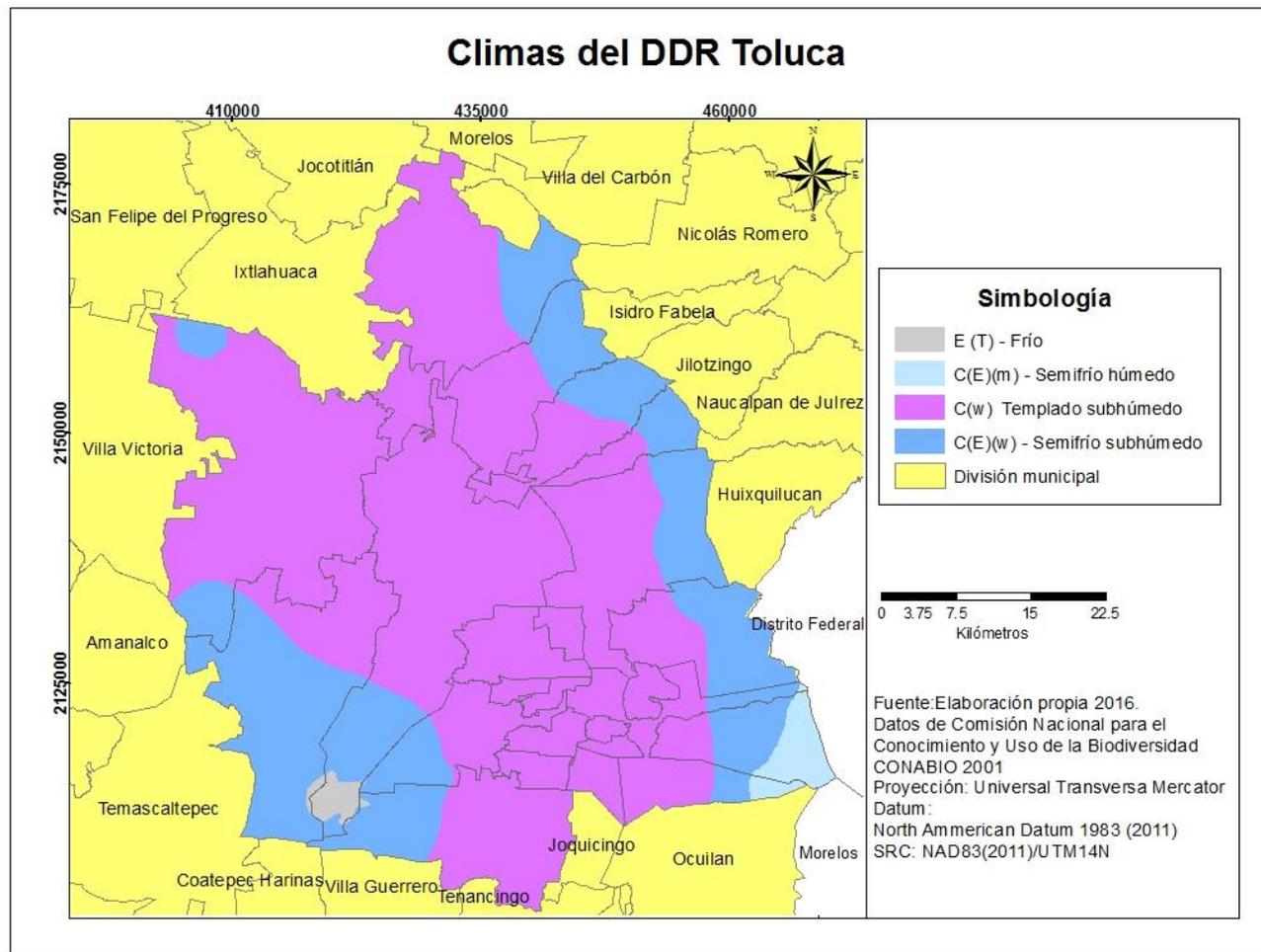
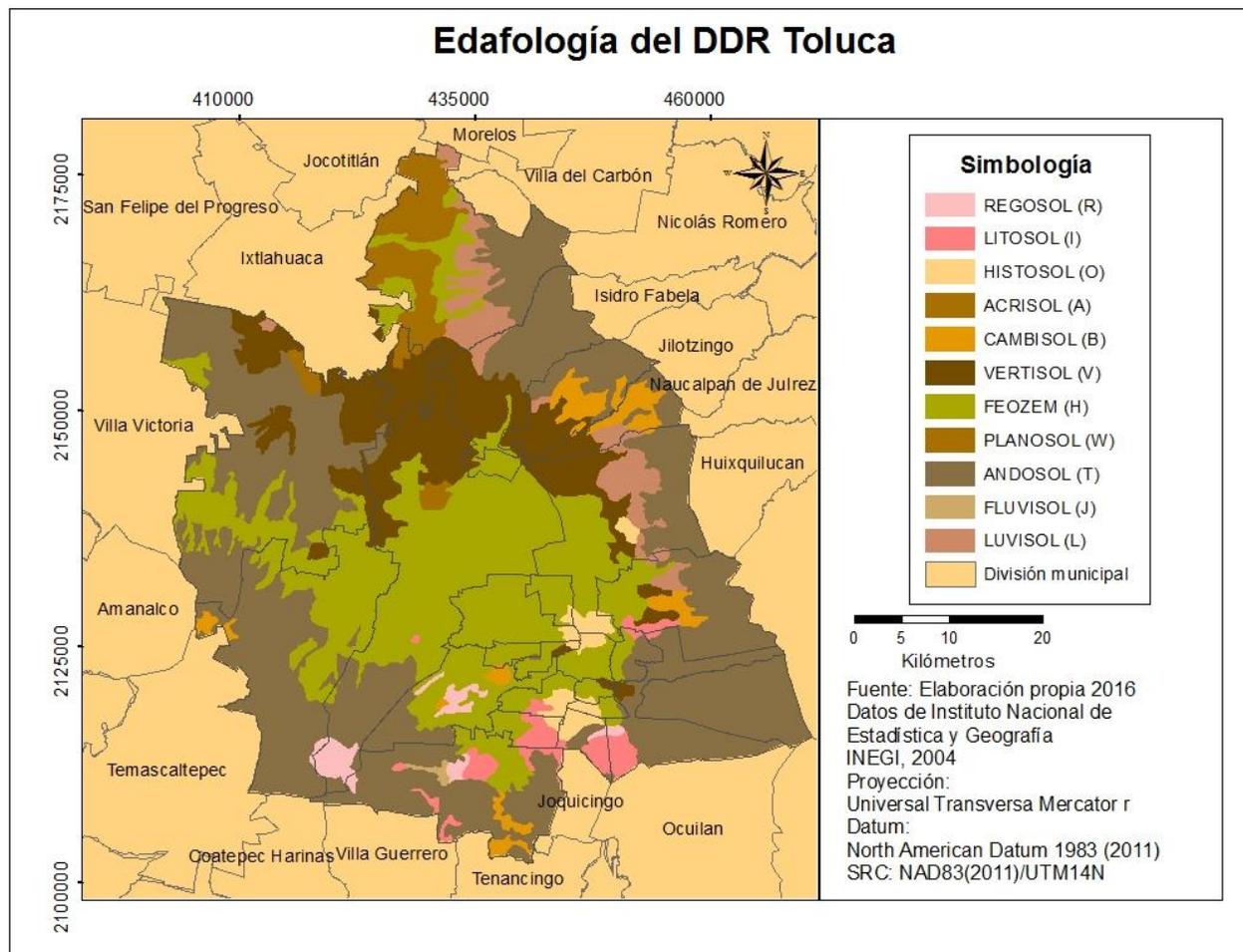


Figura 12. Edafología del DDR 073 Toluca



Los suelos Fluvisoles (J) se caracterizan por estar formados de materiales acarreados por el agua, son suelos poco desarrollados, medianamente profundos y presentan una estructura débil. Se encuentran en todos los climas y regiones a nivel nacional cercanos siempre a lechos o ríos desarrollándose especies como los ahuehuetes, ceibas y sauces. Estos suelos presentan capas alternadas de arena con piedra o gravas como efecto de las corrientes, sus usos y rendimientos dependen de la subunidad del Fluvisol, los más apreciados para el desarrollo agrícola son los mólicos y calcáricos por tener mayor disponibilidad de nutrientes (INEGI, 2004). En el DDR Toluca se encuentran ubicados en la parte este de la región.

Los suelos Histosoles (O) son suelos de tejidos orgánicos con muy alto contenido de materia orgánica, generalmente son de color negro, esponjosos, ligeros y con alta capacidad de retención de humedad y se encuentran restringidos a sitios donde se acumulan desechos orgánicos y agua tales como pantanos y lechos de antiguos lagos, frecuentemente tienen olor a podrido y una importante acumulación de salitre. La vegetación típica de estos suelos es pastizal o popal y en la actividad agrícola se aprovechan para crear hortalizas con resultados buenos dependiendo del grado de sales, capacidad de drenaje y fertilidad (INEGI, 2004). En la región los Histosoles se localizan en la parte sureste y son utilizados para la agricultura de riego obteniendo resultados favorables (Sarabia, 2011).

Los suelos Litosoles (I) son los suelos más abundantes a nivel nacional ya que ocupan 22 de cada 100 hectáreas de suelo, se encuentran en todos los climas y con muy diversos tipos de vegetación. Se caracterizan por su profundidad menor de 10 cm, su fertilidad natural y erosión es muy variable dependiendo de los factores ambientales en los que se encuentre y su uso depende de la vegetación que los cubre, en algunos casos se destinan a la agricultura sobre todo para el maíz o nopal condicionado a la presencia de agua (INEGI, 2004). En la región se encuentran ubicados al sur y las actividades que se realizan en ellos son la forestal y la agrícola, siendo la primera la más apta (Sarabia, 2011).

Los suelos de tipo Luvisol (L) se encuentran en zonas templadas o tropicales lluviosas, la vegetación es generalmente bosque o selva y se caracterizan por tener un enriquecimiento de arcilla en el subsuelo, son frecuentemente de color rojo o amarillo, aunque también se presentan en colores pardos. Este tipo de suelos se destinan principalmente a la agricultura con rendimientos moderados (INEGI, 2004). En la región se encuentran localizados al norte

y noroeste y son destinados a la agricultura y poco en actividad forestal y pastizales (Sarabia, 2011).

Los suelos Planosoles (W) se desarrollan generalmente en relieves planos y son susceptibles a inundaciones debido a que son medianamente profundos entre 50 y 100 cm y se encuentran en los climas templados y semiáridos. Su vegetación natural es pastizal o matorral y se caracterizan por presentar debajo de la capa superficial una capa infértil y delgada de material arcilloso, debajo de esta capa se presenta un subsuelo arcilloso, roca o tepetate impermeables. Se utilizan para la ganadería de bovinos, ovinos y caprinos y su rendimiento agrícola depende de la subunidad del Planosol (INEGI, 2004). En el DDR Toluca se encuentran localizados en el norte y noroeste de la zona y son destinados a la agricultura con rendimientos moderados, así como en la actividad forestal y pastizales (Sarabia, 2011).

Los suelos de tipo Regosol (R) se encuentran ubicados en diversos tipos de clima, vegetación y relieve, tienen poco desarrollo y por eso no presentan capas muy diferenciadas, en general son de color claro y pobres en materia orgánica. A nivel nacional constituyen el segundo tipo de suelo más importante por su extensión (19.2%), su fertilidad es variable y su productividad está condicionada a la profundidad y pedregosidad (INEGI, 2004). En la región los suelos Regosoles se utilizan para la agricultura de temporal y en menor proporción para actividad forestal (Sarabia, 2011).

Finalmente, los suelos de tipo Vertisol (V) son de climas templados y cálidos y su vegetación natural van de selvas bajas a pastizales y matorrales. Se caracterizan por su estructura masiva su alto contenido de arcilla, su color más común es el negro o gris oscuro. En cuanto al uso agrícola es muy extenso, variado y productivo por lo que son muy fértiles pero su dureza dificulta la labranza (INEGI, 2004). En la región se localizan principalmente en la porción norte, noreste y noroeste y se destinan a actividades agrícolas con buenos rendimientos (Sarabia, 2011).

Los suelos que presentan mayor potencial agrícola son los Feozem y Vertisoles ya que son aptos para el desarrollo de dicha actividad y se localizan al norte, noreste y noroeste de la región estableciendo dos tipos de agricultura: la de temporal y la de riego con condiciones

favorables para el desarrollo de cultivos como maíz, haba, papa, avena forrajera, frijol y alfalfa. (Sarabia,2011).

3.1.4. Características fisiográficas

El Estado de México se encuentra ubicado en dos provincias fisiográficas pertenecientes al Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur (Figura 13), aunque la mayor parte del territorio y toda la región correspondiente al DDR Toluca se encuentra dentro de esta primera, la cual constituye uno de los rasgos más característicos de la geología del país y marca el mecanismo que origina la presencia de zonas volcánicas (Demant, 1978).

El DDR Toluca se encuentra ubicado en su totalidad dentro del Eje Neovolcánico en la sub - provincia de Mil Cumbres como se muestra en la figura 13, de acuerdo con datos obtenidos de INEGI (2010). La región presenta cuatro tipos de roca a lo largo de la región las cuales son la volcanoclástica, arenisca, ígnea extrusiva básica e ígnea extrusiva intermedia. Como se puede ver en la figura 14, la mayor parte del territorio está conformado por rocas de tipo volcanoclástica seguido de rocas de tipo ígnea extrusiva básica de acuerdo con datos obtenidos de INEGI. En la región se distinguen cuatro tipos de unidades topográficas en las que sobresalen las llanuras en la parte central y ocupa la mayor parte del territorio, rodeado por lomeríos y sierras y una parte de menor proporción al norte de la región corresponde a llanuras (figura 15) (INEGI, 2005).

3.1.5. Uso de suelo

El Estado de México se distingue por la variedad y desarrollo de actividades económicas e interacción con los asentamientos humanos lo que ha originado una compleja distribución de los usos de suelo y de acuerdo con esto, el 85% de la superficie está ocupado por actividades agrícolas, forestales y pecuarias mientras que la urbana abarca el 4% del total de la superficie, es por esto que esta entidad es considerada una de las más importantes en sector agropecuario en el país (GEM, 2008; Sarabia, 2011). En el Distrito el uso de suelo predominante es el agrícola con un 44.2%, seguido por la superficie forestal con 28.8% y la pecuaria con el 11.5%, las cuales en total suman casi el 85% de la superficie del distrito (Cuadro 15 y figura 16).

Figura 13. Provincias fisiográficas del Estado de México y el DDR 073 Toluca

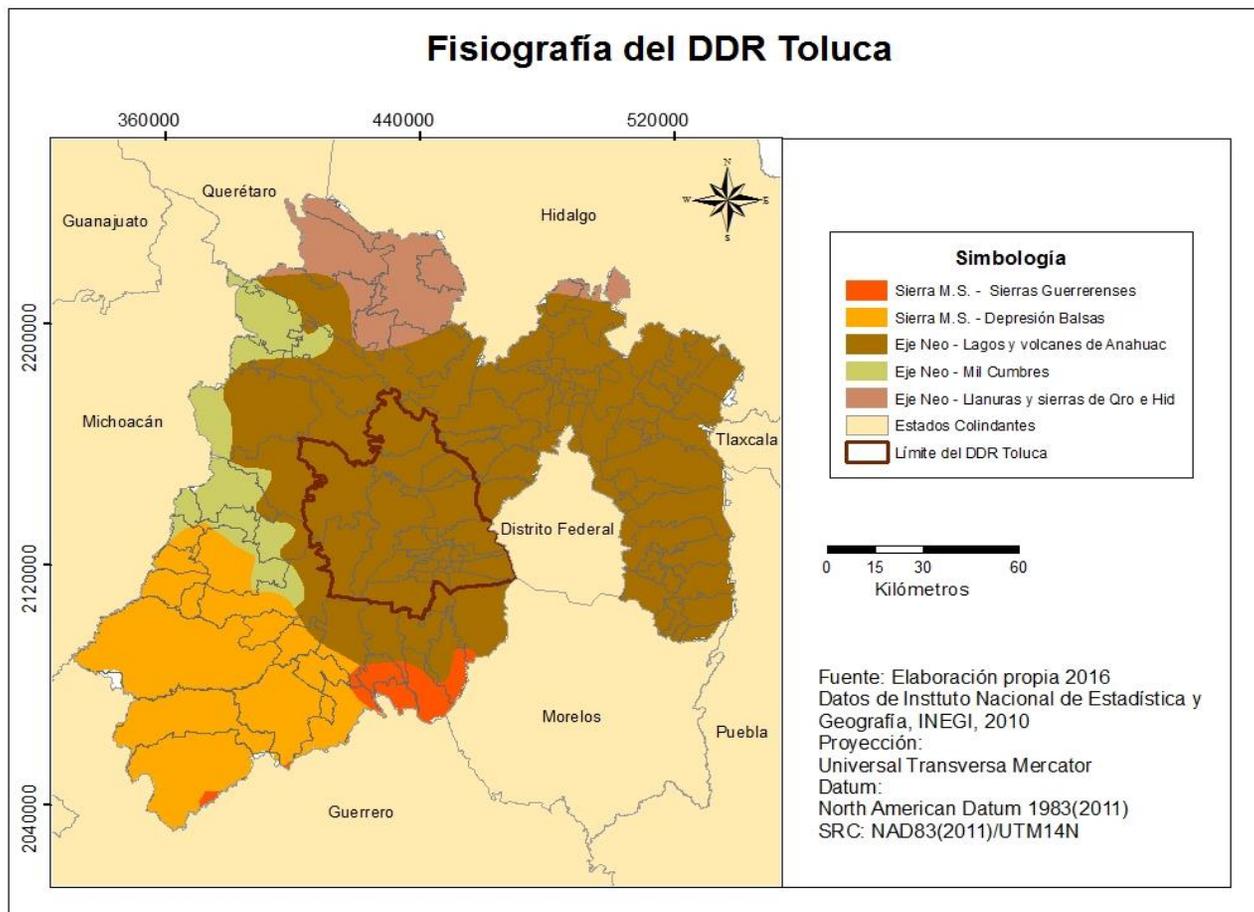


Figura 14. Geología del DDR 073 Toluca

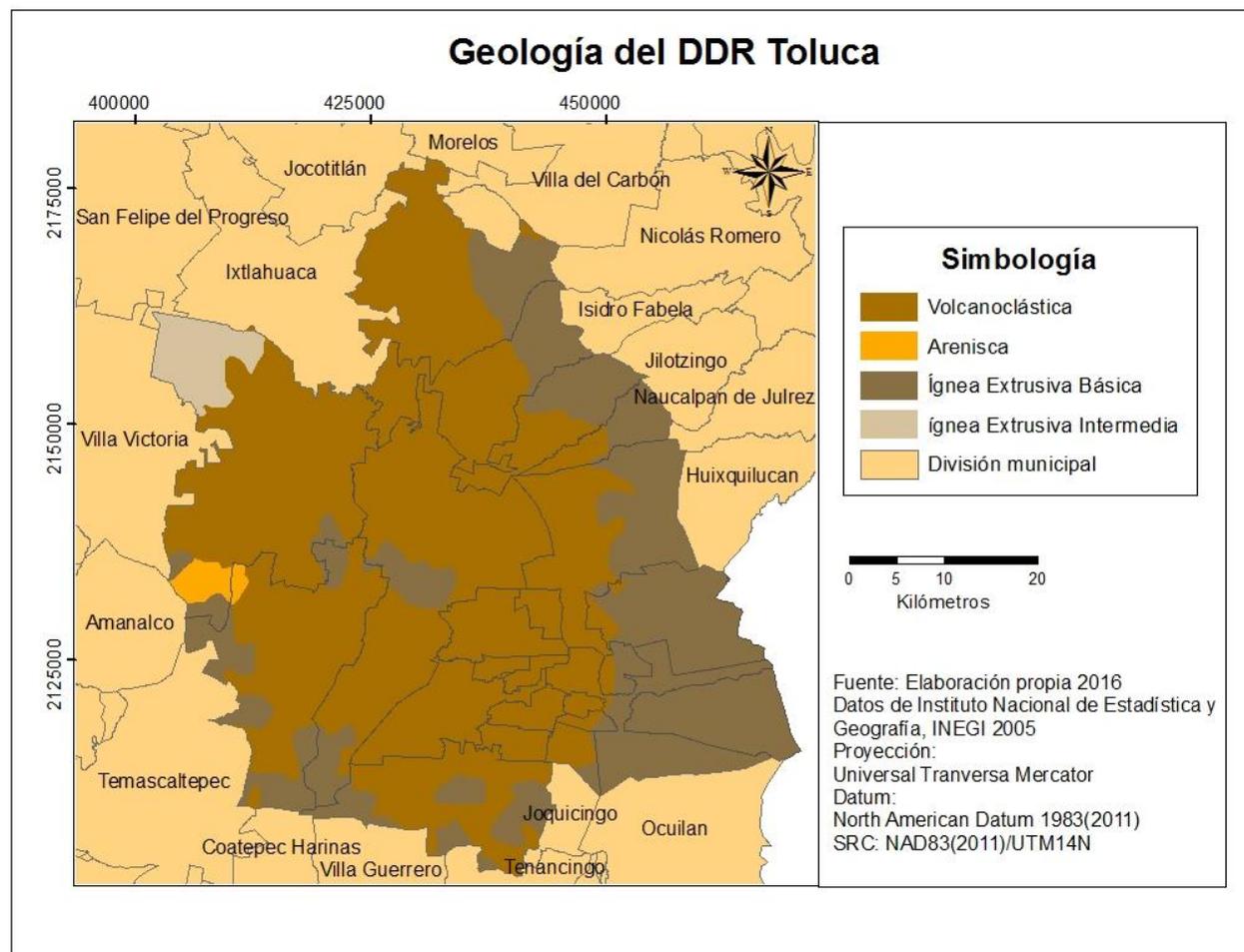
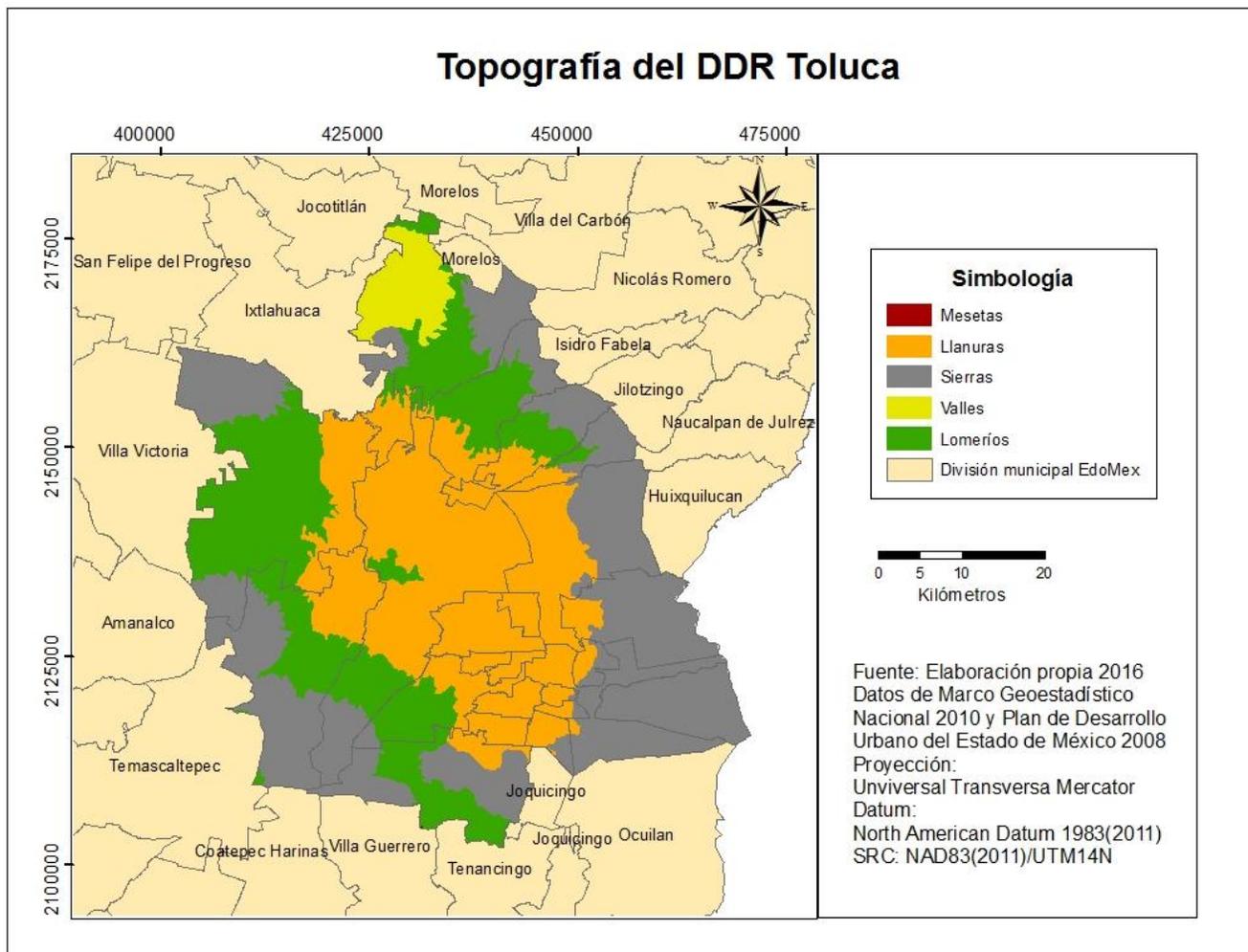


Figura 15. Topografía del DDR 073 Toluca



Cuadro 15. Uso y cobertura de suelo del DDR 073 Toluca

Uso y cobertura del suelo	Superficie (ha)	Porcentaje
Agrícola	132,340	44.9
Forestal	86,305	28.88
Pecuario	34,443	11.53
Zonas urbanas	17,345	5.80
Cuerpo de agua	2,579	0.86
Zona de erosión	801	0.27
Otros usos	25,013	8.3

Fuente: Soria y otros, 2004

Dentro de los cultivos que sobresalen en el DDR Toluca destaca el maíz con un 38.4% de la superficie (figura 17) (Soria y otros, 2004), en el cuadro 16 se muestran los usos de suelo de acuerdo con la cobertura tanto en hectáreas como en porcentaje respecto al total de la superficie.

Cuadro 16. Porcentaje y hectáreas de los usos de suelo del DDR 073 Toluca por cobertura

Uso y cobertura de suelo	Superficie (ha)	Porcentajes
Maíz	115,271	38.40
Bosque de Pino	35,764	11.91
Pradera	34,297	11.42
Otros usos	21,699	7.23
Bosque de Pino – Encino	21,280	7.09
Bosque de Oyamel	21,205	7.06
Zonas urbanas	17,345	5.78
Trigo	8,234	2.74
Bosque de Encino	7,950	2.65
Avena	4,699	1.57
Zonas de inundación	3,303	1.10
Frijol	2,136	0.71
Cuerpos de agua	1,845	0.62
Papa	1,368	0.46

Fuente: Soria y otros, 2004

Figura 16. Uso y cobertura de suelo del DDR 073 Toluca

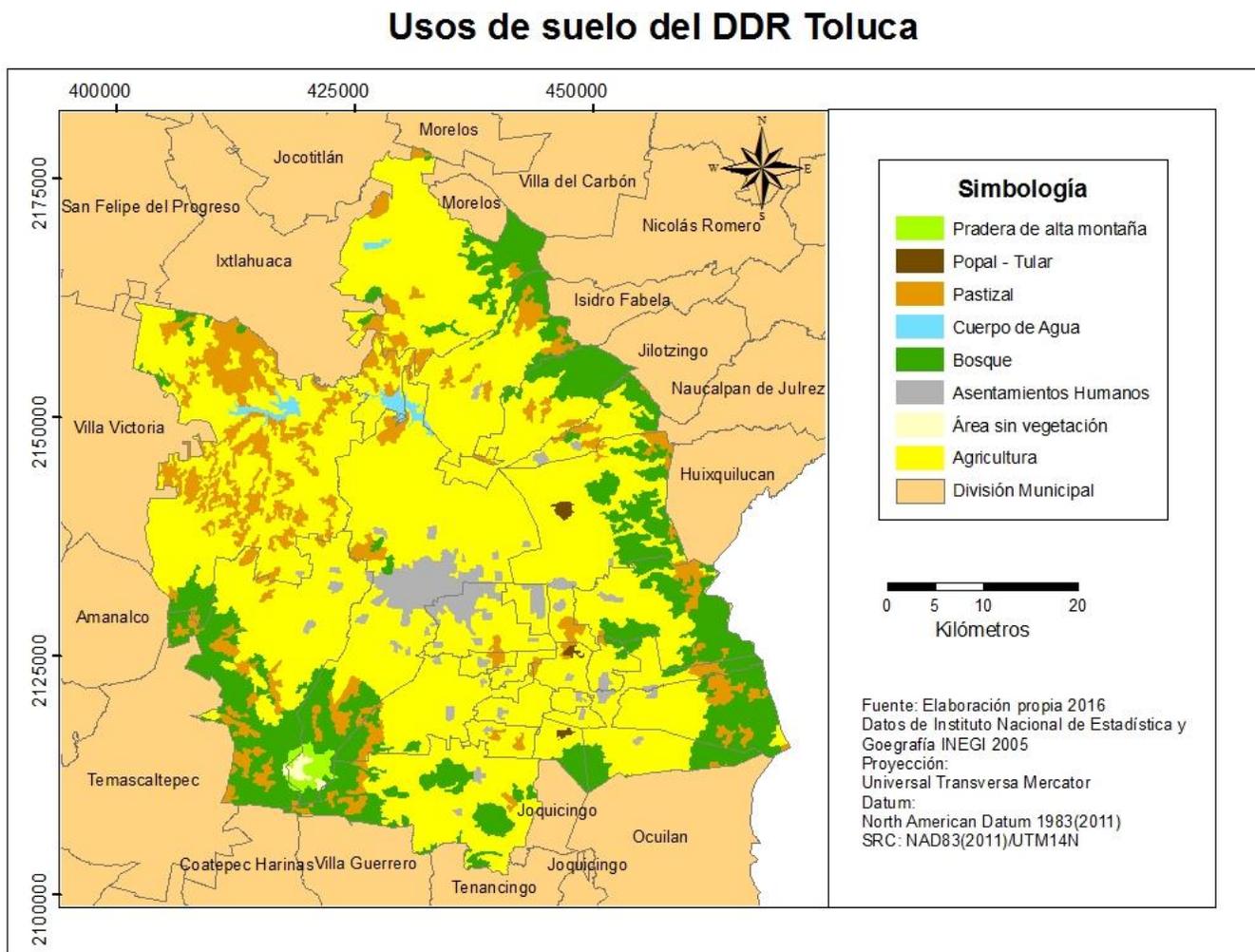
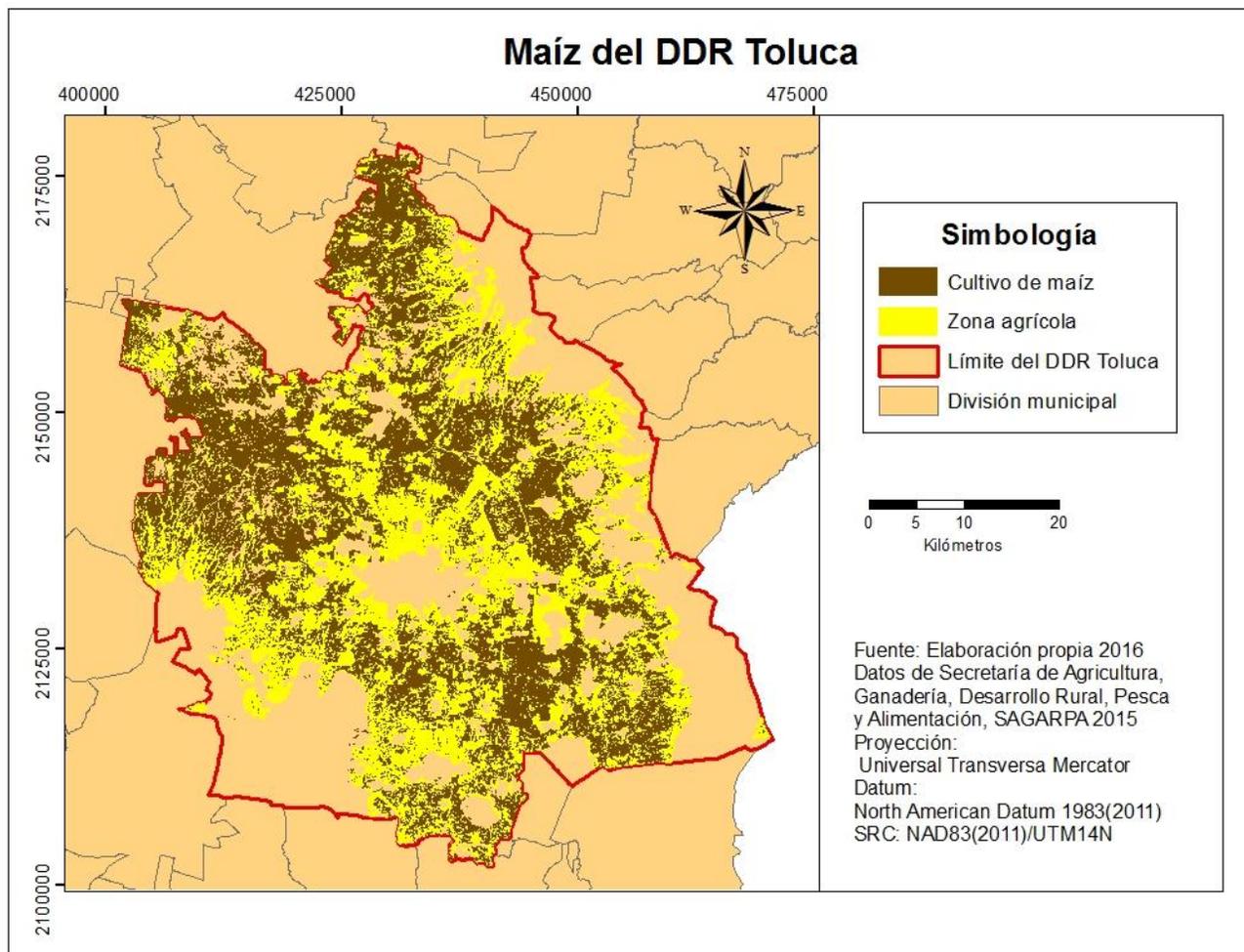


Figura 17. Cultivo de maíz en el DDR 073 Toluca



3.1.6. Hidrografía

Según el Plan Estatal de Desarrollo Urbano (GEM, 2008) el Estado de México se caracteriza por formar parte de las tres regiones hidrológicas más importantes a nivel nacional por su extensión y concentración de la población y sus actividades económicas, estas regiones son: Pánuco, Lerma – Chapala – Santiago y Balsas (figura 18).

El DDR Toluca pertenece en un 90% a la región hidrológica Lerma – Chapala – Santiago, a la del río Balsas en 6% y a la del Pánuco 4% en donde destacan las cuencas del Lerma – Toluca, río Grande de Amacuzac, el río Cutzamala y el río Moctezuma así como la presa Ignacio Ramírez en Almoloya de Juárez (Sarabia, 2011), en la figura 19 se observa la distribución hidrográfica dentro de la región.

Figura 18. Regiones Hidrográficas del Estado de México

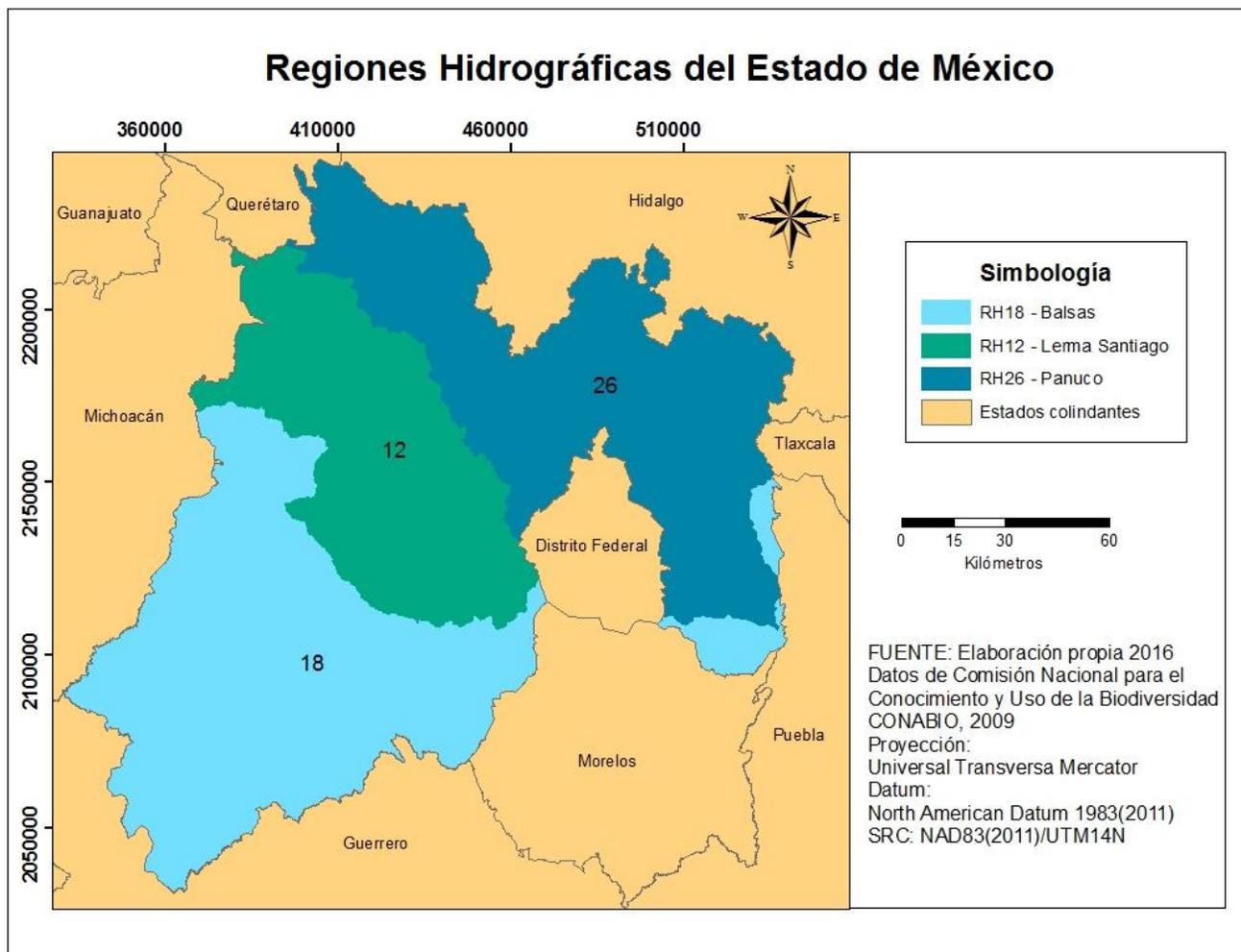
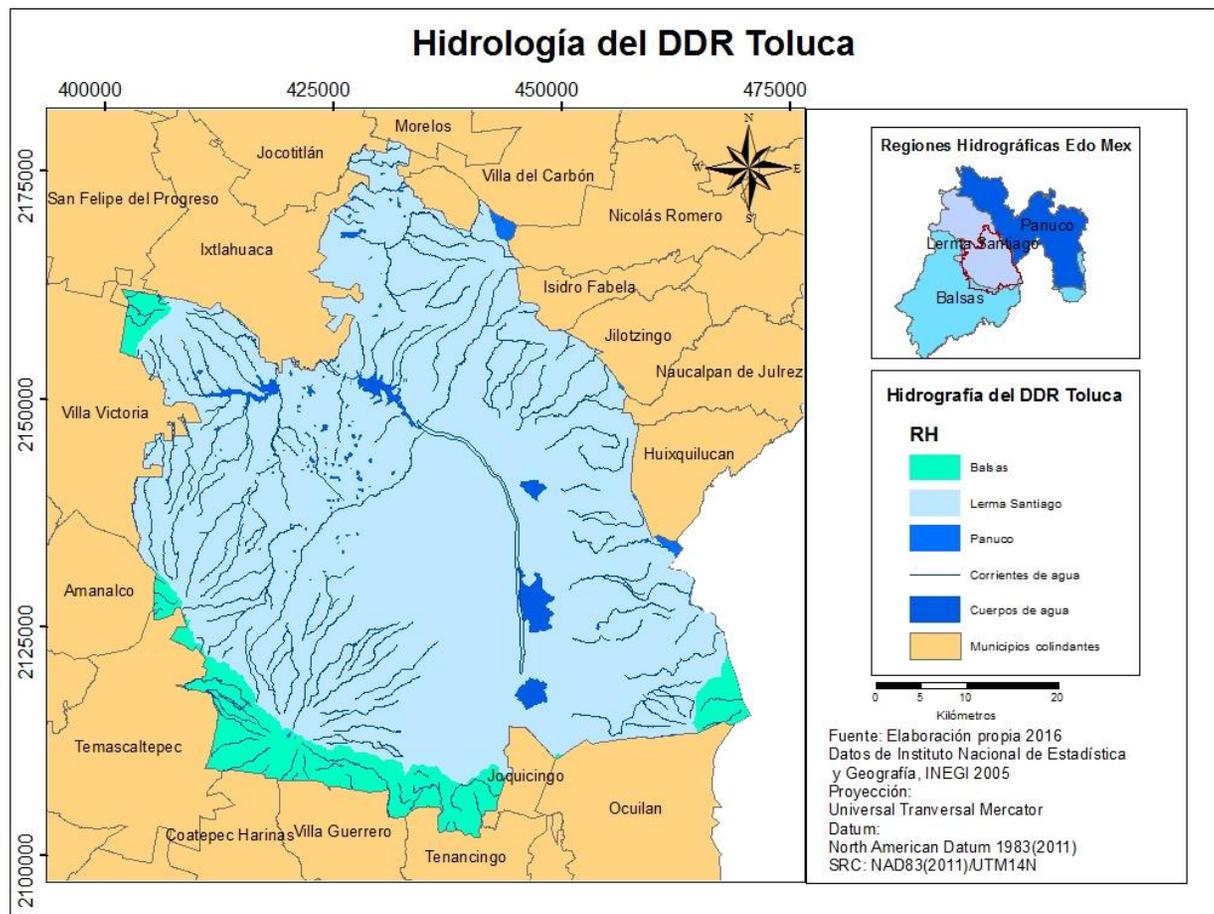


Figura 19. Hidrología del DDR 073 Toluca



3.2. Diagnóstico actual del DDR 073 - Toluca

En el presente apartado se presenta un diagnóstico actual basado en un análisis retrospectivo de las variaciones climáticas tomando como parámetros la temperatura y la precipitación, así como el desarrollo de los cultivos del maíz a partir de 1980 hasta el 2014 con la finalidad de conocer el proceso de variabilidad climática en la zona y su influencia en los cultivos de maíz de temporal.

3.2.1. Determinación de las variaciones climáticas de 1980 – 2014

Para poder alcanzar el objetivo de esta investigación es necesario conocer el clima de la región y su comportamiento a través del tiempo, en este caso se tomó un período de 34 años de datos continuos para determinar si existe variabilidad climática y si ésta ha beneficiado o perjudicado el desarrollo del maíz en condiciones de temporal. Para hacer un estudio de variabilidad climática es importante identificar los parámetros a medir y las estaciones climatológicas de las cuales se van a obtener las bases de datos. De acuerdo con la CONAGUA (2013), una estación climatológica es un conjunto de instrumentos colocados a la intemperie que permiten medir las variaciones del clima y son colocadas en sitios estratégicos representativos de ambientes diversos y miden eventos climáticos como la precipitación, temperatura, evaporación y viento. Para fines de esta investigación, los parámetros que se consideraron para conocer la relación entre el comportamiento del clima con la producción de maíz en la región fueron: temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación.

De acuerdo con lo anterior se identificaron 63 estaciones meteorológicas (cuadro 17) dentro de la región pertenecientes a la CONAGUA y se seleccionaron las estaciones más funcionales siguiendo algunos criterios, a saber:

- Se eliminaron todas aquellas estaciones que de acuerdo con el shapefile de estaciones climatológicas descargado de la página oficial de la CONAGUA (figura 20) están dentro del mismo punto, seleccionando solo una de las estaciones duplicadas que presentara mayor cantidad de datos.
- Se seleccionaron todas las estaciones que estuvieran dentro de la base de datos del software Eric versión 3.4, el cual contiene información climatológica de todas las

estaciones de la CONAGUA a nivel nacional actualizadas hasta el año 2012, esto se debe a que otros organismos como la CFE tienen estaciones climatológicas que no pertenecen a la red de la CONAGUA.

- Se eliminaron aquellas estaciones que tuvieran registro de datos hasta 1999, y las que presentaron datos de años más recientes (del 2000 en adelante) fueron complementadas con información del SMN actualizada hasta 2015 (en caso de que siguieran activas).
- Finalmente, se escogieron todas las estaciones que tuvieran datos de más de 30 años de continuidad que de acuerdo con Conde (2006) es la cantidad mínima de años necesarios para realizar estudios de variabilidad climática.

Cuadro 17. Estaciones climatológicas completas en el DDR-Toluca

CLAVE	NOMBRE	MUNICIPIO	LONG	LAT	ALT	OBSERVACIONES
15003	Almoloya de Juarez,(Smn)	ALMOLOYA DE JUAREZ	-99°46'	19°46'	2595	
15004	Almoloya del Rio, (Dge)	ALMOLOYA DEL RÍO	-99°29'	19°29'	2670	
15010	Atotonilco, A. de Juarez	ALMOLOYA DE JUAREZ	-99°46'	19°46'	2560	
15011	Atarasquillo, Lerma	LERMA	-99°28'	19°28'	2500	
15014	Chapulhuac, Otzolotepec	OTZOLOTEPEC	-99°29'	19°29'	2801	ESTACION REPETIDA
15025	Ejido Llano Grande,	JQUIPILCO	-99°40'	19°40'	2538	ESTACION REPETIDA
15025	Ejido Llano Grande,	JQUIPILCO	-99°40'	19°40'	2538	
15030	Hacienda de La Y,	TEMOAYA	-99°36'	19°36'	2580	
15037	Jiquipilco, Jiquipilco	JQUIPILCO	-99°36'	19°36'	2565	
15038	Joquicingo, Joquicingo	JOQUICINGO	-99°34'	19°34'	2660	
15049	Lerma, Lerma	LERMA	-99°31'	19°31'	2597	
15057	Mimiapan, Xonacatlan	XONACATLAN	-99°30'	19°30'	2916	
15062	Nevado de Toluca	TOLUCA	-99°46'	19°46'	4120	NO ES FUNCIONAL
15063	Nva. Sta. Elena V. Colon	ALMOLOYA DE JUAREZ	-99°43'	19°43'	2640	
15085	San Bartolo del Llano,	JQUIPILCO	-99°42'	19°42'	2547	
15086	San Bernabe, Temoaya	TEMOAYA	-99°43'	19°43'	2569	
15089	San Fco. Tlalcilcalpa,	ALMOLOYA DE JUAREZ	-99°46'	19°46'	2000	
15105	San Pedro Techuchulco,	TENANGO DEL VALLE	-99°32'	19°32'	2680	
15111	Santa Maria Nativitas,	JQUIPILCO	-99°35'	19°35'	2600	
15113	Santiago Tianguistenco,	CAPULHUAC	-99°28'	19°28'	2336	
15119	Temoaya, Temoaya	TEMOAYA	-99°36'	19°36'	2620	
15122	Tenago del Valle,	TENANGO DEL VALLE	-99°35'	19°35'	2660	
15164	Toluca (oficinas), Toluca	TOLUCA	-99°40'	19°40'	2640	ESTACION REPETIDA
15175	Toluca (viveros Colon),	TOLUCA	-99°39'	19°39'	2677	NO PERTENECE
15176	Almoloya del Rio,	ALMOLOYA DEL RÍO	-99°29'	19°29'	2530	

15202	Texcoco, Texcoco (Cfe)		-99°51'	19°51'	2245	
15203	Calixtlahuaca, Toluca	TOLUCA	-99°42'	19°42'	2630	
15207	El Molino, Zinacantepec	ZINACANTEPEC	-99°45'	19°45'	2750	ESTACION REPETIDA
15211	Toluca Poniente, Toluca	TOLUCA	-99°40'	19°40'	2660	ESTACION REPETIDA
15222	Coaxapa, Jalatlaco	JALATLACO	-99°20'	19°20'	2240	
15229	Loma Alta, Zinacantepec	ZINACANTEPEC	-99°48'	19°48'	3200	
15231	Psa.Iturbide,Otzolotepec	OTZOLOTEPEC	-99°29'	19°29'	275	ESTACION REPETIDA
15232	San Bartolo del Progreso	TIANGUISTENCO	-99°25'	19°25'	2756	
15236	Ocoyotepec,Almoloya de J	ALMOLOYA DE JUAREZ	-99°53'	19°53'	2660	
15240	San Francisco Putla,	TENANGO DEL VALLE	-99°38'	19°38'	2710	
15242	San Pedro Atlapulco,	OCOYOACAC	-99°23'	19°23'	2950	
15244	Muyteje, Acambay	ALMOLOYA DE JUAREZ	-99°53'	19°53'	3120	
15250	C.I.D.A.G.E.M., Metepec	METEPEC	-99°35'	19°35'	2445	NO PERTENECE
15258	San Buenaventura, Toluca	ALMOLOYA DE JUAREZ	-99°48'	19°48'	2610	ESTACION REPETIDA
15262	Esc.Sec.8 Manuel Bernal,	ALMOLOYA DE JUAREZ	-99°48'	19°48'	2610	ESTACION REPETIDA
15264	Buenos Aires, Jiquipilco	JIQUIPILCO	-99°40'	19°40'	2580	
15266	Codagem, Metepec	METEPEC	-99°35'	19°35'	2240	
15269	Juquipilco el Viejo,	TEMOAYA	-99°35'	19°35'	2694	
15271	Mina Mexico, Almoloya J.	ALMOLOYA DE JUAREZ	-99°44'	19°44'	2680	
15276	San Jose del Contadero,	ZINACANTEPEC	-99°49'	19°49'	3045	
15282	Tres Barrancas, A. De J.	ALMOLOYA DE JUAREZ	-99°48'	19°48'	2610	
15289	El Molino A-9, Coatepec H	ZINACANTEPEC	-99°45'	19°45'	2750	ESTACION REPETIDA
15292	San Fco. Tepexoxuca E-20	TENANGO DEL VALLE	-99°33'	19°33'	2340	
15293	S. Juan Las Huertas E-24	ZINACANTEPEC	-99°45'	19°45'	2840	
15294	San Pedro Tlanixco E-18,	TENANGO DEL VALLE	-99°39'	19°39'	2800	
15295	San Pedro Zictepec D-6,	TENANGO DEL VALLE	-99°35'	19°35'	2528	
15304	Xocanatlan, Xocanatlan	XONACATLAN	-99°32'	19°32'	2580	
15306	Chapultepec, Chapultepec	CHAPULTEPEC	-99°34'	19°34'	2585	
15309	San Lucas Tunco, Metepec	METEPEC	-99°32'	19°32'	2575	NO PERTENECE
15312	Col.AlvaroObregon, Lerma	LERMA	-99°30'	19°30'	2770	
15313	S. Pedro Zictepec,	TENANGO DEL VALLE	-99°35'	19°35'	2440	
15315	Caseta Lerma, Lerma	LERMA	-99°32'	19°32'	2580	
15316	Rayon, Sta. Ma. Rayon	RAYÓN	-99°33'	19°33'	2565	
15318	Sta. Ana Jilotzingo,	OTZOLOTEPEC	-99°29'	19°29'	2860	ESTACION REPETIDA
15341	San Antonio Nigini	JIQUIPILCO	-99°41'	19°41'	2545	
15345	Sn. NicolasAmealco	ALMOLOYA DE JUAREZ	-99°53'	19°53'	2800	
15354	El Capulin, Jalatlaco	JALATLACO	-99°18'	19°18'	3160	

Fuente: Elaboración propia con base en datos de CONAGUA

Como se puede observar en el cuadro 16, de las 63 estaciones que de acuerdo con el shapefile de CONAGUA se encuentran dentro de la región algunas tienen que ser eliminadas debido a

que se encuentran por un lado repetidas en un mismo punto y por otro lado no se encuentran dentro de la base de datos de dicho organismo. La primera depuración de estaciones se realizó considerando estos dos primeros aspectos, para el caso de las estaciones repetidas en un mismo punto se consideró la estación con la mayor cantidad de datos registrados.

Una vez eliminadas estas estaciones se revisaron los datos de temperatura y precipitación de las estaciones restantes lo que permitió la elección de aquellas que presentaron la cantidad de datos necesarios para realizar el estudio de variabilidad climática (cuadro 18).

Cuadro 18. Años efectivos de las estaciones climatológicas seleccionadas del DDR – Toluca

Clave	Nombre	Municipio	Lat	Long	Alt	Fecha i	Fecha f	Años	Observación
15003	Almoloya de Juarez, (Smn)	ALMOLOYA DE JUAREZ	19°46'	-99°46'	2595	1959	2000	41	
15004	Almoloya Del Rio, (Dge)	ALMOLOYA DEL RÍO	19°29'	-99°29'	2670	1961	1990	29	Datos insuficientes
15010	Atotonilco, A. De Juarez	ALMOLOYA DE JUAREZ	19°46'	-99°46'	2560	1961	1990	29	Datos insuficientes
15011	Atarasquillo, Lerma	LERMA	19°28'	-99°28'	2500	1961	1997	36	Termina antes del 2000
15014	Chapulhuac, Oztolotepec	OTZOLOTEPE C	19°29'	-99°29'	2801	1969	2010	41	
15025	Ejido Llano Grande,	JQUIPILCO	19°40'	-99°40'	2538	1969	2009	40	
15030	Hacienda De La Y,	TEMOAYA	19°36'	-99°36'	2580	1961	2010	49	
15037	Jiquipilco, Jiquipilco	JQUIPILCO	19°36'	-99°36'	2565	1962	2011	49	
15038	Joquicingo, Joquicingo	JOQUICINGO	19°34'	-99°34'	2660	1956	2010	54	
15049	Lerma, Lerma	LERMA	19°31'	-99°31'	2597	1950	2007	57	
15057	Mimiapan, Xonacatlan	XONACATLAN	19°30'	-99°30'	2916	1961	2005	44	
15063	Nva. Sta. Elena V. Colon	ALMOLOYA DE JUAREZ	19°43'	-99°43'	2640	1961	2010	49	
15085	San Bartolo Del Llano,	JQUIPILCO	19°42'	-99°42'	2547	1964	2008	44	
15086	San Bernabe, Temoaya	TEMOAYA	19°43'	-99°43'	2569	1961	2010	49	

15089	San Fco. Tlalcilcalpa,	ALMOLOYA DE JUAREZ	19°46'	-99°46'	2000	1950	2010	60	
15105	San Pedro Techuchulco,	TENANGO DEL VALLE	19°32'	-99°32'	2680	1963	1987	24	Datos insuficientes
15111	Santa Maria Nativitas,	JQUIPILCO	19°35'	-99°35'	2600	1961	1990	29	Datos insuficientes
15113	Santiago Tianguistenco,	CAPULHUAC	19°28'	-99°28'	2336	1969	1990	21	Datos insuficientes
15119	Temoaya, Temoaya	TEMOAYA	19°36'	-99°36'	2620	1969	2006	37	
15122	Tenago Del Valle,	TENANGO DEL VALLE	19°35'	-99°35'	2660	1959	2008	49	
15164	Toluca (Oficinas),Toluc a	TOLUCA	19°40'	-99°40'	2640	1961	2006	45	
15176	Almoloya Del Rio,	ALMOLOYA DEL RÍO	19°29'	-99°29'	2530	1950	1998	48	Termina antes del 2000
15203	Calixtlahuaca, Toluca	TOLUCA	19°42'	-99°42'	2630	1975	2011	36	
15222	Coaxapa, Jalatlaco	JALATLACO	19°20'	-99°20'	2240	1977	1987	10	Datos insuficientes
15229	Loma Alta, Zinacantepec	ZINACANTEPEC C	19°48'	-99°48'	3200	1977	2012	35	
15232	San Bartolo Del Progreso	TIANGUISTEN CO	19°25'	-99°25'	2756	1977	1994	17	Datos insuficientes
15236	Ocoyotepec,Alm oloya De J	ALMOLOYA DE JUAREZ	19°53'	-99°53'	2660	1977	2011	34	
15240	San Francisco Putla,	TENANGO DEL VALLE	19°38'	-99°38'	2710	1978	2008	30	
15242	San Pedro Atlapulco,	OCOYOACAC	19°23'	-99°23'	2950	1977	1992	15	Datos insuficientes
15244	Muyteje, Acambay	ALMOLOYA DE JUAREZ	19°53'	-99°53'	3120	1978	2008	30	
15262	Esc.Sec.8 Manuel Bernal,	ALMOLOYA DE JUAREZ	19°48'	-99°48'	2610	1980	1984	4	Datos insuficientes
15264	Buenos Aires, Jiquipilco	JQUIPILCO	19°40'	-99°40'	2580	1980	2010	30	
15266	Codagem, Metepec	METEPEC	19°35'	-99°35'	2240	1980	2010	30	
15269	Juquipilco El Viejo,	TEMOAYA	19°35'	-99°35'	2694	1981	1988	8	Datos insuficientes

15271	Mina Mexico, Almoloya J. San Jose Del	ALMOLOYA DE JUAREZ ZINACANTEPE	19°44'	-99°44'	2680	1980	1987	7	Datos insuficientes
15276	Contadero, Tres Barrancas,	C ALMOLOYA	19°49'	-99°49'	3045	1980	2011	31	
15282	A. De J. El Molino A-9,	DE JUAREZ ZINACANTEPE	19°48'	-99°48'	2610	1980	2008	28	
15289	Coatepec H San Fco.	C	19°45'	-99°45'	2750	1980	1995	15	Datos insuficientes
15292	Tepexoxuca E- 20	TENANGO DEL VALLE	19°33'	-99°33'	2340	1979	1987	8	Datos insuficientes
15293	S. Juan Las Huertas E-24	ZINACANTEPE C	19°45'	-99°45'	2840	1982	2008	26	
15294	San Pedro Tlanixco E-18,	TENANGO DEL VALLE	19°39'	-99°39'	2800	1978	1993	15	Datos insuficientes
15295	San Pedro Zictepec D-6,	TENANGO DEL VALLE	19°35'	-99°35'	2528	1982	2008	26	
15304	Xocanatlan, Xocanatlan	DEL VALLE XONACATLAN	19°32'	-99°32'	2580	1981	1987	7	Datos insuficientes
15306	Chapultepec, Chapultepec	CHAPULTEPE C	19°34'	-99°34'	2585	1981	1990	9	Datos insuficientes
15312	Col.AlvaroObreg on,Lerma	LERMA	19°30'	-99°30'	2770	1980	2010	30	
15313	S. Pedro Zictepec,	TENANGO DEL VALLE	19°35'	-99°35'	2440	1979	1989	10	Datos insuficientes
15315	Caseta Lerma, Lerma	LERMA	19°32'	-99°32'	2580	1973	2010	37	
15316	Rayon, Sta. Ma. Rayon	RAYÓN	19°33'	-99°33'	2565	1981	1987	8	Datos insuficientes
15341	San Antonio Nigini	JIQUIPILCO	19°41'	-99°41'	2545	1982	2008	26	
15345	Sn. NicolasAmealco	ALMOLOYA DE JUAREZ	19°53'	-99°53'	2800	1981	1987	8	Datos insuficientes
15354	El Capulin, Jalatlaco	JALATLACO	19°18'	-99°18'	3160	1982	1995	13	Datos insuficientes

Fuente: Elaboración propia con base en datos de CONAGUA

En el cuadro 18 se muestra ya el listado de las estaciones climatológicas seleccionadas de acuerdo con los primeros criterios, no obstante, en este segundo acercamiento se identificaron los años efectivos que tiene cada una de ellas de acuerdo con las bases de datos de CONAGUA obtenidas del Eric 3.2 y complementadas con información del Servicio

Meteorológico Nacional (SMN), considerando que para que sea funcional la estación para realizar el análisis de variabilidad climática son necesarios al menos 30 años de datos consecutivos.

Como se puede observar, algunas de las estaciones presentan cantidades de datos insuficientes, en general son aquellas que presentan registros hasta antes del año 2000, por lo que estas estaciones fueron eliminadas junto con aquellas que terminan antes de este año debido a su poca funcionalidad dejando así 29 estaciones que hasta este punto cubrieron este criterio. Las estaciones seleccionadas fueron completadas con las bases de datos del SMN para tener información más reciente (cuadro 19 y figura 21).

Cuadro 19. Estaciones seleccionadas y complementadas con datos del SMN

Clave	Nombre	Municipio	Lat	Long	Alt	Fecha i	Fecha f	Años
15014	CHAPULHUAC, OTZOLOTEPEC EJIDO LLANO	OTZOLOTEPEC	19°29'	-99°29'	2801	1969	2014	45
15025	GRANDE,	JIQUIPILCO	19°40'	-99°40'	2538	1969	2014	45
15030	HACIENDA DE LA Y, JIQUIPILCO,	TEMOAYA	19°36'	-99°36'	2580	1961	2014	53
15037	JIQUIPILCO	JIQUIPILCO	19°36'	-99°36'	2565	1962	2015	53
15038	JOQUICINGO, JOQUICINGO	JOQUICINGO	19°34'	-99°34'	2660	1956	2015	59
15057	MIMIAPAN, XONACATLAN	XONACATLAN	19°30'	-99°30'	2916	1961	2015	54
15063	NVA. STA. ELENA V. COLON	ALMOLOYA DE JUAREZ	19°43'	-99°43'	2640	1961	2014	53
15085	SAN BARTOLO DEL LLANO, SAN BERNABE,	JIQUIPILCO	19°42'	-99°42'	2547	1964	2015	51
15086	TEMOAYA SAN FCO.	TEMOAYA ALMOLOYA DE	19°43'	-99°43'	2569	1961	2015	54
15089	TLALCILALCALPA, TENAGO DEL	JUAREZ TENANGO DEL	19°46'	-99°46'	2000	1950	2015	65
15122	VALLE, CALIXTLAHUACA,	VALLE	19°35'	-99°35'	2660	1959	2014	55
15203	TOLUCA SAN FRANCISCO	TOLUCA TENANGO DEL	19°42'	-99°42'	2630	1975	2015	40
15240	PUTLA,	VALLE	19°38'	-99°38'	2710	1978	2015	37

15244	MUYTEJE, ACAMBAY	ALMOLOYA DE JUAREZ	19°53'	-99°53'	3120	1978	2015	37
15264	BUENOS AIRES, JIQUIPILCO	JIQUIPILCO	19°40'	-99°40'	2580	1980	2015	35
15282	TRES BARRANCAS, A. DE J.	ALMOLOYA DE JUAREZ	19°48'	-99°48'	2610	1980	2015	35
15312	COL.ALVARO OBREGON, LERMA	LERMA	19°30'	-99°30'	2770	1980	2014	34
15315	CASETA LERMA, LERMA	LERMA	19°32'	-99°32'	2580	1973	2014	41

Fuente: Elaboración propia con base en datos de CONAGUA

Finalmente, se hicieron las bases de datos correspondientes a los parámetros de temperatura máxima, mínima y precipitación en formato Excel de cada estación desde 1980 a 2014, los datos fueron recopilados por día, mes y año para posteriormente analizar cada uno de los parámetros, en algunos casos las estaciones presentan datos faltantes (ND), por lo que fue necesario aplicar un método en SPSS para reemplazar valores perdidos de cada uno de los parámetros.

Temperatura máxima

De acuerdo con los datos obtenidos de las estaciones meteorológicas de la CONAGUA, en el DDR Toluca durante el período de 1980 al 2014 las temperaturas máximas se mantuvieron en un rango de 16.9°C a 20.8°C en promedio, sin embargo, en algunas regiones las temperaturas alcanzaron los 27°C, como es el caso del municipio de Temoaya.

La información climatológica muestra que las temperaturas varían dependiendo de la región y de las condiciones fisiográficas de la misma, en la figura 22 se muestra el comportamiento promedio de las temperaturas máximas durante 34 años por mes, en la cual se puede observar el comportamiento de la misma, la cual no presenta fluctuaciones significativas manteniéndose en el rango mencionado en el párrafo anterior.

Figura 20. Distribución de estaciones climatológicas del DDR 073 Toluca de acuerdo con CONAGUA

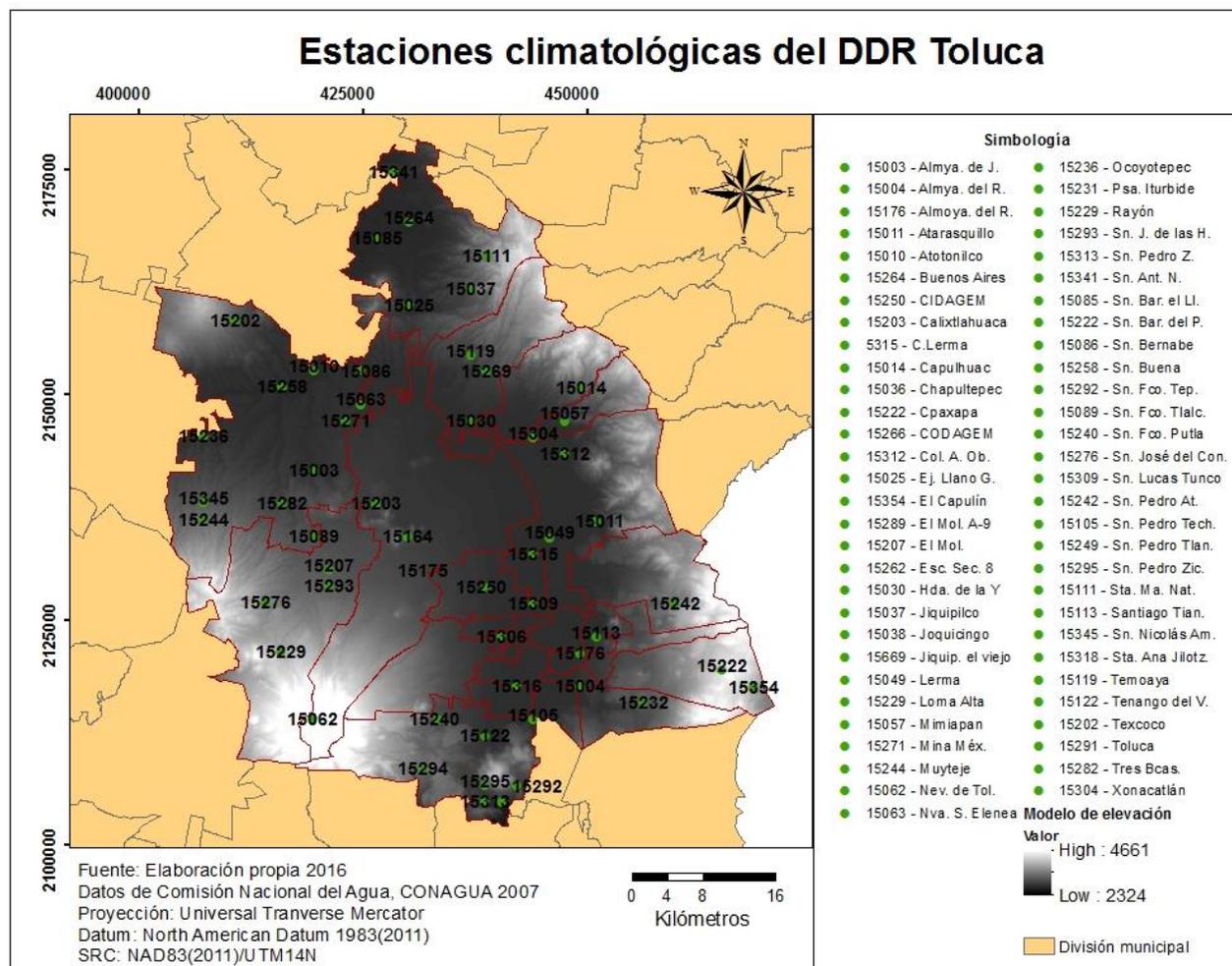


Figura 21. Estaciones climatológicas seleccionadas

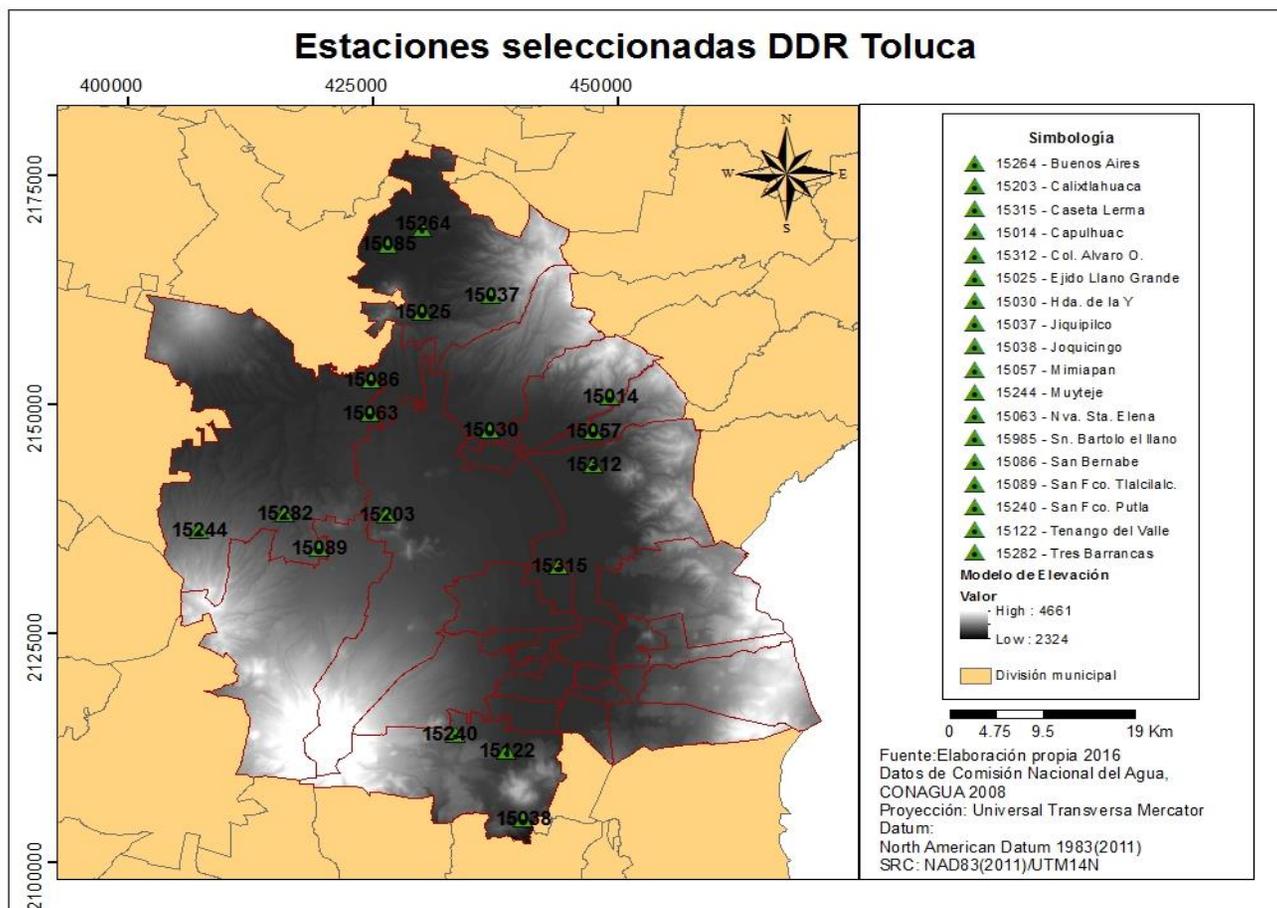
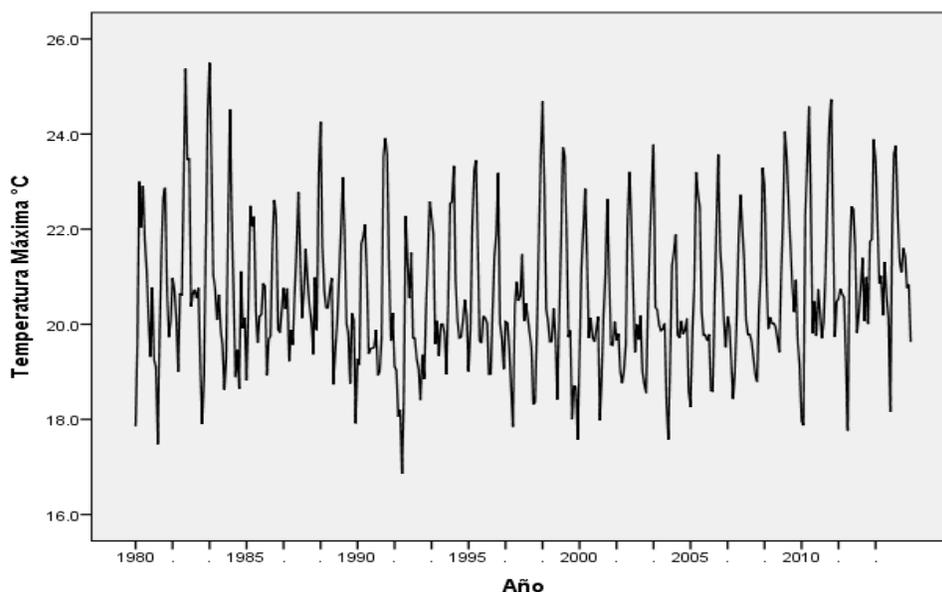


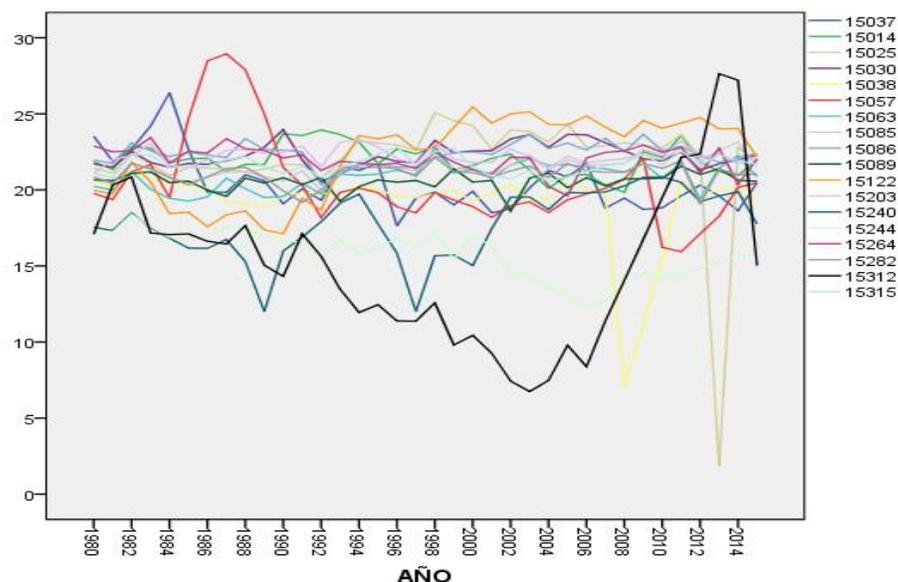
Figura 22. Temperatura máxima por mes en el DDR Toluca de 1980 - 2014



Fuente: Elaboración propia con base en datos de CONAGUA

La figura 22, muestra que entre la década de 1980 a 1990 se presentaron las temperaturas más altas alcanzando casi los 26°C, aunque entre los años de 1990 y 1995 la temperatura descendió casi 10 grados llegando a cerca de 16°C, fue a partir de la década del año 2000 cuando las temperaturas máximas se establecieron entre los 25 y 18°C presentando pocas variaciones en el dicho comportamiento, los meses más calurosos en la región se presentan a partir del mes de abril hasta agosto en la mayoría de las regiones.

Figura 23. Temperatura máxima por estación meteorológica de 1980 - 2014



Fuente: Elaboración propia con base en datos de CONAGUA

La figura 23, muestra el comportamiento de la temperatura máxima por año para cada una de las estaciones y como se puede observar algunas regiones han presentado bajas en la misma como es el caso de las estaciones 15038 ubicada en el municipio de Joquicingo y la 15025 en Jiquipilco, esta última estación presenta un descenso en la temperatura de casi 0°C en el 2013, mientras que la primera alcanzó una baja en 2008 de 7°C misma situación que se presentó en la estación 15312 en 2002 ubicada en el municipio de Lerma.

Por otro lado, las estaciones que presentaron temperaturas más altas fueron la 15057 ubicada en Xonacatlán y la cual muestra que en 1987 se alcanzó una temperatura de 28°C seguida de la estación 15013 de Lerma que en 2012 alcanzó una temperatura de 27°C, el resto de las estaciones muestran un comportamiento regular manteniendo sus temperaturas entre los 17 y 25°C.

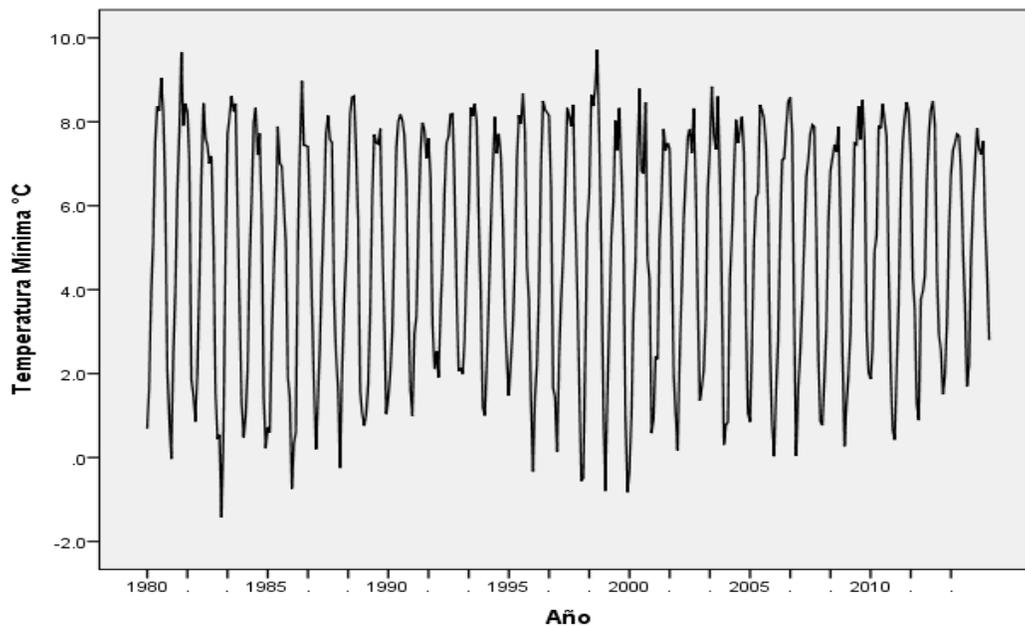
A grandes rasgos se puede concluir que las temperaturas en la región no han mostrado grandes variaciones durante el período de tiempo establecido, en este sentido dicho parámetro no ha presentado gran variación, sin embargo si se ha observado que la temperatura máxima ha aumentado en los últimos diez años sobre todo en las regiones de Tenango del Valle, Lerma, Toluca, Metepec y Zinacantepec que son algunos de los municipios que conforman

la Zona Metropolitana del Valle de Toluca y en los cuales sobresalen espacios urbanos y destaca la poca cobertura vegetal.

Temperatura mínima

Las temperaturas mínimas en la región se encuentran entre los -2 y los 10°C de acuerdo con los datos de las estaciones meteorológicas de CONAGUA (figura 24) siendo los meses de diciembre a febrero donde se presentan las temperaturas más bajas en el Distrito. De la misma manera que la temperatura máxima, este parámetro no presenta gran variabilidad en cuanto a su comportamiento, las temperaturas más bajas registradas se presentaron entre los años de 1980 a 1985 donde se alcanzaron en promedio los -2°C , seguido por los años de 1995 al 2000 donde se registraron temperaturas de -1°C entre los meses de noviembre a febrero. Por otro lado, las temperaturas mínimas más altas tuvieron dos registros importantes, el primero en 1983 y el segundo en el año 2000 donde se alcanzaron los 10°C entre los meses de abril a julio.

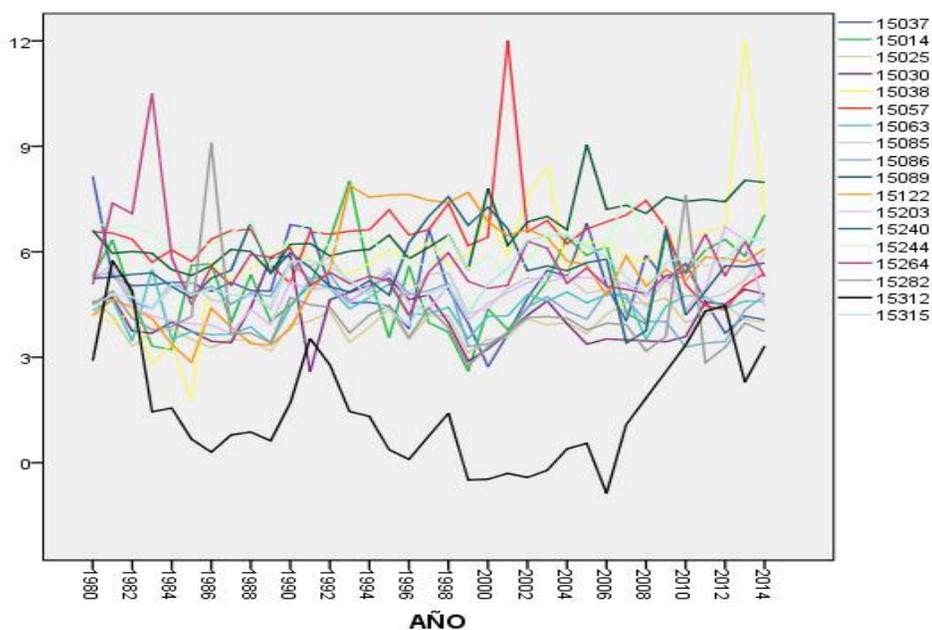
Figura 24. Temperatura mínima por mes en el DDR Toluca de 1980 - 2014



Fuente: Elaboración propia con base en datos de CONAGUA

La estación que ha presentado registros de temperaturas más bajas corresponde a la 15312 ubicada en el municipio de Lerma, en la cual se han registrado temperaturas de -2°C en el año 2006 como se muestra en la figura 25, seguida de la 15038 en Joquicingo y la 15264 en Jiquipilco. Por su parte, la estación que presenta registros más altos de temperaturas mínimas es la 15057 localizada en Xonacatlán la cual en 2002 alcanzó un máximo de 12°C , seguida por la 15038 en Joquicingo que alcanzó los 11°C en 2013 y la 15264 en Jiquipilco con 10°C en 1982.

Figura 25. Temperatura mínima por estación meteorológica de 1980 - 2014



Fuente: Elaboración propia con base en datos de CONAGUA

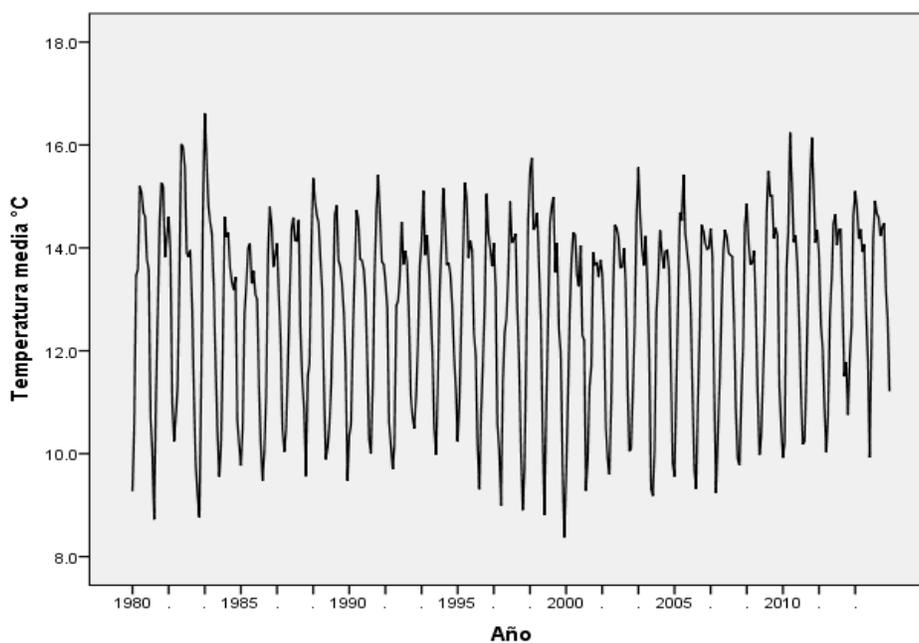
De acuerdo con el análisis anterior se puede concluir que en cuanto a temperaturas mínimas medias en la región no ha habido mucha variación durante los 34 años seleccionados para el período de estudio, no obstante, el análisis por estación muestra que la dinámica de dicho parámetro varía de acuerdo con la zona y sus características fisiográficas.

Finalmente, como se puede apreciar en la figura 25, las temperaturas mínimas han disminuido en los últimos 5 años, lo que muestra una tendencia de calentamiento en el Distrito trayendo consigo una menor frecuencia de bajas temperaturas que pueden ocasionar heladas las cuales son una de las principales amenazas para los cultivos de temporal.

Temperatura media

La temperatura media se obtiene como resultado de promediar la temperatura máxima y la mínima, durante el período de estudio se estableció entre los 8 y los 14°C de acuerdo con los datos obtenidos de las estaciones meteorológicas de la CONAGUA (figura 26) las temperaturas medias se encontraron entre los 8 y los 14°C mostrando una tendencia de poca variación de 1980 a 2014.

Figura 26. Temperatura media por mes en el DDR Toluca de 1980 – 2014



Fuente: Elaboración propia con base en datos de CONAGUA

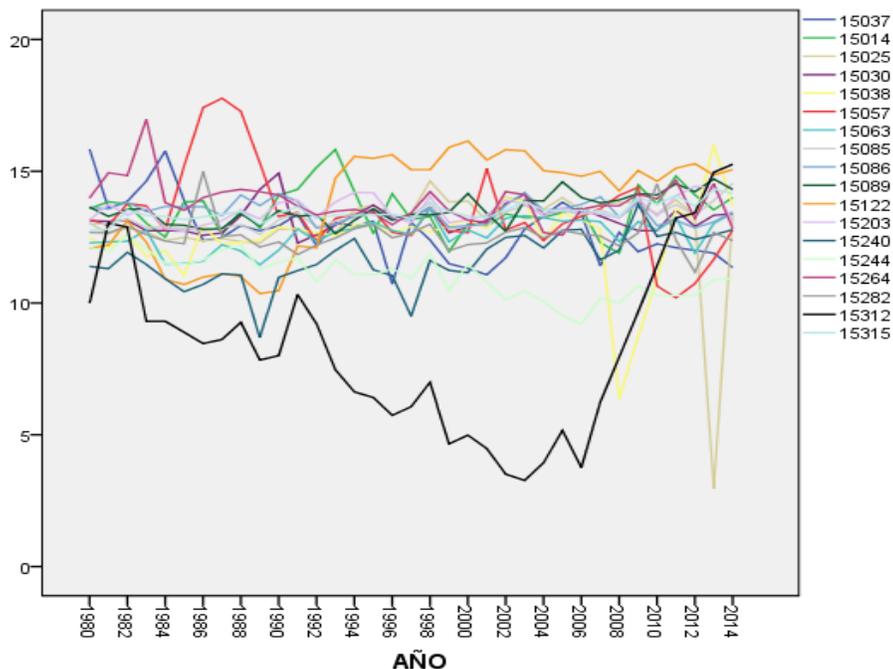
El análisis de temperatura media muestra los comportamientos tanto de la temperatura máxima como de la mínima, en las cuales los grados más altos se presentaron entre los años de 1980 a 1985 llegando casi a los 17°C, seguido de los años de 2010 y 2012 donde alcanzaron poco más de 16°C y finalmente los años 1997, 2004, 2006 y 2009 se mantuvieron cerca de los 16°C, el resto de los años se mantuvo entre los 14 y 15°C. En cuanto a los registros más bajos de las temperaturas medias, el año 2000 llegó a casi los 8°C, mientras que en los años de 1980 a 1984 se registraron temperaturas de 9°C.

El comportamiento de la temperatura media muestra que durante los años de 1980 a 2000 éstas se encontraban en un rango variado y amplio entre los 8 y los 17°C, sin embargo, a partir de este año los rangos de las temperaturas fueron disminuyendo presentándose en las medias más bajas un aumento hasta casi los 10°C, lo cual indica que las temperaturas bajas han ido disminuyendo en cuanto a frecuencia e intensidad en la región.

La figura 27, muestra el comportamiento de la temperatura media por estación meteorológica, así como en las temperaturas máximas y mínimas la estación 15312 ubicada en el municipio de Lerma y es la que presenta mayor variabilidad en cuanto a la información, mostrando una baja en la media entre el año 2000 y 2006 llegando a los 4°C, las estaciones 15038 en Joquicingo y 15264 en Jiquipilco también presentan una variación significativa en cuanto a las medias, por su parte de la misma manera que los análisis anteriores se muestra un aumento de temperatura sobre todo en la región de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca.

Como ya se había mencionado antes, las temperaturas más altas se presentan en los meses de abril a agosto, correspondiente a las estaciones de primavera – verano y las más bajas se presentan de los meses de noviembre a febrero que corresponden a estaciones de otoño – invierno, la figura 28 muestra de manera espacializada la distribución de las medias de la temperatura en la región por mes, así se puede corroborar que las zonas que presentan temperaturas más altas corresponden a los municipios de la ZMVT donde los usos de suelo predominantes corresponden al tipo urbano.

Figura 27. Temperatura media por estación meteorológica de 1980 – 2014



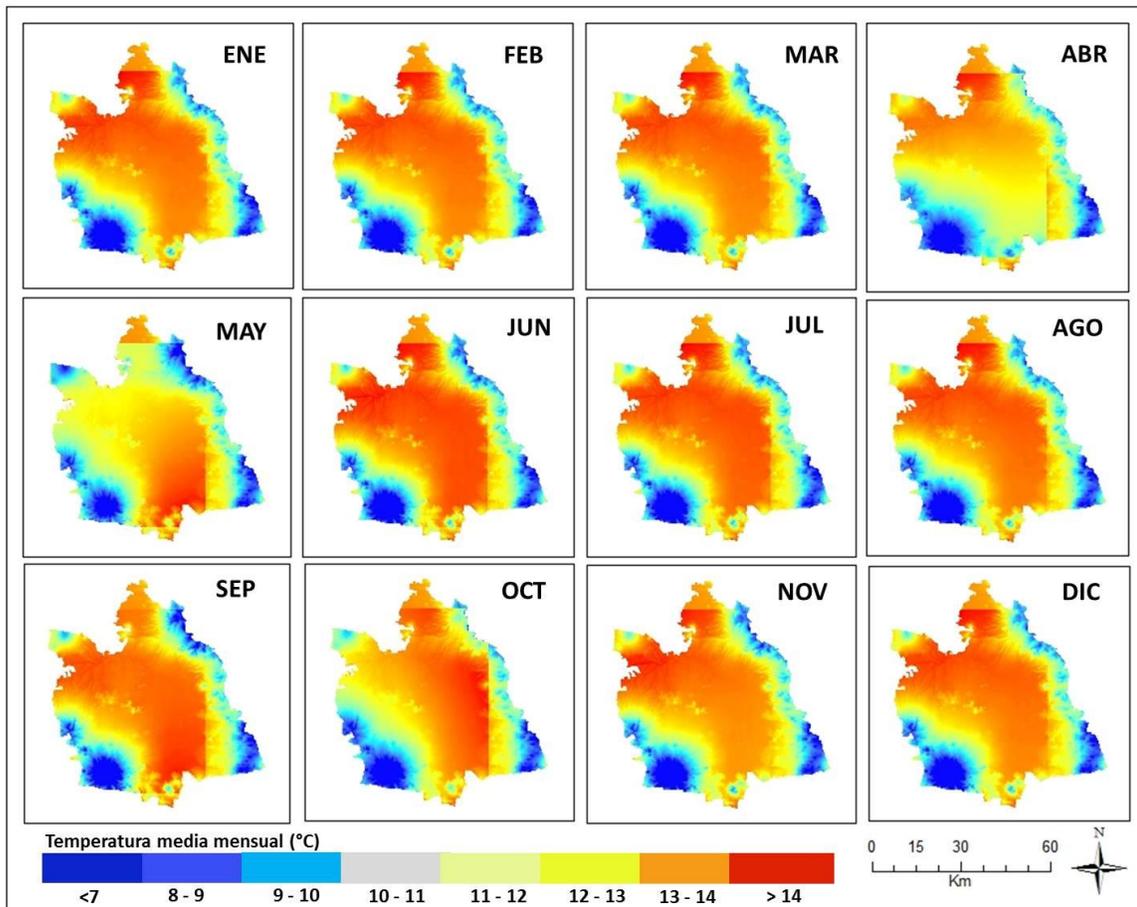
Fuente: Elaboración propia con base en datos de CONAGUA

Como ya se había mencionado antes, las temperaturas más altas se presentan en los meses de abril a agosto, correspondiente a las estaciones de primavera – verano y las más bajas se presentan de los meses de noviembre a febrero que corresponden a estaciones de otoño – invierno, la figura 28 muestra de manera especializada la distribución de las medias de la temperatura en la región por mes, así se puede corroborar que las zonas que presentan temperaturas más altas corresponden a los municipios de la ZMVT donde los usos de suelo predominantes corresponden al tipo urbano.

Precipitación

La precipitación es un fenómeno meteorológico que no se comporta de manera regular, de acuerdo con el Plan de Desarrollo Urbano del Estado de México (SEDUR, 2007) este parámetro se encuentra desde los 450 a los 1450 mm anuales, partiendo de lo anterior, dadas las condiciones geográficas y climatológicas del DDR Toluca, las precipitaciones medias anuales se encuentran en un rango de 680 a 1,070 mm.

Figura 28. Distribución espacial de la temperatura media mensual de 1980 a 2014 en el DDR Toluca

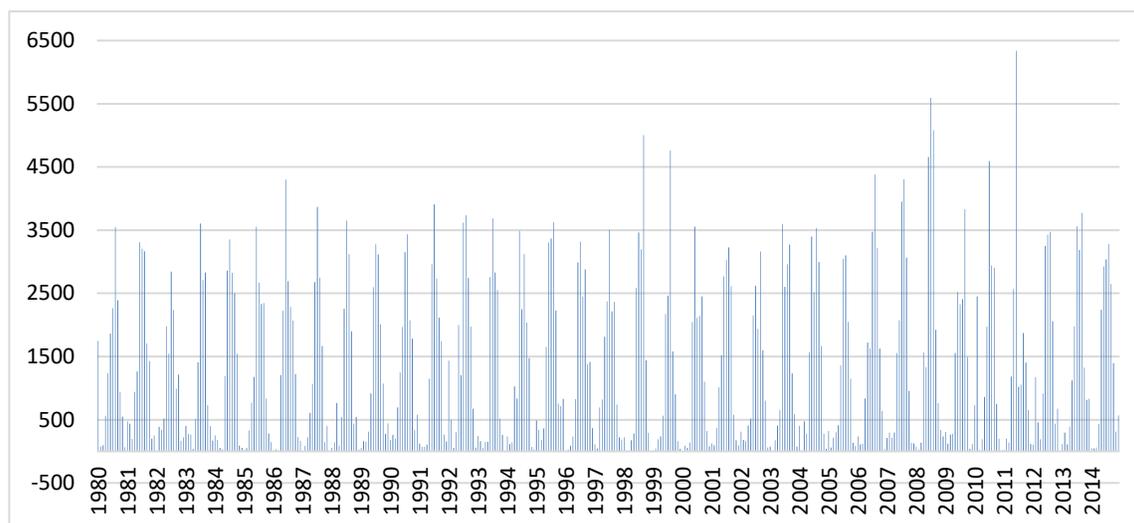


Fuente: Elaboración propia con base en datos de CONAGUA

De acuerdo con los datos obtenidos de las estaciones meteorológicas de la CONAGUA, la precipitación media en promedio de los 34 años en la región se encuentra entre los 900 y los 1000 mm para los meses más húmedos que van de marzo a agosto aproximadamente que es cuando se establecen los períodos de lluvias y de los 300 a los 600 mm en los meses más secos que van de septiembre a febrero. La precipitación media acumulada anual se ha establecido entre los 680 a los 1,070 mm, sin embargo, en 2011 se puede observar un incremento significativo de casi lo doble de lo normal y se puede apreciar que las precipitaciones han aumentado a partir de la década de los 90's. En algunas regiones las lluvias han aparecido meses antes de lo habitual presentándose como un problema para la actividad agrícola bajo condiciones de temporal y la intensidad de las mismas también es un

factor que afecta a éstos y va relacionado con otros fenómenos como son los huracanes y ciclones que regularmente aparecen en los meses de junio a agosto (figura 29).

Figura 29. Precipitación media mensual de 1980 a 2014 del DDR Toluca

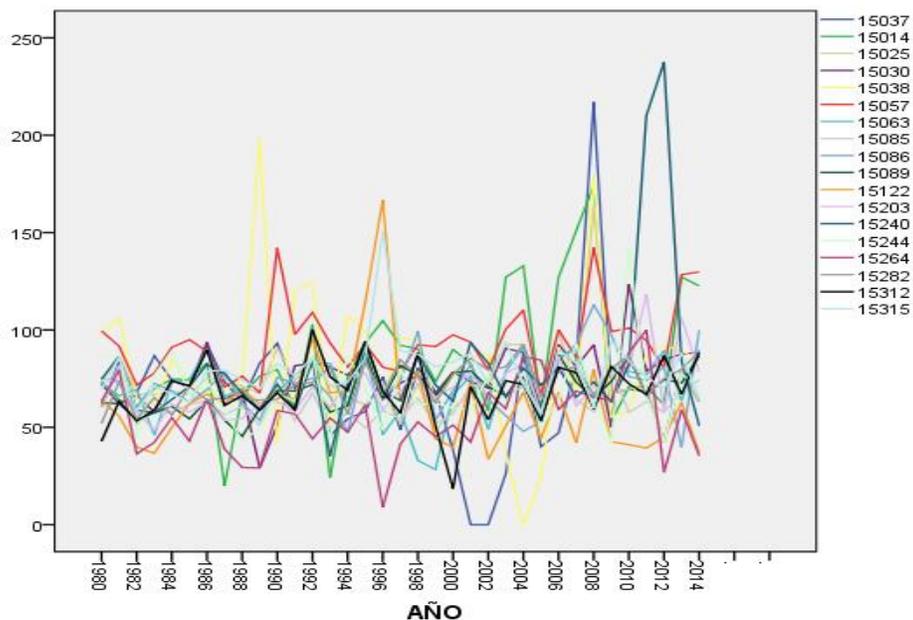


Fuente: Elaboración propia con base en datos de CONAGUA

De acuerdo con los datos de las estaciones meteorológicas de CONAGUA la precipitación media anual más alta ha alcanzado los 240 mm en la estación 15240 ubicada en Tenango del Valle en 2013, seguido de la estación 15037 en Jiquipilco la cual alcanzó los 230 mm en 2008 y la 15038 de Joquicingo que llegó a los 200 mm en 1989, por su parte, las precipitaciones más bajas se ubican en la estación 15037 de Joquicingo y 15037 de Jiquipilco que entre el año 2000 y 2004 alcanzaron los 0.2 mm, seguidas de la 15264 también en Jiquipilco que en 1996 registró 10 mm (figura 30).

Como se puede apreciar en la figura 30, a partir del año 1995 se observa un incremento significativo de las precipitaciones especialmente en los municipios de Tenango del Valle, Lerma, Oztolotepec, Jiquipilco y Joquicingo, no obstante, en la mayoría de los municipios se puede apreciar este incremento en menor medida, lo que indica que la frecuencia e intensidad de dicho parámetro ha ido en aumento.

Figura 30. Precipitación media por estación meteorológica de 1980 – 2014



Fuente: Elaboración propia con base en datos de CONAGUA

La distribución de la precipitación en la región durante el período de estudio en cada mes muestra que los meses de julio a agosto son los que presentan mayor humedad, mientras que los meses de diciembre a febrero son los más secos lo cual indica que los ciclos agrícolas bajo condiciones de temporal ideales son los de primavera – verano debido a las condiciones climáticas presentes en ese tiempo.

3.2.2. Análisis longitudinal de la producción de maíz en el DDR Toluca de 1980 – 2014

De acuerdo con el INEGI (1997), el cultivo del maíz en el Estado de México se realiza principalmente en el ciclo primavera – verano con casi 98% de hectáreas dedicadas a éste producto y el 2% restante durante los ciclos otoño – invierno, esto se debe a que las condiciones durante el primer ciclo son las ideales para el desarrollo de esta actividad debido a los requerimientos climatológicos que ocupa este grano para su producción como son temperaturas de 25 a 30°C y humedad mayor a 500 mm principalmente. De acuerdo con los datos del INEGI, los Distritos de Desarrollo que realizan su actividad agrícola en los ciclos de primavera – verano son los correspondientes a la región de Texcoco, Atlacomulco, Toluca

y Jilotepec, mientras que los que realizan su actividad en los ciclos Otoño – Invierno corresponden a las regiones de Zumpango y Coatepec Harinas.

Por su parte, el DDR Toluca se caracteriza por ser junto con el de Atlacomulco, el principal productor de maíz en la entidad (INEGI, 1997). En la región se practican los dos tipos de agricultura que corresponden la de riego y la de temporal. De acuerdo con información del Anuario Estadístico Agrícola del Sistema de Información Agrícola y Pecuaria (SIAP, 2010), la modalidad imperante del cultivo de maíz corresponde al de temporal ocupando el 85% de la superficie y el resto corresponde a la modalidad de riego. Las variedades de maíz de temporal que se siembran en la región son el maíz blanco en primer lugar seguido del maíz pozolero con el 92% de la producción total y pozolero con 2% de la misma. De acuerdo con información del SIAP, en 2013 la producción de maíz por tonelada fue de 451, 276 toneladas de las cuales 429, 092 ton correspondieron a la variedad de maíz blanco y 10.3 ton al maíz pozolero.

De acuerdo con información proporcionada en las oficinas del DDR Toluca en la SEDAGRO los datos referentes al cultivo de maíz con los que se cuentan de 1980 al año 1998 se encuentra registrada a nivel estado, a partir del año 1999 ya se proporciona información específica para cada DDR y por municipio, por lo que en este análisis se divide en dos partes, la primera a nivel estatal de 1980 a 1998, y la segunda a nivel Distrito de 1999 a 2014.

Durante el período de 1980 a 1998 en el Estado de México se sembraron 10, 549, 513 hectáreas de maíz de temporal durante el ciclo primavera-verano y de las cuales se cosecharon 9, 957, 401 es decir el 94% de la superficie sembrada obteniendo una producción de 27, 208, 625.99 toneladas y un rendimiento de 51.25 toneladas por hectáreas generando un valor de 14, 964, 981, 685 miles de pesos durante esos 19 años (Cuadro 20). La figura 31 muestra el total de superficie por año sembrada y cosechada para el maíz de temporal en la entidad, de acuerdo con ésta los años que se alcanzaron mayores superficies cosechadas fueron 1984 con una superficie cosechada de 632, 855 ha con una producción de 1,761, 510 toneladas y un rendimiento de 2.78 y el cual generó un valor de 58, 922, 510 pesos, seguido del año 1983 con una superficie cosechada de 601, 881 ha y una producción de 1, 647, 348

toneladas y rendimiento de 2.74 ton/ha con un valor de 23, 112, 968 pesos y finalmente en 1985 se cosechó una superficie de 601, 099 hectáreas de maíz con una producción de 1, 786, 155 toneladas y un rendimiento de 2.97 ton/ha generado un valor de 95, 202, 062 pesos.

Cuadro 20. Producción de maíz de temporal ciclo primavera - verano en el Estado de México de 1980 a 1998

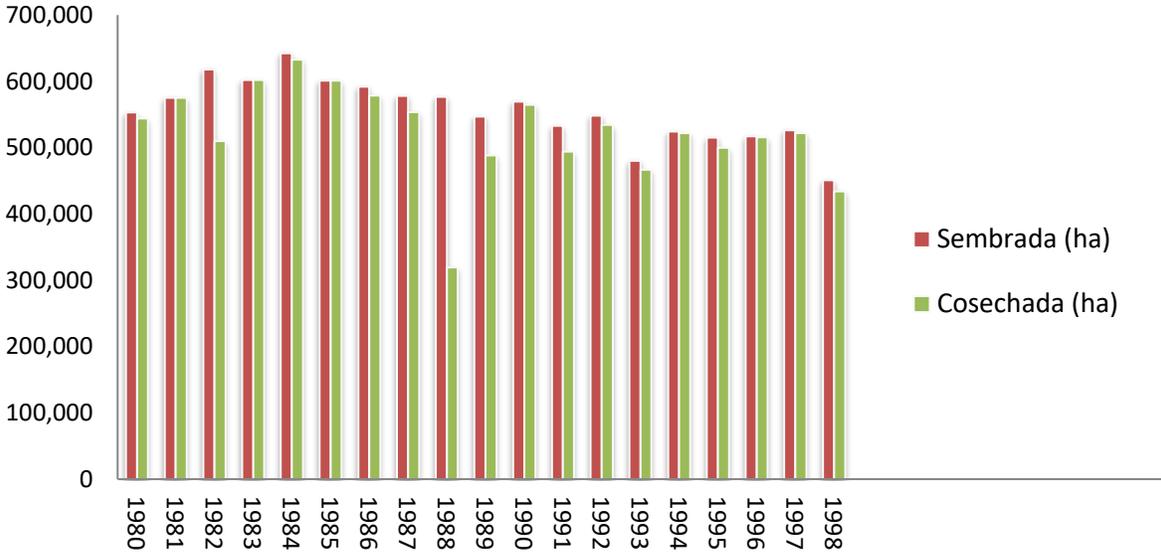
Año Agrícola	Sembrada (ha)	Cosechada (ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/ha)	Valor (miles de pesos)
1980	552951	544184	1383424	2.54	6917120
1981	575029	575029	1545117	2.69	11212914
1982	618119	510120	1289254	2.53	11025700
1983	601881	601881	1647348	2.74	23112968
1984	642404	632855	1761510	2.78	58922510
1985	601099	601099	1786155	2.97	95202062
1986	592039	578337	1586429	2.74	148484551
1987	578179	553607	1499692	2.71	378527719
1988	576606	319331	480798	1.51	181758308
1989	546832	488330	845820	1.73	419995090
1990	569478	564672	1915927	3.39	1091082108
1991	532964	493868	1369726	2.77	970717968
1992	548223	534357	1482701	2.78	1096273535
1993	480301	466634	911965	1.95	667200000
1994	524093	521766	1107034	2.12	666135569
1995	515066	499805	1735348	3.47	2107649560
1996	517336	515520	1758764	3.41	2664175707
1997	526112	521933	1865479	3.57	2374717457
1998	450801	434073	1236134.99	2.85	1991870839
TOTAL	10549513	9957401	27208625.99	51.25	14964981685

Fuente: Elaboración propia con base en datos de SIAP

Como se puede apreciar en la figura 31, la superficie para cultivo de maíz para siembra ha ido disminuyendo a través del tiempo por lo que la superficie cosechada, la producción, el rendimiento y los valores generados han disminuido también, esto se puede deber a diversas

causas como pérdidas por eventos climáticos, superficies siniestradas por la actividad humana, cambios en los intereses políticos, económicos y sociales, entre otros.

Figura 31. Superficie sembrada y cosechada del maíz de temporal durante el ciclo primavera – verano en el Estado de México de 1980 a 1998



Fuente: Elaboración propia con base en datos de SIAP

En lo que se refiere al DDR Toluca se tiene información para cada municipio a partir de 1999, de acuerdo con los datos recopilados del SIAP durante el período de 1999 al 2014 la superficie sembrada fue de 2, 339, 531.2 hectáreas de las cuales se cosecharon 2, 210, 433.8 hectáreas es decir el 94.4% lo que implica una producción de 7, 937, 446.2 toneladas y un rendimiento de 56.3 ton/ha con un valor de 1, 796, 976, 145.2 pesos (cuadro 21).

El año en el que se sembró mayor superficie entre 1999 y 2014 fue el 2001 con 504, 222.4 ha de las cuales se cosecharon 503, 436.7, es decir casi el 99% de la superficie sembrada con una producción de 1, 843, 959.1 toneladas, rendimiento de 3.7 ton/ha y valor de 2, 576, 642.6 pesos, seguido del año 2002 donde se sembró una superficie 247, 184.1 hectáreas de las cuales se cosecharon 246, 520.7, es decir casi el 99% del total de la superficie con una producción de 931, 649.3 ton y un rendimiento de 3.9 ton/ha con un valor de 446, 465, 860.3

pesos. A excepción de esos dos años, los demás se mantuvieron con una producción de 309, 461 a 931, 649 toneladas anuales.

Cuadro 21. Producción de maíz de temporal ciclo primavera - verano en el DDR – Toluca de 1999 a 2014

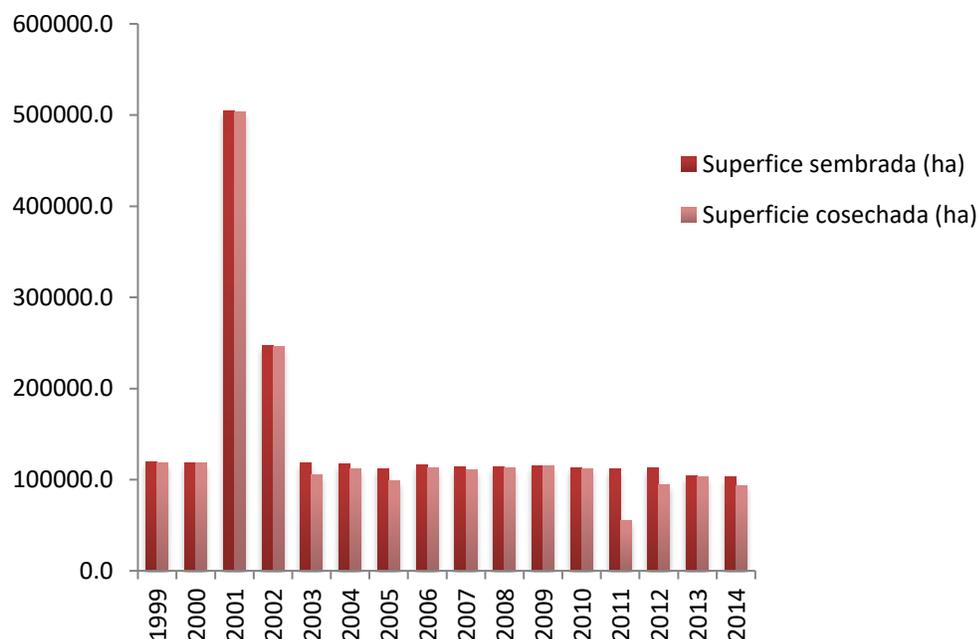
Año Agrícola	Sembrada (ha)	Cosechada (ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/ha)	Valor (miles de pesos)
1999	119025.0	118188.3	543681.4	4.6	766590830.4
2000	118305.0	117937.0	407307.2	3.5	570230108.0
2001	504222.4	503436.7	1843959.1	3.7	2576642.6
2002	247184.1	246520.7	931649.3	3.9	446465860.3
2003	118400.9	104896.7	392771.7	3.7	533716.1
2004	117509.3	112275.5	335516.3	3.0	598722.0
2005	112130.6	99034.2	239478.5	2.4	377290.0
2006	115835.3	113243.9	433976.2	3.8	931764.6
2007	114355.9	110904.2	442570.2	4.0	1096782.9
2008	113811.9	112506.9	431625.8	3.8	1281622.8
2009	115101.9	114755.4	309461.2	2.7	962507.9
2010	112720.5	111585.5	390411.4	3.5	1124600.0
2011	111782.4	54703.9	115702.8	2.1	473319.4
2012	112702.6	93920.6	315392.0	3.4	1442108.8
2013	103864.6	102804.1	443660.0	4.3	1197811.3
2014	102578.8	93720.3	360283.1	3.8	1092458.0
TOTAL	2339531.2	2210433.8	7937446.2	56.3	1796976145.2

Fuente: Elaboración propia con base en datos de SIAP

El año en el que se sembró mayor superficie entre 1999 y 2014 fue el 2001 con 504, 222.4 ha de las cuales se cosecharon 503, 436.7, es decir casi el 99% de la superficie sembrada con una producción de 1, 843, 959.1 toneladas, rendimiento de 3.7 ton/ha y valor de 2, 576, 642.6 pesos, seguido del año 2002 donde se sembró una superficie 247, 184.1 hectáreas de las cuales se cosecharon 246, 520.7, es decir casi el 99% del total de la superficie con una producción de 931, 649.3 ton y un rendimiento de 3.9 ton/ha con un valor de 446, 465, 860.3 pesos. A excepción de esos dos años, los demás se mantuvieron con una producción de 309, 461 a 931, 649 toneladas anuales. Por otro lado, el año donde hubo una menor superficie

cosechada fue 2011 con 54, 703.9 ha, lo cual implicó un 48.9% del total de la superficie cosechada, generando una producción de 115702.8 ton y un rendimiento de 2.1 ton/ha, generando un valor de 473, 319.4 pesos (figura 32).

Figura 32. Superficie sembrada y cosechada del maíz de temporal durante el ciclo primavera – verano en el DDR-Toluca de 1999 a 2014



Fuente: Elaboración propia con base en datos de SIAP

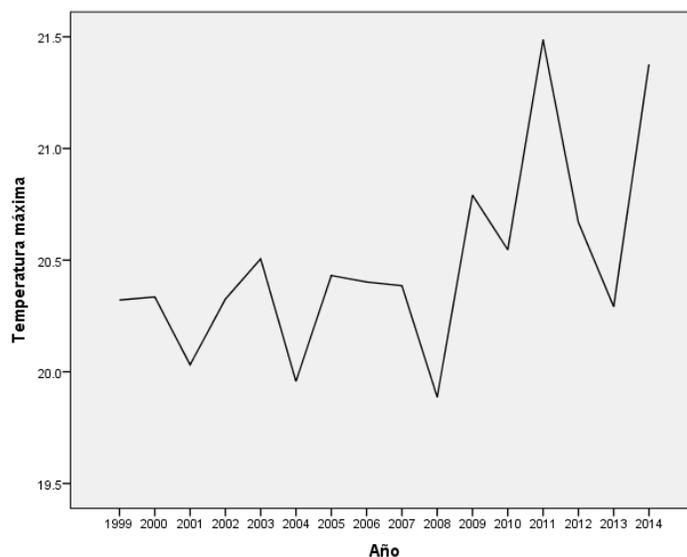
Como se puede observar en la figura 32 entre los años de 1999 a 2014 las diferencias entre la superficie sembrada y la cosechada no ha presentado mucha variación a excepción del año 2011 donde la diferencia entre ambos parámetros fue de cerca del 50%. Esto se debe en su mayoría a la superficie siniestrada que fue mayor en ese año, los años con mayor producción y rendimiento del maíz de temporal fueron el 2001 y 2002 en los cuales se incrementó casi el doble de la producción normal anual, en el siguiente apartado se analizará la relación entre el comportamiento de dicha actividad con las variaciones climáticas de temperatura y precipitación durante el período de estudio.

3.2.3. Comparación del comportamiento de la producción de maíz de temporal y las variaciones climáticas

Como se mencionaba en los apartados anteriores los datos referentes a los cultivos de maíz se encuentran divididos en dos partes, de 1980 a 1998 están registrados a nivel estado y a partir de 1999 a 2014 los datos se encuentran a nivel DDR y municipios, debido a esto en el presente apartado se hace un análisis del comportamiento de la temperatura y precipitación con respecto los cultivos de maíz de temporal en el ciclo primavera verano de 1999 a 2014.

La temperatura máxima de 1980 a 2014 se encuentra entre los 20 y los 21.5°C en promedio, dicho parámetro muestra un incremento a partir del año 2009 y disminuye hacia 2013, sin embargo de 2009 a 2012 es cuando hay un mayor incremento (figura 33), por otro lado, la temperatura mínima también muestra un aumento a partir de 2002 llegando a 6.0°C en promedio, para 2008 se muestra un decremento llegando a 4.7°C y en 2009 vuelve a aumentar alcanzando su punto más alto en 2013 de casi 6.0°C (figura 34).

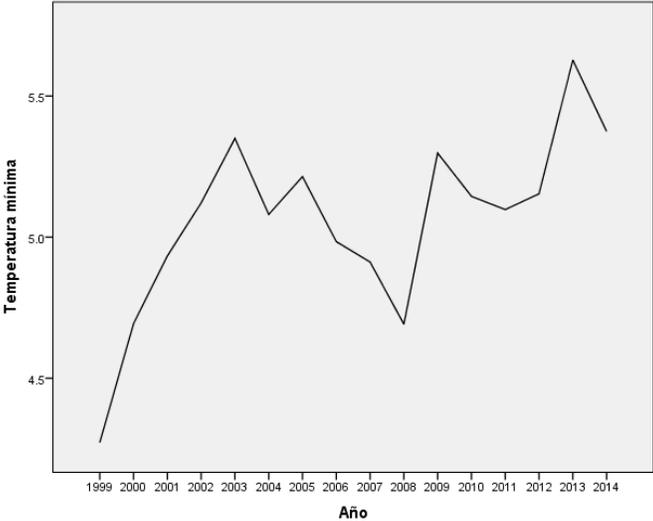
Figura 33. Temperatura máxima por año de 1999 a 2014 en el DDR Toluca



Fuente: Elaboración propia con base en datos de CONAGUA

Respecto a estos parámetros, en 2001 y 2002 se muestran los rendimientos y cosechas más altas para los cultivos de maíz de temporal en los ciclos primavera – verano (figura 32) lo cual va de la mano con los aumentos de temperatura registrados a partir de esa década, de acuerdo con el INEGI (2009), el maíz requiere una temperatura óptima de 25 a 30°C, por lo que el aumento en las temperaturas favorece a la producción del grano en el Distrito.

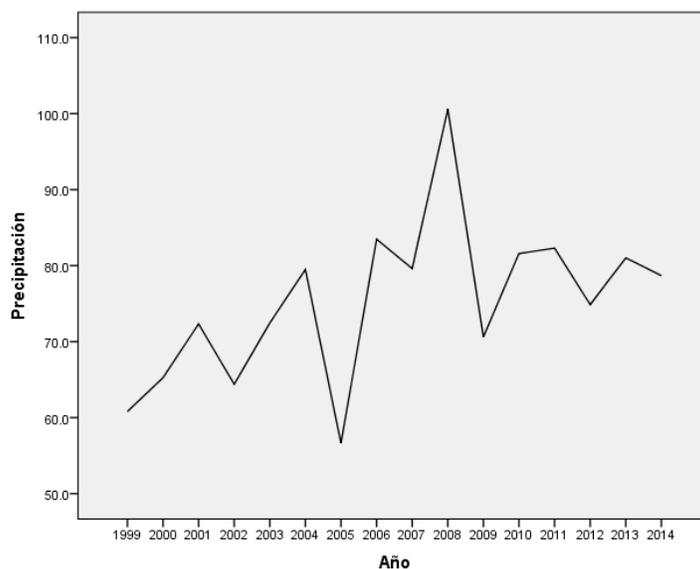
Figura 34. Temperatura mínima por año de 1999 a 2014 en el DDR Toluca



Fuente: Elaboración propia con base en datos de CONAGUA

El comportamiento de la precipitación es más variado y la media anual durante el período se encuentra entre los 60 y 100 mm en promedio sin embargo durante los meses de lluvias (mayo a agosto) se presentan valores de hasta 300 mm de pp acumulada mensual dependiendo de la región y las características climatológicas de la misma. A partir de 2008 se observa un incremento de cerca de 100 mm en promedio durante ese año, posteriormente decae en 2009 a 70 mm en promedio y se reestablece de 2010 a 2014 entre 75 y 83 mm (figura 35). Durante los años con mayor rendimiento de maíz de temporal (2001 y 2002) las precipitaciones se encontraron en un rango de 65 mm en promedio, lo cual indica que dicho parámetro no ha influenciado de manera significativa el comportamiento del cultivo. Por otro lado, la disminución de superficie cosechada que se presentó en 2011 pudo verse influenciada por el aumento de las precipitaciones de 2009 a 2011.

Figura 35. Precipitación media por año de 1999 a 2014 en el DDR Toluca



Fuente: Elaboración propia con base en datos de CONAGUA

Los factores que tienen mayor incidencia en la práctica de cultivo de maíz en los ciclos primavera - verano bajo condiciones de temporal en el DDR son principalmente las temperaturas, como se ha observado el comportamiento de la misma aunque no presenta mucha variabilidad ha ido aumentando lo cual se va visto reflejado en las buenas cosechas, producción y rendimiento del grano por lo que se considera hasta el momento que los cambios en el clima han beneficiado al cultivo, sin embargo algunas investigaciones pronostican la tendencia de calentamiento en la región por lo que si se llegara a sobrepasar el límite máximo de temperatura óptima que son los 30°C ésta actividad puede ponerse en riesgo junto con las personas que dependen directa o indirectamente de ella.

CAPÍTULO 4.
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Evaluación de vulnerabilidad (método de pesos iguales)

De acuerdo con diversos autores para entender la vulnerabilidad es importante estudiarla desde tres esferas o componentes básicos, a saber: grado de exposición, grado de sensibilidad y nivel de capacidad adaptativa que presenta el sistema en general, por lo que en los siguientes apartados se explica y se analiza a detalle cada uno de ellos a través de indicadores que permiten entender y medir la dinámica de cada uno de los componentes y finalmente poder evaluar e indizar la vulnerabilidad del maíz y la población en la región.

4.1.2. Tratamiento de datos: selección de indicadores de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa

En México existen diversas fuentes que proveen información de manera oficial en cuanto a datos estadísticos y geográficos respecto a diferentes temas de interés, el INEGI es la fuente oficial de información respecto a censos y conteos de población y características de la misma, de la misma manera tiene datos de desarrollo social, agrícola, economía y política a nivel nacional, estatal, municipal y en algunos casos hasta local. Por otro lado se recurrió a consulta de otras fuentes como la CONAPO respecto a datos de población, SEDESOL para datos referentes al desarrollo social como son planes y programas de apoyo a las comunidades, CENAPRED el cual es el organismo encargado a nivel nacional de manejar información referente a desastres naturales como son inundaciones, deslizamientos, sismos, erupciones volcánicas y todo tipo de fenómeno que pueda afectar de alguna manera a la población por lo que se recurrió a esta institución para recopilar datos referentes a los fenómenos naturales a los que se encuentra expuesta la región, finalmente se utilizaron los datos obtenidos de la CONAGUA y del SMN para determinar las temperaturas y precipitaciones medias de la región así como la frecuencia de helada, granizadas y sequías en la misma a través de los datos climatológicos obtenidos de las estaciones meteorológicas de dicha instancia, finalmente el SIAP que cuenta con un Anuario Estadístico sobre agricultura de las cuales se obtuvo información sobre producción y rendimiento del maíz en la región.

Para la selección de indicadores se recurrió a la revisión bibliográfica y se tomaron como referencia las investigaciones de Alejandro Monterroso y Ramiro Ahumada quienes proponen metodologías para evaluar la vulnerabilidad agrícola a nivel regional y municipal, el primer paso consistió en comparar los indicadores que utilizaron ambos autores para sus proyectos y de esta forma ver cuales tienen en común para de esta manera seleccionar los más importantes para esta investigación. En un principio se contaba con 32 indicadores distribuidos para cada esfera de vulnerabilidad, sin embargo, se eligieron 23 (cuadro 22, 23 y 24) debido a la disponibilidad de información publicada por las fuentes oficiales para cada municipio que conforma el DDR Toluca.

A continuación, se muestra el listado de indicadores para medir el grado de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa partiendo para cada uno de ellos desde el componente que implica el eje central de cada parámetro, seguido del indicador, una breve descripción del mismo con el período de tiempo (en caso de que se trate de frecuencias) o el año del dato (buscando ser el más reciente publicado) y la fuente de donde se obtuvo la información.

Cuadro 22. Indicadores de Exposición

Componente	Indicador	Descripción	Fuente
Frecuencia de eventos extremos	Deslizamientos	Porcentaje de área susceptible a deslizamientos 2015	CENAPRED
	Inundaciones	Porcentaje de área inundada 2016	CENAPRED
	Heladas y granizadas	Frecuencia de heladas y granizadas anuales	ATLAS DE RIESGOS 2015
Problemática ambiental	Fertilidad	Porcentaje de unidades de producción en el municipio que reportaron pérdidas por falta de fertilidad en el suelo	INEGI
Cambios en el clima	Temperatura	Temperatura media anual (°C)	INEGI
	Precipitación	Precipitación media anual (mm)	INEGI

Fuente: elaboración propia con base en Monterroso (2012) y Ahumada (2014)

Cuadro 23. Indicadores de Sensibilidad

Componente	Indicador	Descripción	Fuente
Población	Indígenas	Porcentaje de población indígena por municipio 2010	CONAPO
	Pobreza alimentaria	Porcentaje de personas en el municipio en condición de pobreza alimentaria 2010	INEGI
	Actividades primarias	Porcentaje de población en el municipio que se dedica a actividades primarias	INEGI
Salud	Servicios de salud	Porcentaje de población que cuenta con servicios de salud	INEGI
Agrícola	Superficie primaria	Porcentaje de la superficie del municipio dedicadas a las actividades primarias	INEGI
	Sin riego	Porcentaje de las U de producción que no cuentan con algún sistema de riego	INEGI
	Rendimiento temporal	Rendimiento promedio para el cultivo de maíz	SIAP

Fuente: elaboración propia con base en Monterroso (2012) y Ahumada (2014)

Cuadro 24. Indicadores de Capacidad Adaptativa

Componente	Indicador	Descripción	Fuente
Capital humano	Alfabetismo	Porcentaje de personas del municipio de 12 años o más que sabe leer	INEGI
	Escolaridad	Porcentaje de asistencia a la escuela por población de 6 a 24 años	INEGI
	Alfabetización	Tasa de alfabetización por municipio	CONAPO
Capital social	Organización	Porcentaje de las U de producción del municipio organizadas para acceder a algún apoyo	INEGI
	Capacitación	Porcentaje de las U de producción del municipio que no señalaron falta de capacitación	INEGI
	Protección civil	Existencia de una unidad de protección Civil en el municipio	ATLAS DE RIESGOS

Capital financiero	Acceso a crédito	Porcentaje de U de producción del municipio sin dificultad para acceder a un crédito	INEGI
	Ahorros	Porcentaje de U de producción del municipio que reportaron algún tipo de ahorro	INEGI
	Créditos	Porcentaje de U de producción del municipio con cobertura de crédito y seguro	INEGI
	PIB	Producto Interno Bruto estimado	IGECEM 2015
Capital natural	Bosque y selvas	Superficie total del municipio con presencia de bosques y / o selvas	Inventario Forestal 2010

Fuente elaboración propia con base en Monterroso (2012) y Ahumada (2014)

4.1.3. Obtención de subíndices de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa

Para la obtención de subíndices el primer paso fue crear una base de datos con la información recopilada correspondiente a cada variable, en el caso de exposición y sensibilidad los valores más altos representan mayor severidad mientras que para la capacidad adaptativa los valores más altos representan mayor capacidad de adaptación.

De acuerdo con la propuesta de Monterroso (2012) y Ahumada (2014) el primer paso a realizar es la estandarización de datos con la finalidad de eliminar las diferentes escalas y poder comparar las variables a través de la siguiente ecuación 1 y posteriormente normalizar las distancias de 0 a 100 con la ecuación 2 y multiplicados por cien:

$$Zv = \frac{Xi - X}{DS} \quad (1)$$

Dónde:

Z= Valor estandarizado de la variable v

Xi = Valor observado de v

X = Valor medio del conjunto de valores i

DS = Desviación estándar del conjunto i

$$Ip = \frac{I_{obs} - I_{mínimo}}{(I_{máximo} - I_{mínimo})} \quad (2)$$

Dónde:

I = Subíndice de la variable P

I_{obs} = Valor del subíndice para cada municipio

$I_{mínimo}$ = Valor mínimo observado del conjunto de valores de I_p

$I_{máximo}$ = Valor máximo observado del mismo conjunto de valores I_p

4.1.3.1. Exposición

En el cuadro 13 se mencionaron las variables utilizadas para medir la exposición de cada municipio las cuales fueron agrupadas en tres grupos de indicadores correspondientes a eventos extremos, problemática ambiental y cambios en el clima. Para calcular el índice de exposición actual en el Distrito se aplicó la ecuación 3 y sus distancias se normalizaron con la ecuación.

$$\text{Subíndice de exposición} = \frac{\left(\frac{EE}{3}\right) + \left(\frac{PA}{1}\right) + \left(\frac{CC}{2}\right)}{3} \quad (3)$$

Dónde:

EE = Eventos extremos

PA = Problemática ambiental

CC = Cambios en el clima

Los eventos extremos son considerados una amenaza a la actividad agrícola debido a los impactos que tienen en los cultivos especialmente de temporal por lo que analizando las condiciones geográficas y climáticas de la región por lo que se consideraron los deslizamientos que se presentan principalmente en la zona sur del Distrito durante épocas de lluvias así como las inundaciones que se concentran en su mayoría en la zona centro y por último las heladas y granizadas que se extienden a lo largo de la región viéndose intensificadas en época de invierno.

Por otro lado, la problemática ambiental respecto a la actividad agrícola más importante corresponde al porcentaje de unidades de producción que reportan pérdidas por falta de fertilidad en el suelo, en este sentido los municipios más afectados son Xonacatlán y Zinacantepec con el 20% de UP con pérdidas agrícolas.

Para los cambios en el clima se consideraron dos parámetros correspondientes a la temperatura media anual (°C) y la precipitación media anual (mm) ya que éstos determinan la producción de maíz de temporal de la zona de estudio. En el capítulo 3.2.3 se realizó una comparación del comportamiento de la producción de maíz y las variaciones climáticas, de acuerdo con los resultados obtenidos el cultivo se ha visto beneficiado con los aumentos en las temperaturas sin embargo en lo que corresponde a la ZMVT los aumentos en dicho parámetro han sido significativos lo cual es un indicador de aumento que a futuro puede afectar a la producción agrícola. Por otro lado, la precipitación si ha presentado mayor variación en cuanto a duración, intensidad, temporalidad y espacialización lo que ha favorecido principalmente a las inundaciones y deslizamientos. Otro problema referente a la precipitación radica en el inicio y fin de la temporada de lluvias la cual es fundamental en el ciclo agrícola, este desajuste de dicha temporada resulta un problema para las fases de riego del cultivo, los municipios más afectados por el aumento de precipitación son Almoloya del Río, Atizapán, Chapultepec, Rayón, San Antonio la Isla y San Mateo Atenco.

De acuerdo con los resultados obtenidos derivados de las correlaciones entre componentes e indicadores respecto a la vulnerabilidad, la exposición presenta una relación muy poco significativa y de ésta la categoría que explica de mejor manera el comportamiento fue la del Clima con 0.23 en relación a la vulnerabilidad en la cual se puede expresar que a temperaturas de 13 a 14°C se presenta un grado bajo de vulnerabilidad y el aumento de las mismas representan un incremento en ésta, por otro lado las precipitaciones de cerca de 900 mm se encuentran dentro de un grado bajo mientras que superando los 1000 mm aumenta el grado de vulnerabilidad del cultivo. Respecto a lo anterior, los fenómenos extremos presentan un grado de correlación con la vulnerabilidad de 0.22 lo que es poco significativa ya que de manera general la superficie susceptible a deslizamientos es poca y las superficies inundadas corresponden a zonas urbanas principalmente donde no existe afección significativa en los

cultivos, por otro lado las heladas y granizadas son fenómenos que si han afectado a la agricultura de temporal por presentarse en la mayor parte de la zona de estudio. Finalmente, los problemas ambientales fueron evaluados por medio del porcentaje de unidades de producción con pérdidas por fertilidad de suelos y éste muestra una correlación respecto a la vulnerabilidad muy baja con tan solo el 0.08 lo que indica que el comportamiento de este indicador no es determinante dentro del valor de la exposición del cultivo.

En general se observa que el grado de exposición no es significativo más que en la presencia de heladas y granizadas, así como en el comportamiento de la temperatura y la precipitación, un valor de 12 a 34 de exposición implica un grado de baja vulnerabilidad, mientras que de 47 implica un grado de media y de 71 a 94 de alta, lo cual indica que al aumentar la exposición la vulnerabilidad aumenta. Los municipios que presentan menor grado de exposición son Almoloya de Juárez, Atizapán, Capulhuac, Jiquipilco, Metepec, Mexicaltzingo, Rayó y Temoaya, mientras que los que presentan mayor exposición son Xalatlaco, Texcalyacac y Zinacantepec (cuadro 25).

Cuadro 25. Subíndice de exposición por municipio en el DDR Toluca

Municipio	Valor de subíndice	Severidad
Almoloya de Juárez	0	muy baja
Almoloya del Río	41	media
Atizapán	10	muy baja
Calimaya	36	baja
Capulhuac	6	muy baja
Chapultepec	40	baja
Xalatlaco	81	muy alta
Jiquipilco	14	muy baja
Lerma	34	baja
Metepec	17	muy baja
Mexicaltzingo	18	muy baja
Ocoyoacac	32	baja
Otzolotepec	32	baja
Rayón	18	muy baja
San Antonio la Isla	25	baja
San Mateo Atenco	42	media

Temoaya	8	muy baja
Tenango del Valle	74	alta
Texcalyacac	100	muy alta
Tianguistenco	36	baja
Toluca	59	media
Xonacatlán	68	alta
Zinacantepec	100	muy alta

Fuente: Elaboración propia, 2017

4.1.3.2. Sensibilidad

Las variables para medir el nivel de sensibilidad de la zona de estudio de igual forma que para la exposición se agruparon en tres categorías: población, salud y agrícola y se aplicó la ecuación 4 para calcular el subíndice y la ecuación 2 para normalizar sus distancias.

$$\text{Subíndice de sensibilidad} = \frac{\left(\frac{P}{3}\right) + \left(\frac{S}{1}\right) + \left(\frac{A}{3}\right)}{3} \quad (4)$$

Dónde:

P= Población

S= Salud

A = Agricultura

Las variables que se utilizaron en el grupo de población fueron la población indígena en cada municipio ya que ésta se dedica principalmente a actividades agrícolas y se encuentra concentrada en su mayoría en las zonas rurales, generalmente su principal fuente de ingreso y en algunos casos de alimentación se deriva de las prácticas agrícolas por lo que se considera a este tipo de población más sensible ante cualquier situación que afecte a dicha actividad, en este sentido el municipio que concentra la mayor cantidad de población indígena corresponde a Temoaya con el 56% seguido de Oztolotepec con 22%.

Dentro de la sensibilidad también se consideró necesario tomar en cuenta la pobreza alimentaria y el porcentaje de población que se dedica a actividades primarias ya que ambas variables definen que tan sensible se encuentra dicha población ante algún evento climático que pudiese alterar sus actividades económicas y en dado caso empeorar las condiciones

alimenticias de la misma sobre todo si su principal fuente de alimentación se deriva de la práctica de la agricultura.

En este sentido los municipios que presentan mayor grado de pobreza alimentaria son Jiquipilco con el 49% de la población en dichas condiciones, seguido de Atizapán, Calimaya, Xalatlaco, San Mateo Atenco y Zinacantepec con el 42% y Lerma y Oztolotepec con el 41%. Por otro lado, los municipios que tienen mayor porcentaje de población dedicada a actividades primarias son Texcalyacac con 29%, Tenango del Valle con 27%, Jiquipilco con 22% y Xalatlaco con 20%.

La sensibilidad por su parte actúa de la misma manera que la exposición, lo que indica que al aumentar el grado de sensibilidad aumenta también la severidad de la vulnerabilidad en los cultivos, en este sentido, la sensibilidad presenta una correlación bastante significativa con la vulnerabilidad con 0.77 esto como resultado de la influencia de las variables seleccionadas las cuales fueron evaluadas a través de tres grupos referentes a la población, la salud y la agricultura.

De acuerdo con lo anterior, el grupo que representa mayor influencia ante el comportamiento de la vulnerabilidad son los servicios de salud los cuales muestran que de un 32 a 34% de población que no cuenta con servicios de salud se presenta una baja vulnerabilidad mientras que de un 37 a 50% ya se presenta un alto grado de vulnerabilidad. Por otro lado, la agricultura fue estudiada a través del porcentaje de superficie dedicada a actividades primarias, porcentaje de unidades de producción que no cuentan con sistema de riego y el rendimiento de temporal, en este sentido la agricultura muestra una correlación de 0.46. los municipios que presentan menos del 18% de superficie dedicada a actividades primarias presentan menor vulnerabilidad, mientras que los que cuentan con más del 40% de la misma tienen un alto grado de ésta, caso contrario sucede respecto a la UP que no cuentan con riego ya que las que tienen menos del 80% suelen tener un alto grado de vulnerabilidad respecto a las que tienen más del 90% de UP con sistemas de riego y respecto al rendimiento de temporal cuanto mayor sea el rendimiento mayor es el riesgo a presentar vulnerabilidad en el sistema agrícola. La población presenta una correlación baja con 0.18, cuando existe mayor

porcentaje de población indígena en este caso del 9% existe mayor vulnerabilidad mientras que a menor porcentaje hay menor vulnerabilidad, lo mismo ocurre con la pobreza alimentaria que va del 29 al 33% de población bajo esta condición en el rango de baja a media vulnerabilidad mientras que del 33 al 36% presenta un grado de alta, de la misma manera la población dedicada a actividades primarias muestra un aumento en el grado de vulnerabilidad mientras sea mayor el número de población que se dedica a esta actividad, lo que indica que cuando exista 18% o menos se encuentra en un nivel bajo mientras que del 35 al 42% se encuentra en un nivel alto. Los municipios que presentan una baja sensibilidad son Almoloya de Juárez, Chapultepec, Lerma, Metepec, Ocoyoacac, San Antonio la Isla, San Mateo Atenco, Texcalyacac, Toluca, Xonacatlán y Zinacantepec, mientras que los que son altamente sensibles son Atizapán, Calimaya, Capulhuac, Xalatlaco, Jiquipilco, Mexicaltzingo, Tenango del Valle y Tianguistenco (cuadro 26).

Cuadro 26. Subíndice de sensibilidad por municipio en el DDR Toluca

Municipio	Valor de subíndice	Severidad
Almoloya de Juárez	30	baja
Almoloya del Río	43	media
Atizapán	62	alta
Calimaya	100	muy alta
Capulhuac	100	muy alta
Chapultepec	14	muy baja
Xalatlaco	75	alta
Jiquipilco	69	alta
Lerma	34	baja
Metepec	0	muy baja
Mexicaltzingo	94	muy alta
Ocoyoacac	40	baja
Otzolotepec	41	media
Rayón	47	media
San Antonio la Isla	35	baja
San Mateo Atenco	27	baja
Temoaya	53	media
Tenango del Valle	78	alta
Texcalyacac	32	baja
Tianguistenco	78	alta
Toluca	11	muy baja

Xonacatlán	38	baja
Zinacantepec	33	baja

Fuente: Elaboración propia, 2017

4.1.3.3. Capacidad adaptativa

Finalmente, para calcular la capacidad adaptativa se agruparon las variables en 4 categorías: capital humano, capital social, capital financiero y capital natural, una vez que se obtuvieron los valores de cada variable se aplicó la ecuación 5 y se normalizaron las distancias a través de la ecuación 2.

$$Capacidad\ adaptativa = \frac{\left(\frac{CH}{3}\right) + \left(\frac{CS}{3}\right) + \left(\frac{CF}{4}\right) + \left(\frac{CN}{1}\right)}{4} \quad (5)$$

Dónde:

CH = Capital humano

CS = Capital social

CF = Capital financiero

CN = Capital natural

Para poder enfrentar los efectos a las adversidades de la variabilidad climática es necesario identificar las fortalezas que se presentan en cada municipio especialmente en aquellos donde se practica mayormente la agricultura de temporal debido a esto se eligieron las variables enlistadas en el cuadro 15. El capital humano refiere a las características de la población referentes al nivel de escolaridad, alfabetización y alfabetismo, en este caso el porcentaje de población que sabe leer y escribir para cada municipio es alto excediendo el 90% de la población, de la misma manera sucede con el porcentaje de la población de 5 años y más que asiste a la escuela así como la tasa de alfabetización que en general para la zona es del 7.5, las variables indican que el nivel de alfabetización y escolaridad es muy bueno e indica que la mayor parte de la población tiene estudios cuando menos a nivel básico lo que permite una mayor adaptación en caso de que la actividad agrícola se viera afectada.

El capital social se refiere al nivel de organización social que existe en las unidades de producción con la finalidad de obtener apoyos, créditos, capacitación, fondos de ahorro entre otros y mejorar las actividades agropecuarias. En general son pocas las unidades de producción por municipio que se encuentran organizadas para acceder a apoyos tan solo el 0.4% del total de UP muestran esta condición, de la misma manera solo el 3.6% han recibido capacitación, el municipio que ha sobresalido en este aspecto es Jiquipilco con el 20% de las UP que reciben capacitación constante.

El capital financiero va referido a las UP y las condiciones financieras a las que pueden acceder como son créditos, ahorros, seguros, así como el PIB para cada municipio. Los accesos a créditos se muestran restringidos, en total solo el 0.3% de las UP tienen acceso a créditos lo que dificulta en muchas ocasiones el mantenimiento de las actividades sobre todo cuando se presentan condiciones de pobreza, de la misma manera tan solo el 2.2% de las UP presentan algún tipo de ahorro lo que implica una baja capacidad de adaptación si ocurriera algún fenómeno natural que pusiera en riesgo a la actividad productiva, el municipio que presenta mayor porcentaje de ahorro es Tianguistenco con 12% de las UP. En cuanto a los créditos y seguros también se observa una gran deficiencia ya que solo el 0.01 % de las UP tienen este tipo de acceso, es decir de las 122, 447 UP solo 13 muestran este beneficio y se encuentran en los municipios de Almoloya de Juárez, Jiquipilco, Lerma, Ocoyoacac, Tenango del Valle, Toluca y Zinacantepec. A pesar de lo mencionado anteriormente el PIB es alto, en 2015 fue de 315, 419.1 millones de pesos, los municipios con PIB más altos son Toluca, Metepec y Lerma.

Finalmente el capital natural se refiere a los aspectos naturales con que cuenta la región y que resultan un beneficio ante la variabilidad climática por lo que se consideró la superficie total de cada municipio con presencia de bosques y selvas, para 2016 ésta cobertura cubrió solo el 19% de la región correspondientes a 58, 894 hectáreas, si bien no es ni $\frac{1}{4}$ parte del total de la superficie existen zonas de alto valor ecológico derivado de la extensión boscosa como es el caso del Parque Nacional “la marquesa”.

La capacidad adaptativa muestra una correlación de -0.51 con respecto a la vulnerabilidad lo cual indica que mientras sea menor el grado de capacidad de adaptación de cada municipio mayor es la vulnerabilidad del mismo. La capacidad adaptativa fue evaluada desde cuatro dimensiones, a saber: capital humano, capital social, capital financiero y capital natural.

El capital humano fue estudiado a través del grado de alfabetismo, la escolaridad y la tasa de alfabetización de la población de cada municipio, en este sentido cuanto mayor sea el número de personas alfabetas y con escolaridad es menor la vulnerabilidad presente por lo que los municipios que presentan del 93 al 94% de la población alfabeta y del 95 al 96% de personas con asistencia a la escuela es mayor la vulnerabilidad mientras que los que están entre el 96 y 97% de población alfabeta así como del 5 al 6% de personas con escolaridad están en la categoría de alta vulnerabilidad.

El capital social fue estudiado a través del número de UP organizadas para acceder a créditos y que tuvieron capacitación para realizar sus procesos de producción, en este caso cuanto menor es el porcentaje de UP en estas condiciones mayor es la vulnerabilidad, los municipios que presentan menos del 0.6% de UP con organización y 1% con capacitación son altamente vulnerables, mientras que los que tienen más del 0.8% de organización y 4.9% de UP con capacitación presentan valores más bajos respecto a la vulnerabilidad, por otro lado los municipios que presentan unidades de protección civil tienden a presentar menor vulnerabilidad y en este caso solo se cuenta con una unidad de protección civil en el Distrito y se encuentra en el municipio de Toluca.

El capital financiero fue abordado a través de las UP que no presentan dificultades para acceder a créditos, que presentan algún tipo de ahorro y créditos, así como el PIB por municipio. En todos los casos los valores más altos implican un grado bajo de vulnerabilidad, los municipios que presentan el 0.4% de UP con acceso a créditos y el 4.9% con ahorros se encuentran en el rango de baja vulnerabilidad mientras que los que se encuentran en menos de 0.3% de acceso a créditos y menos del 3.7% con ahorros presentan un grado alto de vulnerabilidad. En el caso de los créditos tan solo el 0.01% de las UP cuentan con ellos por lo que se encuentran en baja vulnerabilidad mientras que el resto se encuentra en un grado

alto. El comportamiento del PIB por municipio en general es alto, los resultados muestran que a mayor PIB menor grado de vulnerabilidad existe, por lo que los municipios que presentan ingresos de cerca de 139, 000 millones de pesos al año presentan un grado bajo de vulnerabilidad mientras que aquellos que perciben menos de 180 millones anuales presentan un grado alto.

Finalmente, el capital natural fue abordado desde las superficies que cuentan con cobertura de bosques y selvas, en general es menos del 20% de la superficie total de la zona y de la misma manera aquellos municipios que tienen mayor cobertura boscosa presentan menor grado de vulnerabilidad, es decir aquellos que tienen entre 14 y 22%, por otro lado, aquellos que presentan menos del 13% muestran un grado mayor de vulnerabilidad.

Los municipios que presentan una baja capacidad de adaptación son Almoloya de Juárez, Almoloya del Río, Atizapán, Calimaya, Capulhuac, Chapultepec, Xalatlaco, Lerma, Metepec, Mexicaltzingo, Ocototepec, Rayón, San Antonio la Isla, San Mateo Atenco, Temoaya, Tenango del Valle, Xonacatlán y Zinacantepec, mientras que los que muestran una alta capacidad adaptativa son Jiquipilco, Ocoyoacac, Texcalyacac, Tianguistenco y Toluca (cuadro 27).

Cuadro 27. Subíndice de capacidad adaptativa por municipio en el DDR Toluca

Municipio	Valor de subíndice	Severidad
Almoloya de Juárez	0	muy baja
Almoloya del Río	10	muy baja
Atizapán	0	muy baja
Calimaya	30	baja
Capulhuac	20	muy baja
Chapultepec	20	muy baja
Xalatlaco	40	baja
Jiquipilco	80	alta
Lerma	40	baja
Metepec	20	muy baja
Mexicaltzingo	30	baja
Ocoyoacac	70	alta

Otzolotepec	30	baja
Rayón	10	muy baja
San Antonio la Isla	10	muy baja
San Mateo Atenco	0	muy baja
Temoaya	10	muy baja
Tenango del Valle	40	baja
Texcalyacac	70	alta
Tianguistenco	50	media
Toluca	100	muy alta
Xonacatlán	30	baja
Zinacantepec	40	baja

Fuente: Elaboración propia, 2017

4.2. Vulnerabilidad actual ante variabilidad climática en el DDR Toluca

En la actualidad no existe una metodología aceptada universalmente para evaluar la vulnerabilidad (Magaña, 2014) debido a que ésta puede abordar diferentes perspectivas de acuerdo con el contexto del que se hable, algunas aportaciones respecto a la vulnerabilidad ante el cambio y variabilidad climática adoptan los métodos econométricos y por indicadores para establecer la medida de la misma en contextos regionales por medio de análisis estadísticos.

En este sentido de acuerdo con Monterroso (2012) los métodos que explican de mejor manera los componentes y comportamientos de la vulnerabilidad son el Análisis de Componentes Principales (ACP) y la asignación de pesos iguales a cada indicador. El autor coincide con Ramiro Ahumada (2014) en que el ACP es más fácil en cuanto a su aplicación sin embargo los resultados muestran menor severidad en la definición de la vulnerabilidad ya que los indicadores se analizan de manera general dejando a un lado el sentido de la exposición y sensibilidad por lo que se optó por la aplicación de pesos iguales a través del análisis de la exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación y así calcular la vulnerabilidad por medio de la ecuación 6.

$$Vulnerabilidad = \frac{(exposición+sensibilidad)+(1-capacidad adaptativa)}{3} \quad (6)$$

El cuadro 28 muestra los resultados del cálculo de los subíndices de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa por medio de los cuales se midió el grado de vulnerabilidad. Una vez calculada la vulnerabilidad actual se normalizaron las distancias de 0 a 100 con la ecuación 2 y se estableció el índice para cada uno de los municipios del Distrito.

Cuadro 28. Exposición, sensibilidad, capacidad adaptativa y vulnerabilidad por municipio

Municipio	Subíndice de exposición	Subíndice de sensibilidad	Subíndice de capacidad adaptativa	Vulnerabilidad actual	Vulnerabilidad normalizada (0 – 100)
Almoloya de Juárez	-0.4	-0.3	-0.5	0.2	55
Almoloya del Río	-0.1	-0.1	-0.4	0.4	74
Atizapán	-0.3	0.2	-0.4	0.4	78
Calimaya	-0.1	0.8	-0.1	0.6	99
Capulhuac	-0.4	0.8	-0.1	0.5	89
Chapultepec	-0.1	-0.6	-0.1	0.2	44
Xalatlaco	0.2	0.4	0.1	0.5	90
Jiquipilco	-0.3	0.3	0.6	0.1	41
Lerma	-0.1	-0.2	0.1	0.2	47
Metepec	-0.3	-0.8	-0.1	0.0	28
Mexicaltzingo	-0.3	0.7	0	0.5	85
Ocoyoacac	-0.2	-0.1	0.5	0.1	33
Otzolotepec	-0.2	-0.1	-0.1	0.3	57
Rayón	-0.3	0	-0.3	0.3	65
San Antonio la Isla	-0.2	-0.2	-0.3	0.3	61
San Mateo Atenco	-0.1	-0.4	-0.5	0.3	68
Temoaya	-0.3	0.1	-0.4	0.4	70
Tenango del Valle	0.2	0.5	0.2	0.5	87
Texcalyacac	0.4	-0.3	0.5	0.2	50
Tianguistenco	-0.1	0.5	0.3	0.4	70

Toluca	0	-0.6	1	-0.2	3
Xonacatlán	0.1	-0.2	0	0.3	64
Zinacantepec	0.4	-0.3	0.1	0.3	66

Fuente: elaboración propia, 2017

4.2.1. Índice de vulnerabilidad actual ante variabilidad climática en el DDR – Toluca

Para realizar la evaluación de la vulnerabilidad actual del maíz ante variabilidad del clima se integraron los subíndices de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa los cuales presentaron una correlación positiva para el caso de la exposición y sensibilidad de 0.006 y 0.229 respectivamente lo cual indica que un aumento en los valores de los indicadores seleccionados para ambos componentes incrementa la vulnerabilidad para cada municipio, por otro lado, la capacidad adaptativa muestra una correlación negativa de -0.519 lo que indica que un aumento en el valor de la capacidad de adaptación disminuye la vulnerabilidad.

De acuerdo con los datos que se obtuvieron para la vulnerabilidad en cada municipio se estableció el índice de la vulnerabilidad en 5 grupos de acuerdo con la severidad de la misma y se muestran en el cuadro 29 y la figura 36. El índice quedó distribuido de la siguiente manera:

0 – 20: Muy baja

21 – 40: Baja

41 – 60: Media

61 – 80: Alta

81 – 100: Muy alta

Cuadro 29. Índice de vulnerabilidad ante variabilidad climática por municipio

Municipio	Vulnerabilidad	Severidad
Almoloya de Juárez	55	Media
Almoloya del Río	73	Alta

Atizapán	78	Alta
Calimaya	100	Muy Alta
Capulhuac	89	Muy Alta
Chapultepec	43	Media
Xalatlaco	90	Muy Alta
Jiquipilco	40	Media
Lerma	46	Media
Metepec	26	Baja
Mexicaltzingo	85	Muy Alta
Ocoyoacac	31	Baja
Otzolotepec	56	Media
Rayón	65	Alta
San Antonio la Isla	61	Alta
San Mateo Atenco	68	Alta
Temoaya	70	Alta
Tenango del Valle	87	Muy Alta
Texcalyacac	69	Media
Tianguistenco	69	Alta
Toluca	0	Muy Baja
Xonacatlán	63	Alta
Zinacantepec	66	Alta

Fuente: elaboración propia, 2017

Como se puede observar en el cuadro 28, 5 de los 24 municipios del Distrito presentan Alta Vulnerabilidad, esto corresponde al 21% del total y son Calimaya, Capulhuac, Xalatlaco, Mexicaltzingo y Tenango del Valle. El 41% corresponde a Alta vulnerabilidad y está conformado por 10 municipios que son Almoloya del Río, Atizapán, Rayón, San Antonio la Isla, San Mateo Atenco, Temoaya, Texcalyacac, Tianguistenco, Xonacatlán y Zinacantepec, por su parte la Media vulnerabilidad está constituida por 4 municipios que son Almoloya de Juárez, Chapultepec, Lerma y Otzolotepec que corresponde al 16%, la baja vulnerabilidad se presenta en los municipios de Jiquipilco, Metepec y Ocoyoacac con el 12% y finalmente Toluca es el municipio que corresponde a Muy Baja vulnerabilidad con el 4%. Esto indica que el 62% de la zona, es decir más de la mitad tiene un alto grado de vulnerabilidad debido

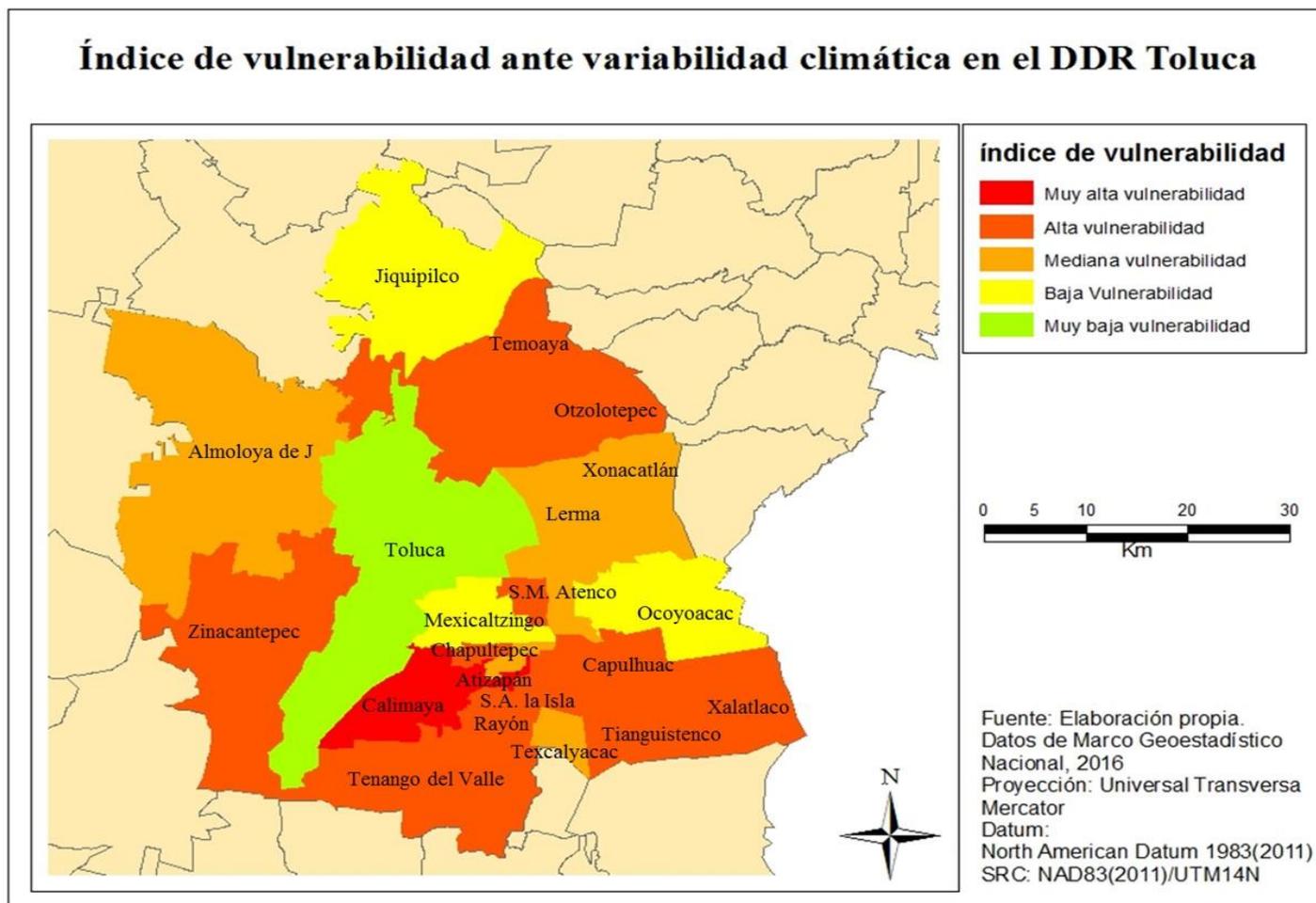
a las condiciones socioeconómicas y naturales que se presentan en cada municipio contrastando con el 16% que presenta baja vulnerabilidad (figura 36).

4.3. Análisis de los indicadores de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación y su relación con la vulnerabilidad

De acuerdo con datos de INEGI (2010), la población total dentro del DDR Toluca fue de 814, 877 habitantes de los cuales 43, 896 se dedica a actividades primarias, es decir casi el 10% de la población total depende de este tipo de economía, a su vez la zona cuenta con 307, 396.5 km², de los cuales 92, 204 km² son destinados a actividades económicas primarias (INEGI, 2010), lo que implica el 31% de la superficie total, en este sentido, los municipios que tienen mayor superficie agrícola son San Antonio la Isla con 96% del total de la superficie, Rayón con 70%, Atizapán con el 61% y Calimaya y Chapultepec con 59%. De acuerdo con esto, se podría inferir que los municipios mencionados son aquellos que deberían presentar mayor grado de vulnerabilidad, sin embargo, en la evaluación de vulnerabilidad desarrollada en el apartado anterior se muestran indicadores que abarcan aspectos sociales, políticos y económicos y determinan los grados de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación para cada municipio. En este apartado se muestra el desarrollo e influencia de cada indicador por municipio para las tres esferas de la vulnerabilidad y se muestra un análisis de dicha información con relación a las actividades agrícolas, especialmente de los cultivos de maíz de temporal.

De acuerdo con los resultados que se muestran en el apartado anterior, la exposición y la sensibilidad muestran una correlación positiva respecto a la vulnerabilidad, lo que indica que un aumento en dichos valores incrementa la severidad de la vulnerabilidad mientras que la correlación negativa de la capacidad de adaptación muestra que un aumento en dicha dimensión disminuye las condiciones vulnerables para la población y los cultivos en cada municipio del Distrito.

Figura 36. Distribución espacial de la vulnerabilidad ante variabilidad climática en el DDR Toluca



El siguiente cuadro (30) muestra los indicadores que tienen mayor peso respecto a los niveles de exposición para los municipios que presentaron valores altos en esta dimensión. Como se puede observar en el cuadro 29, los municipios afectados por heladas y granizadas que van con frecuencias desde 180 a 200 días anuales (Atlas de riesgos, 2015) son Tenango del Valle, Toluca y Zinacantepec, los que presentan mayor porcentaje de superficie susceptible a deslizamientos son Tenango del Valle, Texcalyacac y Zinacantepec que van del 30 al 50% del total de superficie susceptible, por otro lado, Texcalyacac presenta un alto grado de territorio susceptible a inundaciones y finalmente Jalatlaco es el municipio que reporta mayor incremento en las precipitaciones anuales llegando a los 2,000 mm anuales.

Cuadro 30. Indicadores que aumentan la exposición en municipios altamente expuestos

Municipio	Grupo	Indicadores
Jalatlaco	Cambios en el clima	Precipitación
Tenango del Valle	Eventos extremos	Heladas y granizadas Deslizamientos
Texcalyacac	Eventos extremos	Heladas y granizadas Deslizamientos
Toluca	Eventos extremos	Heladas y granizadas
Zinacantepec	Eventos extremos	Heladas y granizadas Deslizamientos

Fuente: Elaboración propia, 2017

El nivel de exposición muestra que estos 5 municipios se encuentran altamente expuestos a las condiciones en el clima por lo que los cultivos se encuentran expuestos a fenómenos naturales extremos que pueden afectar los rendimientos sobre todo en condiciones de temporal, estamos hablando de una superficie con alto grado de exposición de 110, 978 km², es decir el 8.7% de la superficie total que comprende al 2% de la población del Distrito, el aumento de estos indicadores a futuro pueden elevar el grado de exposición por municipio y por ende aumentar la severidad de vulnerabilidad en los mismos.

De la misma forma que ocurre con el comportamiento de la exposición, la sensibilidad aumenta las condiciones de vulnerabilidad de una región, en este sentido son 7 los municipios que muestran un alto grado en cuanto a sensibilidad (cuadro 31) y los indicadores que muestran mayor peso son la pobreza alimentaria con aquellos que muestran más del 40% de la población en estas condiciones como es el caso de Atizapán, Calimaya, Capulhuac, Xalatlaco, Jiquipilco y Tianguistenco, a su vez aquellos municipios que tienen más del 20% de la población ocupada en actividades primarias como Capulhuac, Xalatlaco y Tenango del Valle así como más del 20% de población indígena como Xalatlaco.

Cuadro 31. Indicadores que aumentan la sensibilidad en municipios altamente sensibles

Municipio	Grupo	Indicadores
Atizapán	Población	Pobreza alimentaria
Calimaya	Población	Pobreza alimentaria
Capulhuac	Población	Pobreza alimentaria
	Agrícola	Población dedicada a actividades primarias
Xalatlaco	Población	Pobreza alimentaria
	Agrícola	Población dedicada a actividades primarias
Jiquipilco	Población	Población indígena
Tenango del Valle	Agrícola	Población dedicada a actividades primarias
Tianguistenco	Agrícola	Población dedicada a actividades primarias

Fuente: Elaboración propia, 2017

Como se puede observar en el cuadro anterior, la pobreza alimentaria es uno de los factores que aumenta más la sensibilidad en la población, en este sentido de acuerdo con la base de datos de INEGI (2010), el total de población en condiciones de pobreza alimentaria en el DDR Toluca fue de 814, 877 habitantes, es decir el 35% de la población total, en este sentido los 7 municipios mostrados en el cuadro 30 engloba el 14% de la población total en pobreza alimentaria lo que aumenta la vulnerabilidad en la población ante una disminución de ingresos lo que puede aumentar las condiciones de pobreza y afectar severamente la salud de la población, de la misma manera ocurre con la población dedicada a actividades primarias, en este caso los municipios que tienen mayor población en este rubro son Xalatlaco,

Jiquipilco y Tenango del Valle, los 7 municipios con alto grado de sensibilidad contienen el 15% del total de población dedicada a este tipo de actividad, como es de suponerse la población dedicada a actividades primarias, especialmente en la agricultura de temporal puede verse afectada económicamente si los cultivos disminuyen a causa de fenómenos naturales extremos.

En contraparte, los indicadores de capacidad de adaptación que muestran valores más altos disminuyen las condiciones vulnerables en la población, en este caso las tasas de alfabetización altas, así como los altos grados de porcentaje de población con escolaridad y que sabe leer y escribir mejoran las condiciones de la misma, los municipios con mayor grado de capacidad de adaptación son Jiquipilco, Ocoyoacac, Texcalyacac y Toluca (cuadro 32).

Cuadro 32. Indicadores que aumentan la adaptación en municipios mayor capacidad adaptativa.

Municipio	Grupo	Indicador
Jiquipilco	Capital humano	Población alfabeta
	Capital social	UP capacitación
	Capital financiero	UP crédito y seguros
	Capital natural	Superficie forestal
Ocoyoacac	Capital humano	Población alfabeta
		Población con escolaridad
	Capital social	UP apoyo
	Capital financiero	UP créditos y ahorros
Texcalyacac	Capital humano	Población alfabeta
		Población con escolaridad
	Capital social	UP apoyo
	Capital financiero	UP créditos y ahorros
Toluca	Capital humano	Población alfabeta
		Población con escolaridad
	Capital social	Unidad de protección civil
	Capital financiero	UP ahorros UP seguros

Fuente: Elaboración propia, 2017

Como se puede observar en el cuadro 31, los 4 municipios con mayor grado de capacidad de adaptación muestran niveles altos en escolaridad y alfabetización con más del 90% de la población total de los mismos. Por otro lado, el municipio que muestra mayor porcentaje de

unidades de producción que tienen capacitación es Jiquipilco con el 20% del total de las mismas y los que muestran porcentajes de más del 1% de unidades de producción con apoyo son Ocoyoacac y Texcalyacac. Los municipios que muestran unidades de producción con acceso a créditos son Jiquipilco y Ocoyoacac, mientras que los que tienen seguro son Jiquipilco y Toluca y los que tienen ahorro son Ocoyoacac, Texcalyacac y Toluca. Los datos acerca de las unidades de producción muestran que mientras exista un mayor número de unidades con beneficios como ahorros, créditos, seguros y capacitación tienden a tener una mejora en los cultivos por lo que la vulnerabilidad en las mismas es menor. Finalmente, de los 4 municipios con mayor capacidad de adaptación Jiquipilco, Ocoyoacac y Texcalyacac muestran porcentaje de superficie forestal de entre 30 y 40% del total de su superficie, por lo que la vulnerabilidad ante la variabilidad climática es menor ya que la superficie forestal ayuda a mejorar las condiciones climáticas tal cual se muestra en el análisis de variabilidad climática desarrollado en el capítulo 2 de la presente investigación donde las temperaturas más altas se registran en las zonas metropolitanas debido a la alta concentración de contaminantes.

Como se puede observar en este apartado, la relación que tienen los indicadores de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación para los municipios con mayor grado en estos parámetros respecto a la vulnerabilidad agrícola ante la variabilidad climática es estrecha, el tener un aumento en los cambios del clima y los fenómenos extremos afecta directamente el desarrollo de los cultivos, por otro lado los aspectos de población y salud especialmente cuando se tiene un porcentaje elevado de ésta en actividades primarias y un alto porcentaje de pobreza aumentan la vulnerabilidad, poniendo en riesgo la economía y la salud de la población.

Por otro lado, los municipios que concentran a población mejor preparada en cuestiones de escolaridad así como un mayor número de apoyos por parte de gobierno, permiten que la misma pueda mejorar sus condiciones ante cualquier eventualidad que ponga en riesgo su fuente de ingresos y de alimentación, es importante recalcar que en la zona aproximadamente el 80% de la producción agrícola corresponde al maíz y se realiza mayormente bajo temporal, por lo que es importante prestar atención a los municipios que realizan dicha actividad así

como el estado actual y tendencias en clima a futuro para prevenir y tomar las acciones necesarias que permitan mejorar esta práctica y las condiciones de la población vulnerable.

CONCLUSIONES

La variabilidad climática no ha afectado de manera significativa a la temperatura, sin embargo en los últimos 10 años se ha observado un incremento en los municipios que pertenecen a la zona metropolitana del valle de Toluca, las temperaturas mínimas han presentado en los últimos 5 años una reducción en cuanto a tiempo y duración en la región desfavoreciendo a las heladas que son una de las principales amenazas a los cultivos de maíz de temporal.

La precipitación por otro lado ha presentado variaciones espaciales y temporales respecto a su duración e intensidad, ya que se han visto intensificadas en los últimos años favoreciendo la presencia de inundaciones especialmente en los municipios de Lerma, Metepec y San Mateo Atenco y deslizamientos en la parte sur del Distrito.

El maíz de temporal no se ha visto afectado de manera significativa por las variaciones en el clima hasta el momento, sin embargo algunos autores como Velázquez (2011), afirman que los escenarios para la actividad agrícola a partir del año 2030 en adelante en condiciones de temporal se podrían ver en situaciones de riesgo debido a las tendencias de la temperatura y precipitación a nivel estatal lo cual constituye un riesgo para dicha actividad y la población que se dedica a la misma por lo que es necesario conocer las condiciones de vulnerabilidad que presentan actualmente en los municipios y comunidades rurales dependientes de esta actividad.

Los municipios que presentan mayor grado de exposición son Jalatlaco, Tenango del Valle, Texcalyacac, Toluca y Zinacantepec debido al aumento de la precipitación y de fenómenos extremos como heladas, granizadas, inundaciones y deslizamientos, es importante generar políticas de desarrollo agrícola que mejoren las condiciones de los cultivos en estas zonas especialmente en la temporada de lluvias y de heladas. Por otro lado, los municipios con mayor grado de sensibilidad son Atizapán, Calimaya, Capulhuac, Xalatlaco, Jiquipilco,

Tenango del Valle y Tianguistenco, donde las condiciones de la población y salud se concentran mayormente en altos índices de pobreza alimentaria y población dedicada a actividades primarias. De la misma manera que la exposición, ambas dimensiones aumentan la severidad de la vulnerabilidad, por lo que hay que prestar atención en estos municipios e impulsar políticas que incluyan apoyos y programas de mejora social que contribuyan a la disminución de la pobreza alimentaria especialmente.

Por otro lado, se observa que los municipios que tienen mayor grado de capacidad de adaptación son Jiquipilco, Ocoyoacac, Texcalyacac y Toluca ya que las condiciones de escolaridad y alfabetización son altas, de la misma manera se muestran más porcentajes de unidades de producción con acceso a capacitación, apoyos, créditos, seguros y ahorros, sin embargo en lo que corresponde a las UP la mayoría no alcanza ni el 1% en apoyos, créditos y seguros, lo que deja en claro que es necesario fortalecer este tipo de acciones en todos los municipios del Distrito.

Respecto a la vulnerabilidad, los municipios catalogados dentro del índice calculado para el Distrito dentro del rango de “alto” son 14, lo que corresponde al 60% del total y estos son Almoloya del Río, Atizapán, Calimaya, Capulhuac, Xalatlaco, Mexicaltzingo, San Antonio la Isla, San Mateo Atenco, Temoaya, Tenango del Valle, Tianguistenco, Xonacatlán y Zinacantepec, esto indica que aunque en la actualidad los cultivos de maíz no se han visto afectados negativamente por los aumentos de la temperatura esta tendencia podría a futuro afectar a los mismos en estas regiones, de la misma manera las condiciones del entorno podrían generar aumentos en problemas ambientales en donde la población que depende de las actividades agrícolas puede verse afectada debido a que no cuenta con los recursos necesarios para mejorar su capacidad de adaptación, dejando en claro que es necesario implementar estrategias que contribuyan a la mejora socioeconómica de dichos municipios.

El objetivo de la presente investigación fue evaluar la vulnerabilidad del maíz de temporal ante la variabilidad climática en el DDR Toluca y la hipótesis planteada hace referencia a que la variabilidad climática afecta de manera negativa al maíz de temporal, en este sentido el objetivo se logró a través del uso de indicadores por medio del método de pesos iguales

para evaluar la vulnerabilidad a través de la exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación de cada municipio, por otro lado la hipótesis se corrobora en el sentido de que los aumentos en duración e intensidad de la precipitación han afectado negativamente a los cultivos especialmente con la intensificación de granizadas e inundaciones, por otro lado, la temperatura muestra un aumento significativo en los últimos años lo cual ha resultado beneficioso debido a la disminución de heladas y los requerimientos agroclimáticos del maíz, sin embargo la tendencia en dicho aumento apunta a que esto puede tornarse poco beneficioso hacia el año 2030.

Finalmente, se concluye que es muy importante realizar este tipo de investigaciones a nivel región, en donde se evalúe la vulnerabilidad y las condiciones que aumenten la severidad en la misma tanto actual como a futuro, la importancia radica en que es evidente que el clima está cambiando y estas variaciones en los parámetros climatológicos han tenido y seguirán teniendo impactos a futuro, evaluarlo en los sistemas agrícolas permite identificar las condiciones actuales en los cultivos, así como las fortalezas y debilidades de la población que se dedica a estas actividades, no hacerlo podría poner en riesgo la seguridad alimentaria de la misma ya que no se podrían generar políticas de adaptación a posibles cambios en el entorno natural y las actividades económicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahumada, R., Velázquez, G., Flores, E. y Romero, J. 2014: “Impactos potenciales del cambio climático en la producción de maíz” en *Investigación y ciencia*, Vol. 22: 48 – 53, Aguascalientes, México.
- Albarracin, J. 2002. “La teoría del riesgo y el manejo del concepto riesgo en las sociedades agropecuarias andinas” en *Red de bibliotecas virtuales de ciencias sociales de América Latina y el Caribe*. La Paz. Consultado en: <http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/ar/bolivia/cides/albarra.pdf> en Febrero 2016
- Andrade, M. y Laporta, P. 2009: “La teoría social del riesgo. Una primera aproximación a la vulnerabilidad social de los productores agropecuarios del Sudoeste bonaerense ante eventos climáticos adversos” en *Mundo agrario* Vol. 10
- Barbero, Nidia; Rössler, Cristina y Canziani, Pablo (2008). “Cambio climático y viticultura: variabilidad climática presente y futura y aptitud vitícola en 3 localidades de la Patagonia” en *Revista Enológica V (2)*. 1-8. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Pablo_Canziani/publication/238780200.pdf
- Barret, B. y Esquivel, M. (2013) “Variability of precipitation and temperature in Guanajuato, México” en *Atmósfera* Vol.26(4): 521 – 536, México D.F. UNAM
- Barros, V. y Bejarán, R. (2005): “Adaptación al Cambio Climático en Argentina: ¿dónde estamos?” en *CIMA (CONCIET)* Departamento De Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, UBA. Recuperado de <http://www.cima.fcen.uba.ar/~lcr/wp/intrucccion.pdf>
- Beck, U. 1986. *La Sociedad del riesgo. Hacia una nueva modernidad*. Barcelona: Ed. PAIDÓS
- CEFP, Centro de Estudios de Finanzas Públicas 2001. *Situación económica y finanzas públicas del Estado de México*. Recuperado de <http://www.cefp.gob.mx/> en septiembre 2016.

- CICC, Comisión Intersecretarial de Cambio Climático (2007). *Estrategia Nacional de Cambio Climático MÉXICO*. Tlalpan, México. Recuperado de <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/211920.pdf>
- Comisión Nacional del Agua, CONAGUA (2013): Estaciones Climatológicas. <http://www.conagua.gob.mx/DLBCS/Contenido.aspx?n1=4&n2=12> (Revisado 24/08/2015)
- Conde, C. 2006: *México y el cambio climático global*. México, D.F.: Dirección General de Divulgación de la Ciencia de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- Conde, C., Estrada, F., Martínez, B., Sánchez, O. & Gay, C. 2011. “Regional climate change scenario for México” en *Atmósfera* Vol. 24(1): 125 – 140, México D.F. UNAM
- Darío, O. 2001: *La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. Una crítica y una revisión necesaria para la gestión*, presentado en Internacional Work – Conference Centre, Wageningen.
- De la Isla, M. 2009: “Agricultura, deterioro y preservación ambiental”. México: Colegio de Posgraduados.
- Demant, A. 1978: “Características del Eje Neovolcánico Transmexicano y sus problemas de interpretación” en *Revista del Instituto de Geología de la UNAM* Vol. 2: 172 – 187, México
- Dong, Z., Pan, Z., An, P., Wang, L., Zhang, J., He, D., Han, H. & Pan, X. 2014. “A novel method for quantitatively evaluating agricultural vulnerability to climate change” en *Ecological Indicators* Vol. 48: 49 – 54, China, Ed. Elsevier.
- FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura 2007. *Cambio climático y seguridad alimentaria: un documento marco*. Roma, Italia. Recuperado de bvssan.incap.int/.../cambio-climatico/CAMBIO-CLIMATICO-INSAN-MARCO-FAO
- FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura 2015. *El trabajo de la FAO sobre el cambio climático. Conferencia de las Naciones Unidas sobre el cambio climático 201*. Recuperado de www.agua.org.mx en marzo 2016.

- García, C., F. Estrada y B. Martínez. 2012: “Cambio Climático y estadística oficial” en *Revista Internacional de Estadística y Geografía*, México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía INEGI
- GEM Gobierno del Estado de México, 2008: *Plan Estatal de Desarrollo Urbano*, México: Estado de México
- Giménez, A. y B. Lanfranco. 2009: *Vulnerabilidad al Cambio Climático de los Sistemas de Producción Agrícola en América Latina y el Caribe: Desarrollo y Respuestas estratégicas*”, *Informe Final*. Uruguay: Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Gobierno de la República, 2013: *Estrategia Nacional de Cambio Climático, visión 10 – 20*
- Granados, R. y Sarabia, A. 2013: “Cambio climático y efectos en la fenología del maíz en el DDR – Toluca” en *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Vol.4: 435 – 446, México, UNAM
- Hernández C., J. Bonales y C. Ortiz. 2014: “Modelo de Vulnerabilidad Agrícola ante los efectos del cambio climático”, en *Revista CIMEXUS vol IX* 31 – 48. San Nicolás de Hidalgo, Michoacán: Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
- Iglesias, A. y Medina, F. (2009). “Consecuencias del cambio climático para la agricultura: ¿un problema de hoy o del futuro?” en *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros* num. 221: 45 – 70, Madrid, España. Recuperado de https://ageconsearch.umn.edu/bitstream/168448/2/pdf_REEAP-r221_45_70.pdf
- IICA Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, 2013. *Cambió el clima. Herramientas para abordar la adaptación al cambio climático desde la extensión*. Argentina: Ministerio de Agroindustria.
- IMTA Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 2013. *Identificación de un portafolio de medidas de adaptación al cambio climático para el sector agrícola, mediante la evaluación del riesgo actual y el proyectado al 2030*. México

- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2004. *Guía para la interpretación cartográfica de edafología*. Aguascalientes: México
- INEGI Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2014. *Anuario estadístico y geográfico*. Toluca: México.
- IPCC Grupo Intergubernamental de expertos sobre Cambio Climático, 2001. *Cambio climático. Informe de síntesis*. Ginebra: Suiza
- IPCC Grupo Intergubernamental de expertos sobre 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*. Ginebra, Suiza
- IPCC Grupo Intergubernamental de expertos sobre Cambio Climático, 2014: *Cambio climático 2014. Impactos, adaptación y vulnerabilidad*. Ginebra, Suiza
- Kwadwo, W. y E. Asantewaa, 2015: “Climate change and rural communities in Ghana: social vulnerability, impacts, adaptations and policy implications” en *Environmental Science & Policy* Vol. 55: 208 – 217, ed. Elsevier.
- Luhmann, N. (2006). *Sociología del riesgo*. México: Universidad Iberoamericana
- Magaña, V. 2004: “El cambio climático global: comprender el problema” en Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, Martínez, Julia y Adrián Fernández (compiladores), 2004: *Cambio climático: una visión desde México*, México, D.F.: Instituto Nacional de Ecología y Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales
- Magaña, V. 2013: “Guía Metodológica para la Evaluación de la vulnerabilidad ante cambio climático”, México, D.F.: Instituto Nacional de Ecología y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
- Magrin, G., G. García, D. Cruz, J. Giménez, A. Moreno y G. Nagy. 2007: *Impacto, Adaptación y Vulnerabilidad. Contribución del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*, 581 – 615. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.

- Martínez, M. 2009. “Los geógrafos y la teoría de riesgos y desastres ambientales” en *Perspectiva geográfica* Vol. 14: 241 – 263, Colombia UPTC
- Melkonyan, A. 2014: “Environmental and socio-economic vulnerability of agricultural sector in Armenia” en *Science of the total environment*. 333 – 342. Alemania, Ed. Elsevier
- Mendoza, Y. 2012: *Elaboración de un análisis sobre enfoques y aplicaciones de estudios de vulnerabilidad y sus implicancias en el sector agropecuario. Informe de Consultoría*. Lima Perú: Programa Adaptación al Cambio Climático en la Región Andina en www.cambioclimaticoandes.info
- Mendoza. M., A. Zermeño, M. Covarrubias y J. Cortés, 2013: “Climate predictions for the state of Coahuila using the precis model under two emissions scenarios” en *Agrociencia*. Estado de México. CP.
- Mitter, H., C. Heumesser y E. Schmid, 2015: “Spatial modeling of robust crop production portfolios to assess agricultural vulnerability and adaptation to climate change” en *Land use policy*, Vol. 46: 75 – 90. Austria, Ed. Elsevier.
- Montero, M., Bustamante, W., Santana, J. y Prieto, R. 2013: “Sistema de consulta de proyecciones regionalizadas de cambio climático para México” en *Tecnología y Ciencias del Agua* Vol. 4: 113 – 128, México
- Monterroso Rivas, Alejandro, 2012: *Contribución al estudio de la vulnerabilidad al Cambio Climático en México*, México: Tesis de doctorado en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM
- Ojeda, W., Sifuentes, E., Íñiguez, M. y Montero, J. 2011: “Impacto del cambio climático en el desarrollo y requerimientos hídricos de los cultivos” en *Agrociencia* Vol. 45: 1 – 11, Morelos, México
- Otero, L. 2013: “El cambio climático como constante amenaza biológica. Nuevo terrorismo: ¿Estamos preparados?, en www.ieee.es, España: Instituto Español de Estudios Estratégicos

- Pérez, G. 2014: “Teoría social del riesgo y cartografía aplicada a la ciudad de Neuquén” en *Boletín Geográfico*: 115 – 124. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5017780.pdf>
- Pineda, L., Echavarría, F., Bustamante, W. y Badillo, L. 2013: “Análisis de la producción agrícola del DDR 189 de la región semiárida en Zacatecas, México” en *Agrociencia* Vol. 47: 181 – 193, Zacatecas, México
- PNUMA Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2008: *La Biodiversidad y la agricultura*, Montreal, Canadá.
- Ramírez, R. y E. Meza, 2012: *Evaluación de la vulnerabilidad del sector primario regional ante el impacto de la variabilidad climática en Bahía de Banderas, México*. México: EUMED en <http://www.eumed.net>
- Rodríguez, R. y González, R., 2007: “Plantas transgénicas: una revisión de los principales cultivos básicos en México” en *e-Gnosis* Vol. 5: 1 - 22, Guadalajara, México
- Sarabia Rodríguez, Asael. 2011: *Efectos del cambio y variabilidad climática del maíz (zea mays) en la región centro occidente de México, estudio de caso; Distrito de Desarrollo Rural, Toluca, Estado de México*, México: Tesis de Licenciatura en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM
- Serratos, J. 2009: *El origen y la diversidad del maíz en el continente americano*. México: Universidad Autónoma de la Ciudad de México
- SMA Secretaría del Medio Ambiente (2009). *Cambio climático: ciencia, evidencia y acciones*. Tlalpan, México. Recuperado de http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/cambio_climatico_09-web.pdf
- Soria, R., Mejía, A., Fernández, O. y González, H. 2004: *Sistema de información del uso actual de suelo, Estado de México*, Instituto Nacional de Investigaciones
- Soria, J., A. Báez, V. Rodríguez, J. Ramos, L. Reyes y M. González. 2007: *Predicción de cosecha: Metodología y resultados para el Maíz en el Estado de México, Ciclo P-V*

2006, Toluca, México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias INIFAP y Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación SAGARPA

Soria, J. y E. Sotelo. 2012: “Estudio integral del maíz para el Estado de México. Producto 5: Paquetes Tecnológicos actualizados para la producción de Maíz grano en las zonas maiceras del Estado de México”. Estado de México: Gobierno del Estado de México e Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias INIFAP.

Sotelo, E., González, A., Cruz, G., Moreno, F. y Cruz, G. 2006: “Los suelos de México y su actualización a la base de datos referencial mundial del recurso suelo 2006” en *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* Vol. 2: 71 – 84, México.

Tao, S., Y. Xu, K, Liu, J. Pan y S. Gou. 2011: “Resarch progress in agricultural vulnerability to climate change” en *Advances in climate change research* Vol. 2: 203 – 210. China.

UAEM Universidad Autónoma del Estado de México, 2002: *Programa de Ordenamiento Ecológico de la Subcuenca Amanalco – Valle de Bravo*, México: Gobierno del Estado de México en <http://www.semarnat.gob.mx/> en octubre 2016

Vargas, E. y P. Pindado. 2014: “The challenge of climate change ub Spain: water resources, agriculture and land” en *Journal of Hydrology* Vol. 528: 243 – 249. Ed. Elsevier

Velázquez, V. 2011: *Efectos del cambio climático en el sector primario de dos especies de importancia económica para el Estado de México*: Tesis de Licenciatura en Geografía, Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM

ANEXOS

Revista Sociedad y Ambiente del Colegio de la Frontera Sur, Chiapas.

Carta de envío de artículo

Esperanza Tuñón Pablos
[SyA] Acuse de recibo de envío 07/10/2017
Gloria Isabel Reyes Anistro: Gracias por enviar el manusc

sam adame

Archivo

Reenviaste este mensaje 10/10/2017 02:45 p.m.

Gloria Isabel Reyes Anistro:

Gracias por enviar el manuscrito " Vulnerabilidad ante variabilidad climática en los cultivos de maíz" a Sociedad y Ambiente. Con nuestro sistema de gestión de revistas en línea, podrá iniciar sesión en el sitio web de la revista y hacer un seguimiento de su progreso a través del proceso editorial.

URL del manuscrito: <http://revistas.ecosur.mx/sociedadambiente/index.php/sya/authorDashboard/submission/1779>

Nombre de usuario/a: isabella88

En caso de dudas, contacte conmigo. Gracias por elegir esta revista para publicar su trabajo.

Esperanza Tuñón Pablos

Artículo.

Vulnerabilidad ante variabilidad climática en los cultivos de maíz *zea mays*

Vulnerability to climatic variability in maize *zea mays*

Resumen

El objetivo del presente artículo es evaluar la vulnerabilidad ante variabilidad climática en los cultivos de maíz de temporal en el Distrito de Desarrollo Rural 073 – Toluca, México. Para ello se analiza la temperatura y precipitación, y su influencia en los rendimientos y cosechas del maíz de 1980 a 2014, así como condiciones socioeconómicas e indicadores que permiten medir el grado de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación y se propone un índice de vulnerabilidad para cada municipio del distrito. Los resultados muestran que a partir del año 2000 las variables de temperatura y precipitación han aumentado en los municipios de estudio, por un lado, el maíz se ha visto beneficiado con la temperatura, pero la precipitación ha modificado las temporadas de riego, así como las inundaciones y granizadas, perjudicando zonas potenciales para el cultivo. Los municipios más vulnerables se encuentran al sur del distrito mostrando una baja capacidad adaptativa, por lo que se requiere crear estrategias de adaptación capaces de afrontar a las variaciones climáticas.

Palabras clave: variabilidad climática, vulnerabilidad, exposición, sensibilidad, capacidad adaptativa

Abstract

The objective of this article is to evaluate the vulnerability to climatic variability in temporary maize crops in the Rural Development District 073 - Toluca, Mexico. For this purpose, we analyze the temperature and precipitation, and its

influence on maize yields and harvests from 1980 to 2014, as well as socioeconomic conditions and indicators to measure the degree of exposure, sensitivity and adaptability, and propose a vulnerability index for each municipality of the district. The results show that since 2000 the temperature and precipitation variables have increased in the studied municipalities, on the one hand, maize has benefited from the temperature, but the precipitation has modified the irrigation seasons, as well as the floods and hailstorms, damaging potential areas for cultivation. The most vulnerable municipalities are to the south of the district showing a low adaptive capacity, for which it is necessary to create adaptive strategies able to cope with the climatic variations.

Key words: climate variability, vulnerability, exposure, sensitivity, adaptive capacity

Introducción

El cambio climático es uno de los principales retos a los que se enfrenta la humanidad actualmente. Dicho fenómeno implica un problema de carácter global con consecuencias regionales afectado a sistemas naturales y antropogénicos. Las principales causas de este proceso son la concentración de gases de efecto invernadero por causas naturales y antropogénicas principalmente (IPCC, 2007; Monterroso, 2012).

Estos cambios han impactado y modificado el entorno natural generando desequilibrio en los ecosistemas y recursos naturales que implican una alteración en los sistemas humanos tanto en la esfera social como la económica. Derivado de ello ha aumentado la preocupación social respecto a la situación actual y futura ante este fenómeno, creando iniciativas sociales, políticas y científicas para actuar ante esto.

Estudios recientes muestran incrementos significativos en la temperatura y aumentos en las anomalías climáticas y alteraciones en el régimen hídrico (Barbero y otros, 2008). Estas variaciones en el clima han impactado en diferentes sistemas productivos como es el caso de la agricultura la cual se considera altamente sensible a dicho proceso, ya que cualquier cambio en la temperatura y precipitación altera la producción de alimentos lo que significa un riesgo para la economía y la seguridad alimentaria de la población (Conde, 2006; Tao y otros, 2011).

Para el caso de México, estudios recientes muestran una tendencia de calentamiento en la mayor parte del territorio (Magaña, 2013) que por sus condiciones climáticas e hidrológicas y su ubicación geográfica el territorio es considerado altamente vulnerable ante cambios en el clima y eventos hidrometeorológicos como sequías e inundaciones (Ramírez y Meza, 2012). Ante esta situación es imprescindible prestar suma atención a las zonas de cultivo, ya que se estima que cerca de 30 millones de hectáreas son tierras de cultivo con potencial alto donde predomina el maíz de temporal. Además, se desarrollan en localidades rurales donde viven cerca de 24 millones de mexicanos, de los cuales 24% subsisten de la agricultura (Conde, 2006; Monterroso, 2012), en la actividad agrícola se estima que en los últimos años se han presentado pérdidas económicas en la actividad agrícola de hasta 50% debido a sequías y 27% por precipitaciones extremas; pero algunos escenarios proyectan una tendencia de pérdida del 15% para el año 2050 (Sánchez y otros, 2008).

La zona de estudio que se seleccionó para realizar el estudio se encuentra en el Estado de México por ser una de las entidades federativas importantes en la producción agrícola, con 84% de su superficie dedicada al uso de suelo agropecuario y forestal. La gestión administrativa de las actividades productivas del sector rural en la entidad – a cargo de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA)- se divide en ocho regiones llamadas Distritos de Desarrollo Rural (DDR), de las cuales se

elige el DDR – Toluca que comprende 23 municipios por poseer alta producción agrícola, aporta el 44% de la superficie total de la entidad y donde impera la agricultura de temporal en el 85% de la superficie agrícola (Soria y Sotelo, 2010; Sarabia, 2011).

El objetivo de este artículo es evaluar la vulnerabilidad actual en el maíz del DDR – 073 Toluca mediante indicadores, teniendo como punto de partida que primero se debe corroborar si existe una variación en el clima que afecte los cultivos de maíz de temporal. La hipótesis establecida es que la variabilidad climática afecta de manera negativa a dichos cultivos, y por ello se requiere determinar el grado de vulnerabilidad que presenta la esta actividad considerando factores naturales, sociales y económicos para el establecimiento de estrategias de adaptación. Para lo cual será necesario abordar la vulnerabilidad desde una perspectiva integral donde la exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa determinen el grado de severidad de la misma en cada uno de los municipios.

El artículo se estructura además de la introducción en 5 partes, en la segunda parte se aborda la conceptualización y estudio de la vulnerabilidad ante la variabilidad climática en las actividades agrícolas, la tercera comprende la caracterización del medio físico de la zona de estudio, la cuarta describe la metodología empleada para la evaluación de la vulnerabilidad en la zona y finalmente, la quinta parte presenta el análisis y discusión de los resultados obtenidos y las conclusiones del presente artículo.

Vulnerabilidad ante la variabilidad climática en la agricultura

La vulnerabilidad es un concepto que a lo largo del tiempo se ha adaptado al contexto del que se esté hablando. Fue usado principalmente en los campos de desastres y peligros y ha sido estructurado por diversos componentes que provienen de áreas físicas, sociales, naturales, así como las interacciones entre

fenómenos naturales con los sistemas sociales. Por ello, el concepto de vulnerabilidad se ha aceptado como un término independiente a los riesgos que se expone una población al cambio (Tao y otros, 2011; Martínez, 2009). De acuerdo con la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (2004) se trata de una condición determinada por procesos físicos, sociales, económicos y ambientales que aumentan la susceptibilidad de una población al impacto de una amenaza o riesgo de que un elemento sea afectado y encontrar dificultades para recuperarse (Monterroso, 2012; Magaña, 2013).

Como se puede observar, la vulnerabilidad es un concepto que se adapta a diferentes contextos y, debido a esto, resulta complejo estudiarla en su totalidad por lo que se ha adaptado cada modelo teórico y marco metodológico al contexto del que se esté hablando. Por ello, aún no existe una metodología universalmente aceptada para medirla y evaluarla (Magaña, 2013).

En el contexto de cambio climático, la vulnerabilidad expresa la factibilidad de que un sistema o sujeto sea afectado por un fenómeno o amenaza y en donde existe el riesgo correspondiente a presentar pérdidas como resultado de esa convulsión. La amenaza y vulnerabilidad surgen de las condiciones que hacen frágiles a ciertos grupos sociales que dependen de la capacidad de adaptarse a diferentes circunstancias. En este sentido, la vulnerabilidad que existe en el nivel social está vinculada al clima, geografía e infraestructura con la que se cuenta (Darío, 2001; IICA, 2013). En términos generales el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) definen este tipo de vulnerabilidad como el nivel al que un sistema es susceptible o incapaz de soportar los efectos adversos del cambio climático, incluida la variabilidad climática y fenómenos extremos. Se determina en función del carácter, magnitud y velocidad de la variación climática al que se encuentra expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación.

Para estudiar a la vulnerabilidad es necesario abordarla desde tres elementos que la componen: 1) exposición: medida en que un sistema se encuentra expuesto a variaciones en el clima; 2) sensibilidad: nivel intrínseco en el que un sistema resulta afectado por los cambios en el clima; y c) capacidad adaptativa: capacidad que tiene una comunidad o sistema para hacer frente a los cambios en el clima (IPCC, 2001; IPCC, 2007; IICA, 2013).

En las investigaciones sobre cambio climático, este tema ha tomado mucha importancia, ya que la agricultura se encuentra en un contexto de alta vulnerabilidad, por lo que su cuantificación es significativa para la formulación de estrategias de adaptación. La vulnerabilidad de los sistemas agrícolas se puede definir como resultado de la variabilidad climática dentro de un contexto de vulnerabilidad social, agregando conceptos e indicadores que enriquecen y complementan el análisis de la seguridad alimentaria (Hernández y otros, 2014).

De acuerdo con la situación descrita, en los últimos años evaluar la vulnerabilidad ha sido un tema de interés, en particular los impactos derivados del cambio y la variación en el clima. Algunas aproximaciones para establecer un método de evaluación concuerdan con que el primer paso consiste en elaborar un diagnóstico inicial que responda preguntas básicas como ¿a qué es vulnerable?, ¿quién o qué es vulnerable? y ¿por qué es vulnerable? y donde se reconozca este aspecto como un evento clave para estimar impactos del cambio climático y así reconocer la medida en que un sistema es vulnerable. El segundo paso es contar con el conocimiento del objeto de estudio y su dinámica a través del tiempo y de los factores de riesgo que genera el estado de vulnerabilidad para encontrar elementos que puedan cambiarse mediante estrategias de adaptación. A su vez, es necesario identificar los peligros a los que se encuentra expuesto un sistema para estimar el grado de peligrosidad con ayuda de información meteorológica. Sin embargo, es importante considerar que la vulnerabilidad tiene otras connotaciones, ya que los factores climatológicos y sus impactos no

solo se deben a cambios en el clima, sino también al modelo de desarrollo seguido hasta ahora, por lo que hay que considerar a las acciones humanas como un componente esencial de la misma (Monterroso, 2012; Magaña 2013).

Una evaluación de vulnerabilidad ante cambio y/o variabilidad climática puede realizarse de dos maneras: actual y futura. La primera pretende conocer el grado de vulnerabilidad que se presenta en determinado sistema. A diferencia de ésta, la evaluación futura pretende construir escenarios de vulnerabilidad donde se proyecten posibles condiciones en el sistema o comunidad vulnerable. Con frecuencia estas condiciones se estiman con base en la experiencia de quien las califica de forma subjetiva y debido a la falta de criterios establecidos para su cuantificación hasta ahora no siempre se ha logrado conjuntar elementos físicos, económicos y sociales de manera dinámica. Ello permitiría priorizar acciones de adaptación y darles seguimiento, por lo que una evaluación debe integrar un sistema donde la información climática y socioeconómica, así como las amenazas, estén representados a manera de que el tomador de decisiones pueda acceder a la información para desarrollar estrategias de adaptación (Ramírez y Meza, 2012; Magaña, 2013).

Caracterización física del DDR – Toluca

El DDR-073 Toluca se localiza al centro del Estado de México entre los 18°59'04" y los 19°34'54" de latitud norte y los 99°14'43" y 99°56'27" de longitud oeste a una altitud de 2,680 msnm y se encuentra conformado por 23 municipios: Almoloya del Río, Almoloya de Juárez, Atizapán, Calimaya, Capulhuac, Chapultepec, Jiquipilco, Lerma, Metepec, Mexicaltzingo, Ocoyoacac, Otzolotepec, Rayón, San Antonio la Isla, San Mateo Atenco, Temoaya, Tenango del Valle, Texcalyacac, Tianguistenco, Toluca, Xalatlaco, Xonacatlán y Zinacantepec con una superficie total de 298,800 hectáreas. En el DDR se presentan condiciones de valles altos, cuyas temperaturas oscilan entre los 10 y

17°C en promedio al año, en las partes altas se presentan temperaturas por debajo de los 0°C, teniendo como consecuencia fuertes heladas que inician a partir de las últimas semanas de septiembre hasta febrero, por otro lado, las precipitaciones varían de 800 a 1250 mm anuales (Soria y Sotelo, 2010; Sarabia, 2011).

Metodología

La conceptualización de la vulnerabilidad a través del tiempo muestra que en la actualidad aún no se cuenta con un modelo metodológico para su evaluación. La experiencia de expertos en el tema, sin embargo, ha generado aproximaciones para su estudio en condiciones de cambio y variabilidad climática. En este sentido algunos investigadores argumentan que los métodos más utilizados para la cuantificación de la vulnerabilidad son los métodos econométricos y por indicadores (Tao y otros, 2011; Monterroso, 2012; Magaña 2013). Hasta el momento se identifican dos formas de calcular la vulnerabilidad a través del método por indicadores. La primera asume que todos los indicadores tienen la misma importancia y se les asignan los mismos pesos. Por el contrario, la segunda asigna pesos distintos dada la diversidad de los indicadores que se aplican. El método por pesos iguales facilita la integración de información más detallada para analizar y evaluar a la vulnerabilidad a través de sus tres dimensiones: exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación (Monterroso, 2012; Ahumada, 2013).

Para lograr el objetivo del presente estudio se establecieron tres fases metodológicas en la zona de estudio, la primera consistió en caracterizar el medio físico incluyendo las características fisiográficas y climatológicas. En la segunda fase se elaboró un diagnóstico por medio de un análisis retrospectivo de las características climatológicas de 1980 a 2014, para lo cual se seleccionaron 18 estaciones meteorológicas de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y se

utilizaron las variables de temperatura máxima, mínima y precipitación durante el período establecido con el uso del software Eric 3.2. Para el estudio del comportamiento del maíz se utilizaron datos del anuario estadístico sobre producción agrícola del Sistema de Información Agrícola y Pecuaria (SIAP, 2013) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Finalmente, en la tercera fase se realizó la evaluación de la vulnerabilidad de los cultivos de maíz bajo condiciones de cambio climático considerando las características socioeconómicas de la población que se dedica a esta actividad para cada municipio a través del método de pesos iguales.

Método de pesos iguales

El primer paso para evaluar la vulnerabilidad con el método de pesos iguales consistió en seleccionar los indicadores naturales, sociales y económicos distribuidos para cada componente de esta: exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación (figura 1). Para la selección de indicadores se recurrió a las bases de datos de fuentes oficiales de información como el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2010), el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL, 2010), el Consejo Nacional para la Población (CONAPO, 2010), el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2017), SIAP (2013) y CONAGUA (2013).

Figura 1. Indicadores de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa

	Exposición	Sensibilidad	Capacidad adaptativa
Componente	1) Eventos Extremos	1) Población	1) Capital Humano
	2) Problemática ambiental	2) Salud	2) Capital Social
	3) Cambios en el clima	3) Agrícola	3) Capital Financiero
			4) Capital Natural
Indicador	1 a: Deslizamientos (+) b: Inundaciones (+) c: Heladas y granizadas (+)	1 a: Indígenas (+) b: Pobreza alimentaria (+) c: Actividades primarias (+)	1 a: Alfabetismo (-) b: Escolaridad (-) c: Alfabetización (-)
	2 a: Fertilidad (-)	2 a: Servicios de salud (-)	2 a: Organización (-)
	3 a: Temperatura (+) b: Precipitación (+)	3 a: Superficie primaria (+) b: Sin riego (+) c: Rendimiento (-)	b: Capacitación (-) c: Protección civil (-)
			3 a: Créditos (-) b: Ahorros (-) c: PIB (-)
Fuente	1 a: CENAPRED b: CENAPRED c: CENAPRED	1 a: CONAPO b: INEGI c: INEGI	4 a: Bosques y selvas (-)
	2 a: INEGI	2 a: INEGI	1 a: INEGI b: INEGI c: CONAPO
	3 a: INEGI b: INEGI	3 a: INEGI b: SIAP	2 a: INEGI b: INEGI c: Atlas de Riesgos
			3 a: INEGI b: INEGI c: IGCEM
		4 a: Inventario Forestal	

Fuente: elaboración propia, 2017¹

Para establecer el subíndice de *exposición* se tomaron en cuenta aquellas características naturales que implican un riesgo o amenaza para los cultivos como son las heladas, inundaciones, deslizamientos, problemas ambientales como contaminación, pérdida de superficie boscosa, cambios de usos de suelo, entre otros. En el caso de la *sensibilidad* se utilizó información socioeconómica para detectar todas aquellas debilidades en la población que aumenten la sensibilidad en la misma ante impactos negativos de la variabilidad en el clima. En este caso las variables seleccionadas describen las condiciones sociales y

¹ El signo positivo (+) indica que un aumento en el valor del indicador incrementa la severidad de la vulnerabilidad, mientras que el signo negativo indica que el decremento del valor del indicador la disminuye

económicas como son el total de población rural, hogares indígenas, hogares sin servicios básicos, servicios de salud, entre otros. Para la *capacidad de adaptación* se consideraron indicadores que influyen en las condiciones de la población para adaptarse a un posible cambio como es el caso de los litigios de la tierra, accesos a financiamientos, créditos, programas de desarrollo social y agrícola, alfabetización, asistencia a la escuela, principalmente.

Una vez que se midieron los tres componentes se evaluó la vulnerabilidad y se midió el grado de severidad, en este caso cada componente fue medido a nivel municipal. La severidad de la vulnerabilidad depende directamente del comportamiento de sus componentes, es decir, mientras mayor sean y aumenten los niveles de exposición y sensibilidad, mayor será la vulnerabilidad. Sin embargo, cuanto más aumente la capacidad de adaptación será menor su severidad (Ahumada, 2013).

Para poder integrar los subíndices de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación se utilizaron fórmulas estadísticas de estandarización (ecuación 1) y normalización de distancias de 0 a 100 (ecuación 2) de los datos.

$$Zv = \frac{Xi - X}{DS} \quad (\text{ecuación 1})$$

Dónde Z representa el valor estandarizado de la variable v , Xi el valor observado de v , X es el valor medio del conjunto de valores i y DS es la desviación estándar del conjunto i .

$$Ip = \frac{Iobs - \text{mínimo}I}{(\text{máximo}I - \text{mínimo}I)} \quad (\text{ecuación 2})$$

Dónde I representa el subíndice de la variable P , $Iobs$ es el valor del subíndice para cada municipio, $\text{mínimo}I$ es el valor mínimo observado del conjunto de valores de Ip y $\text{máximo}I$ es el valor máximo observado del mismo conjunto de valores I .

Para estimar los subíndices de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa se asignaron los mismos pesos a cada variable a través de una media aritmética y el cálculo de cada subíndice se realizó de la misma manera con los datos estandarizados y normalizados.

La exposición se midió a través de la ecuación 3, la sensibilidad se midió a través de la ecuación 4 y la capacidad de adaptación se midió con la ecuación 5.

$$\text{Subíndice de exposición} = \frac{\left(\frac{EE}{3}\right) + \left(\frac{PA}{1}\right) + \left(\frac{CC}{2}\right)}{3} \quad (3)$$

Dónde EE corresponde a los valores estandarizados y normalizados de los indicadores de eventos extremos, PA a los valores de problemática ambiental y CC a los valores de cambio climático.

$$\text{Subíndice de sensibilidad} = \frac{\left(\frac{P}{3}\right) + \left(\frac{S}{1}\right) + \left(\frac{A}{3}\right)}{3} \quad (4)$$

Dónde P corresponde a los valores del conjunto de indicadores de población, S a los de salud y A corresponde a los valores de agricultura.

$$\text{Capacidad adaptativa} = \frac{\left(\frac{CH}{3}\right) + \left(\frac{CS}{3}\right) + \left(\frac{CF}{4}\right) + \left(\frac{CN}{1}\right)}{4} \quad (5)$$

Dónde CH corresponde a los valores de capital humano, CS a los de capital social, CF al capital financiero y CN al capital natural.

Finalmente, la vulnerabilidad se calculó con la ecuación 6, en la cual se integró la suma de la exposición y la sensibilidad que muestran una relación positiva en la que el aumento de alguna de ellas aumenta la severidad de la vulnerabilidad, y la resta de la capacidad de adaptación ya que funciona de manera inversa. El resultado de esta suma y resta se dividió entre los tres componentes y así se obtuvo el grado de vulnerabilidad para cada municipio donde los valores de 0 a

20 representan muy baja vulnerabilidad, 21 a 40 baja, 41 a 60 media, 61 a 80 alta y 81 a 100 muy alta.

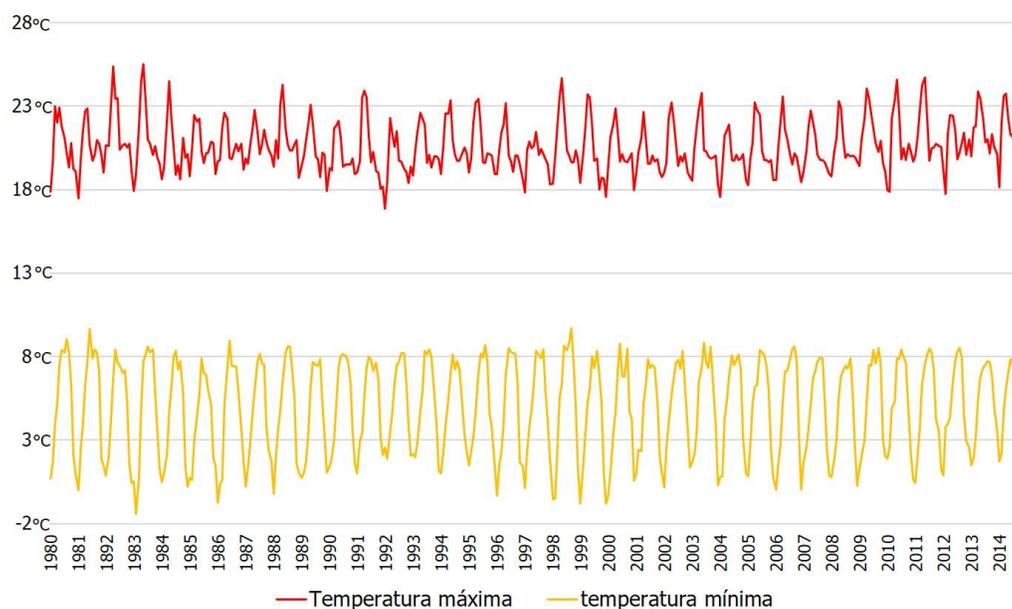
$$Vulnerabilidad = \frac{(exposición+sensibilidad)+(1-capacidad adaptativa)}{3} \quad (6)$$

Resultados

La variabilidad climática en el DDR Toluca

De acuerdo con el análisis longitudinal de temperatura y precipitación, la temperatura máxima promedio para el Distrito se mantuvo entre 19.6 y 20.8°C, sin embargo, algunos municipios muestran temperaturas de hasta 28°C como es el caso de Temoaya y Lerma. Durante el período de estudio no se presentan fluctuaciones significativas, sin embargo, entre 1980 y 1990 se muestra un incremento en este parámetro y posteriormente entre 1990 a 1995 la temperatura máxima desciende llegando a los 16°C. Por otro lado, la temperatura mínima oscila entre los -2 y 10°C en promedio, aunque tampoco se presentan cambios significativos entre 1980 y 2014 las temperaturas más bajas se registraron entre 1980 y 1985, mientras que las bajas más altas se presentan a partir del año 2000 alcanzando los 10°C como se aprecia en la figura 2, donde el eje vertical corresponde a los grados centígrados y el eje horizontal al período de estudio.

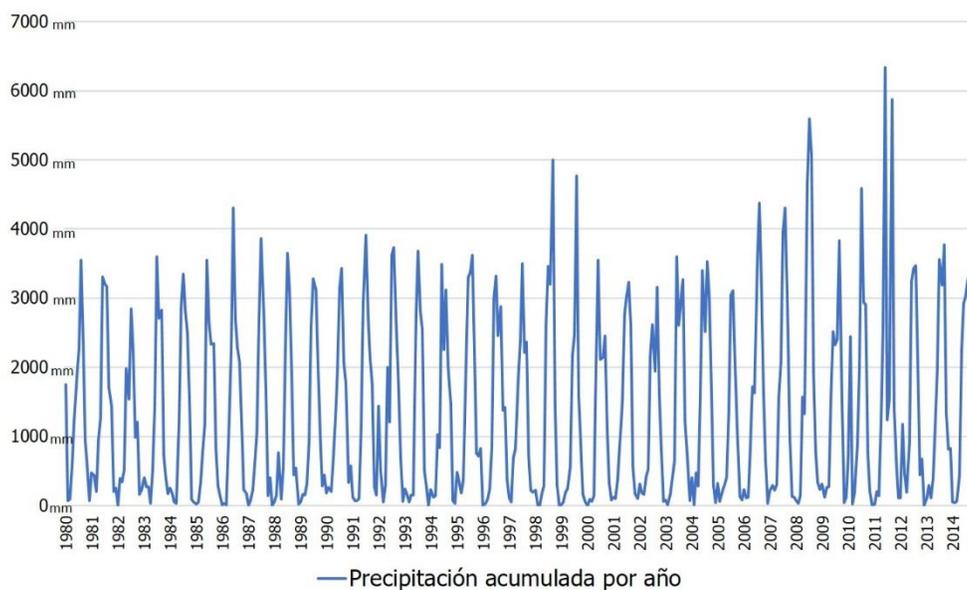
Figura 2. Comportamiento de la temperatura máxima y mínima en promedio anual para el DDR Toluca de 1980 a 2014



Fuente: elaboración propia con base en datos de CONAGUA, 2017

En el Distrito se presentan precipitaciones que van de los 680 a 1,070 mm en promedio anual, los meses más húmedos van de abril a julio y los más secos de octubre a febrero, como se muestra en la figura 3 donde el eje vertical corresponde a la cantidad de lluvia acumulada en milímetros y el eje horizontal corresponde al período de estudio. De acuerdo con los datos de las estaciones la precipitación ha presentado variación en cuanto a tiempo y espacio. A partir del año 2006 se observa un incremento en dicho parámetro presentando valores anuales de cerca de los 1,000 mm especialmente en los municipios de Tenango del Valle, Lerma, Otzolotepec, Jiquipilco y Joquicingo como se muestra en la figura 3 donde el eje vertical corresponde a la cantidad de lluvia acumulada para el Distrito en milímetros y el eje horizontal corresponde al período de estudio.

Figura 3. Comportamiento de la precipitación acumulada mensual para el DDR Toluca de 1980 a 2014



Fuente: elaboración propia con base en datos de CONAGUA, 2017

Comportamiento del clima y su relación con los cultivos de maíz

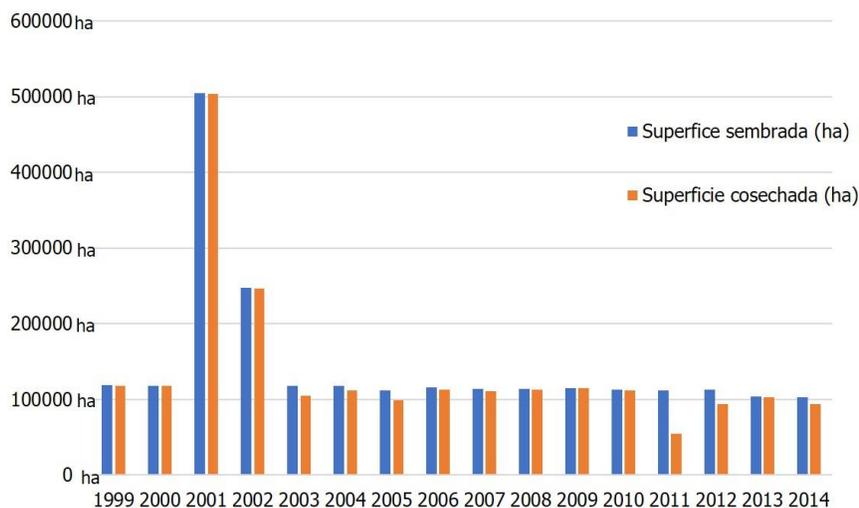
El maíz por su parte ha presentado rendimientos de entre 3.0 y 5.0 ton/ha con una superficie sembrada de aproximadamente 146,220.7 hectáreas y 139,970.7 hectáreas de superficie cosechada, lo que indica que en los últimos 15 años se ha cosechado el 94% de la superficie destinada al cultivo de maíz representando un valor de 112, 311,009.1 pesos, lo cual muestra que los cultivos de maíz no se han visto perjudicados de manera significativa por las variaciones climáticas.

Los resultados muestran que el incremento en la temperatura ha beneficiado al cultivo en algunas regiones del Distrito debido a que la temperatura óptima para el desarrollo del grano se encuentra entre los 25 y 30°C, lo cual a su vez ha contribuido a la disminución en cuanto a duración e intensidad de heladas, las cuales han sido una de las principales amenazas en épocas de invierno. Los

aumentos en las temperaturas registrados en 2001 y 2002 coinciden con los rendimientos altos registrados entre 1991 y 2014, sin embargo es importante mencionar que las condiciones climáticas no son los únicos factores que intervienen en el desarrollo de la agricultura, existen cuestiones como la política de mercado, métodos de siembra, oferta y demanda, entre otros, sin embargo el objetivo de la investigación va enfocado a la vulnerabilidad en el maíz bajo variabilidad climática, por lo que el estudio se enmarca únicamente en la influencia de la temperatura y precipitación sobre los cultivos de maíz de temporal.

Por otro lado, la precipitación ha influenciado más en el comportamiento del maíz, ya que los aumentos registrados en 2011 corresponden a la disminución de superficie cosechada durante el mismo año como se muestra en la figura 4, esto tiene que ver con el aumento de fenómenos naturales a nivel global como son los huracanes y ciclones que a partir del año 2005 comenzaron a aumentar y han tendido repercusiones regionales en diversas partes del mundo.

Figura 4. Superficie sembrada y cosechada de maíz en el DDR Toluca de 1999 a 2014



Fuente: elaboración propia con base en datos del SIAP, 2017

Aunque en el Distrito no se han presentado pérdidas importantes en los cultivos de maíz hasta el momento, los incrementos en los valores de temperatura y precipitación indican un patrón de aumento en la mayoría de los municipios. Debido a que la zona es una de las principales productoras de maíz y gran parte de la población rural se dedica a esta actividad, resulta importante analizar y evaluar la vulnerabilidad actual en el sistema para conocer el grado de exposición que se presenta en el cultivo, la sensibilidad que muestran tanto las zonas de cultivo como la población, y la capacidad de adaptación que tiene la población para hacer frente a posibles cambios derivados de la variabilidad climática.

Grado de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa

Los indicadores de exposición respecto a eventos extremos son considerados como amenazas a las actividades agrícolas especialmente en condiciones de temporal. Los deslizamientos presentes en la zona sur del Distrito en épocas de lluvia y las inundaciones en la zona centro, así como las heladas y granizadas especialmente durante el invierno, son los fenómenos con mayor relevancia. La problemática ambiental más importante corresponde a las pérdidas de producción por falta de fertilidad en el suelo. Los municipios más afectados son Xonacatlán y Zinacantepec.

Los cambios en el clima también se consideran como una amenaza latente. Los aumentos en la temperatura se han visto intensificados en municipios como Almoloya del Río, Atizapán, Chapultepec, Rayón, San Antonio la Isla y San Mateo Atenco.

Los indicadores para medir sensibilidad fueron agrupados en categoría de población, salud y aptitud agrícola. La variable de población indígena mostró mayor peso respecto a las demás ya que este tipo de sector poblacional se concentra en zonas rurales y su principal fuente de ingreso y en algunos casos de alimentación se deriva de las actividades agrícolas. Los municipios que

concentran mayor población indígena son Temoaya con 56% seguido de Oztolotepec con 22% (INEGI, 2010). Otros indicadores que muestran un peso significativo son la pobreza alimentaria y el porcentaje de población dedicada a actividades primarias. La pobreza alimentaria se concentra en los municipios de Jiquipilco donde el 49%, seguido por Atizapán, Calimaya, Xalatlaco, San Mateo Atenco y Zinacantepec con 42% y Lerma y Oztolotepec con 41% (CONEVAL, 2010). Por otra parte, los municipios que concentran mayor población ocupada en actividades primarias son Texcalyacac con 29%, Tenango del Valle con 27%, Jiquipilco con 22% y Xalatlaco con 20% (INEGI, 2010).

La capacidad adaptativa fue medida a través de cuatro grupos de indicadores que muestran la capacidad que tiene la población a enfrentarse a efectos adversos de los cambios en el clima como los niveles de escolaridad y alfabetización, que son las variables con mayor peso. 90% de la población total del Distrito tiene un promedio de escolaridad de 7.5, lo que incrementa la capacidad de adaptación.

Por otro lado, las cuestiones sociales se refieren al grado de organización que existe en las Unidades de Producción (UP) para tener acceso a apoyos, créditos, capacitación, ahorros entre otros. En este rubro solo el 0.4% del total de las UP tienen acceso a apoyos mientras que el 3.6% reciben capacitación. El municipio que sobresale en este grupo es Jiquipilco donde el 20% de las UP reciben capacitación constante.

El aspecto financiero representa las condiciones económicas que se encuentran en las UP como son el Producto Interno Bruto (PIB) y los accesos a créditos y seguros donde solo 0.3% de las UP tienen dicho acceso lo que dificulta el mantenimiento de las actividades agrícolas sobre todo cuando se presentan condiciones de pobreza. Así mismo solo 2.2% presentan ahorros lo que indica que existe una posibilidad baja de adaptarse si ocurriera algún fenómeno que pusiera en riesgo a la actividad productiva. El municipio con mayor porcentaje de ahorros

es Tianguistenco con 12% de sus UP. De acuerdo con los resultados obtenidos tan solo 0.01% de las UP tiene acceso a créditos y seguros, y se encuentran distribuidos en los municipios de Almoloya de Juárez, Jiquipilco, Lerma, Ocoyoacac, Tenango del Valle, Toluca y Zinacantepec. Pese a estas condiciones y deficiencias que muestran las UP para obtener apoyo financiero por parte del gobierno para mejorar la producción de maíz, el PIB es alto y en 2015 alcanzó los 315,419.1 millones de pesos, los municipios que registran PIB más altos son Toluca, Metepec y Lerma (IGECEM, 2015).

Por último, el aspecto natural se refiere a las cuestiones naturales de la región que ayudan a mitigar la variabilidad en el clima, en este caso la variable con mayor peso fue la superficie de bosques y selvas que si bien solo ocupa el 19% de la superficie total son áreas de alto valor ecológico como es el caso del Parque Forestal la Marquesa y algunas concentraciones arbóreas importantes que ayudan a disminuir la concentración de gases de efecto invernadero que son principales causantes de la variabilidad climática.

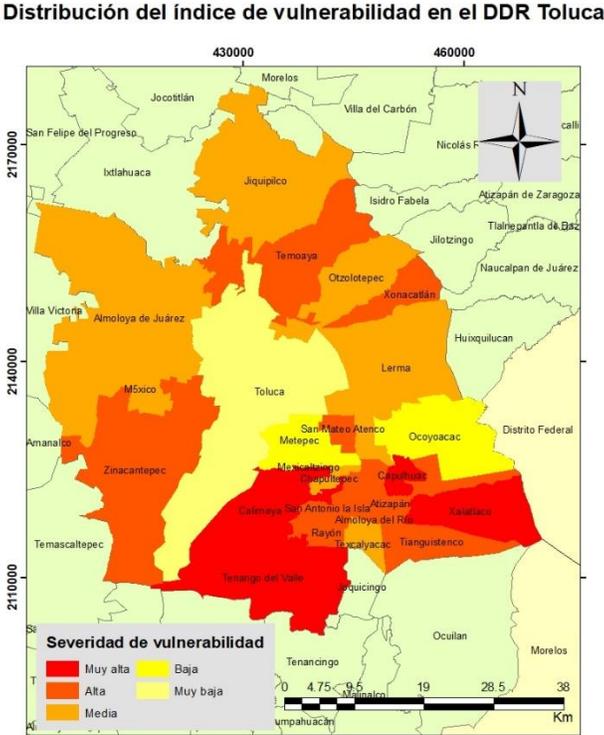
Vulnerabilidad ante variabilidad climática en el maíz de temporal dentro del DDR Toluca

La severidad de la vulnerabilidad se estableció a través de los valores obtenidos de los subíndices de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación, considerando que a mayor exposición y sensibilidad mayor será la vulnerabilidad, al contrario de la capacidad de adaptación que cuando presenta valores más altos disminuye la condición de ésta. En este sentido de los 24 municipios, 15 de presentan alta vulnerabilidad y son Calimaya, Capulhuac, Xalatlaco, Mexicaltzingo, Tenango del Valle, Almoloya del Río, Atizapán, Rayón, San Antonio la Isla, San Mateo Atenco, Temoaya, Texcalyacac, Tianguistenco, Xonacatlán y Zinacantepec, mientras que la vulnerabilidad más baja se presenta en los municipios de Jiquipilco, Metepec, Ocoyoacac y Toluca. Este

comportamiento indica que 62% del Distrito presenta alto grado de vulnerabilidad debido a las condiciones socioeconómicas y naturales, mientras que 16% se encuentra en un grado de baja vulnerabilidad.

Las correlaciones de cada subíndice respecto a la vulnerabilidad muestran para el caso de la exposición y sensibilidad valores de 0.006 y 0.229 respectivamente, lo cual indica que un aumento en los valores de los indicadores seleccionados para ambos componentes incrementa la vulnerabilidad para cada municipio. Por otro lado, la capacidad adaptativa muestra una correlación negativa de -0.519, lo que indica que un aumento en el valor de la capacidad de adaptación disminuye la vulnerabilidad, la distribución espacial de la vulnerabilidad puede observarse en la figura 5.

Figura 5. Distribución espacial de la vulnerabilidad ante variabilidad climática del maíz en el DDR Toluca



Fuente: elaboración propia, 2017

En cuanto a exposición, la variable que explica de mejor forma el comportamiento de ésta es el clima con una correlación de 0.23 respecto a la vulnerabilidad, lo cual indica que a temperaturas de 13 a 14°C se presenta un grado bajo de vulnerabilidad y el aumento de las mismas representan un incremento en ésta. Por otro lado, las precipitaciones de cerca de 900 mm se encuentran en un grado bajo de vulnerabilidad, mientras que superando los 1000 mm aumenta el grado de ésta en los cultivos. Respecto a sensibilidad, el grupo que presenta mayor influencia ante la vulnerabilidad son los servicios de salud, los cuales muestran que de 32 a 34% de población que no cuenta con este servicio existe una baja vulnerabilidad, mientras que de 37 a 50% presenta un alto grado de ésta. La agricultura fue estudiada a través del porcentaje de superficie dedicada a actividades primarias. Las Unidades de Producción (UP) que no cuentan con sistema de riego muestran una correlación de 0.46, por lo que los municipios que tienen menos del 18% de superficie dedicada a actividades primarias presentan menor vulnerabilidad, y las UP que no cuentan con sistemas riego suelen ser altamente vulnerables. La población presenta una correlación baja con 0.18, cuando existe más de 9% de población indígena existe mayor vulnerabilidad, lo mismo ocurre cuando la pobreza alimentaria se encuentra en más de 33% de la población, el análisis indica que la vulnerabilidad también es alta cuando existe más de 35% de la población dedicada a actividades primarias en cada municipio.

Por último, las correlaciones de las variables de capacidad adaptativa muestran que cuanto mayor sea el número de personas alfabetas y con escolaridad, es menor la vulnerabilidad, lo que ocurre con los 24 municipios del Distrito. En cuanto a las UP, aquellas que presentan un bajo porcentaje de organización para acceder a créditos y capacitación aumentan la vulnerabilidad, los municipios que tienen menos del 0.6% de UP organizadas y de 1% con capacitación son altamente vulnerables. Los resultados muestran que los municipios que presentan unidades de protección civil tienden a presentar menor

vulnerabilidad, en este caso solo se cuenta con una unidad de protección civil en el Distrito en el municipio de Toluca.

Conclusiones

La temperatura en el distrito no ha mostrado fluctuaciones significativas. Sin embargo, en los últimos 10 años se ha presentado un incremento sobre todo en los municipios conurbados al centro del Distrito. La temperatura mínima ha disminuido en los últimos años, lo que ha favorecido la reducción de heladas que son una de las principales amenazas para los cultivos de temporal. Por otro lado, la precipitación ha mostrado variaciones en tiempo y espacio, así como en duración e intensidad especialmente en los municipios de Lerma, Metepec y San Mateo Atenco favoreciendo las inundaciones, granizadas y los deslizamientos en dichos municipios y en la parte sur del Distrito afectando en algunas regiones a los cultivos de maíz de temporal. El comportamiento de la temperatura y precipitación muestran una tendencia al aumento, por lo que a futuro esto puede representar un problema para el desarrollo de la actividad agrícola bajo condiciones de temporal. Ante esto Velázquez (2011) afirma que a partir de 2030 la agricultura puede estar en riesgo, lo que aumenta la vulnerabilidad para la población que se dedica a esta actividad.

De acuerdo con los resultados, el indicador que tiene mayor peso y que aumenta el grado de exposición es la frecuencia de heladas y granizadas, así como las inundaciones, por lo que al aumentar dichos parámetros la exposición para cada municipio es mayor. Tal es el caso de Xalatlaco, Texcalyacac y Zinacantepec. Los municipios más sensibles ante la variabilidad en el clima son todos aquellos que concentran gran parte de la población rural que se dedica a actividades agrícolas y que tiene mayor grado de pobreza alimentaria. Mientras dichas variables aumenten la sensibilidad de la población será mayor, como es el caso de Atizapán, Calimaya, Capulhuac, Xalatlaco, Jiquipilco, Mexicaltzingo, Tenango del Valle y Tianguistenco. Debido a esto, dichos municipios deberán fortalecer la

capacidad de adaptación mediante estrategias que incrementen la educación, salud y políticas de desarrollo agrícola.

En este sentido, los municipios que muestran mayor capacidad de adaptación se encuentran en la parte central del Distrito, ya que tienen altos porcentajes de alfabetización y asistencia a la escuela por lo que resulta más fácil acceder a otras fuentes de empleo y servicios de salud. Sin embargo, este sector poblacional se encuentra concentrado en localidades urbanas principalmente en la zona conurbada al centro del DDR, lo cual muestra que la población rural es altamente vulnerable.

Finalmente, se corroboró que la variabilidad climática en cuanto a la precipitación está afectando algunas zonas de cultivo, especialmente donde se presentan lluvias y granizadas intensas, La alteración de la precipitación condiciona la temporada de riego y esto implica un problema en los cultivos y la población que se dedica a la actividad. Así mismo, el incremento de temperatura está beneficiando a los cultivos, pero dicho comportamiento puede ser perjudicial a futuro.

En general el DDR 073 Toluca muestra un rango de mediana vulnerabilidad y los cultivos de maíz de temporal hasta el momento no se han visto afectados significativamente por la variabilidad climática, lo que permite tener mejores rendimientos, sin embargo es necesario reforzar este tipo de investigaciones a corto, mediano y largo plazo para construir escenarios que muestren las condiciones de vulnerabilidad en la población y los cultivos, poniendo especial atención en los municipios que se encuentran en la parte sur del Distrito.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por la información brindada para la realización del estudio y al Consejo Nacional Para la Ciencia y Tecnología

(CONACyT) por el apoyo económico que permitió la conclusión satisfactoria de esta investigación.

Referencias

Ahumada Cervantes, Ramiro; Velázquez Angulo, Gilberto; Rodríguez Gallegos, Hugo; Flores Tavizón, Edith; Félix Gastelum, Rubén; Romero González, Jaime y Granados Olivas, Alfredo (2014). “An indicator tool for assessing local vulnerability to climate change in the Mexican agricultural sector” en *Mitig Adapt Strateg Glob Change* DOI 10.1007/s11027-015-9670-z. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/279519547_An_indicator_tool_for_assessing_local_vulnerability_to_climate_change_in_the_Mexican_agricultural_sector

Alejandro, Monterroso Rivas (2012). *Contribución al estudio de la vulnerabilidad al cambio climático en México* (Tesis doctoral). Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Asael Alejandro, Sarabia Rodríguez (2011). *Efectos del cambio y variabilidad climática del maíz (zea mays) en la región centro occidente de México, estudio de caso: Distrito de Desarrollo Rural, Toluca, Estado de México* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Barbero, Nidia; Rössler, Cristina y Canziani, Pablo (2008). “Cambio climático y viticultura: variabilidad climática presente y futura y aptitud vitícola en 3 localidades de la Patagonia” en *Revista Enológica V* (2). 1-8. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Pablo_Canziani/publication/238780200.pdf

CENAPRED (2017). Archivos shapefile. Recuperado de <http://catalogo.datos.gob.mx/organization/cenapred>

CONAGUA (2013). Extractor rápido de Información Climatológica v. 3.2.
Disponible en Cd -ROM

CONAPO (2010). Base de datos. Recuperado de
<http://www.cdi.gob.mx/localidades2010-gobmx/index.html>

Conde, Cecilia (2006). *México y el cambio climático global*. México: UNAM.
Recuperado de
[http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Cecadesu/Libros/
Mexico%20y%20el%20cambio%20climatico.pdf](http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Cecadesu/Libros/Mexico%20y%20el%20cambio%20climatico.pdf)

CONEVAL (2010). Base de datos. Recuperado de
[http://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/Anexo-
estad%C3%ADstico-municipal-2010.aspx](http://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/Anexo-estad%C3%ADstico-municipal-2010.aspx)

Darío Cardona, Omar (2001). Presentación: La necesidad de repensar de manera
holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. Una crítica y una
revisión necesaria para la gestión. Wageningen, International work –
conference centre. Recuperado de
<https://www.researchgate.net/publication/237478372>

Hernández Ramírez, Claudia; Bonales Valencia, Joel y Ortíz Paniagua,
Francisco (2014). “Modelo de vulnerabilidad agrícola ante los efectos del
cambio climático” en *CIMEXUS Revista Nicolaita de Políticas Públicas V*
(9) 2. 31 – 48. Michoacán: UMICH. Recuperado de
<http://cimexus.umich.mx/index.php/cim1/article/view/191>

IGCEM (2016). “Producto Interno Bruto Municipal”. Instituto de Información
e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México.
Estado de México. Recuperado de
[http://igcem.edomex.gob.mx/sites/igcem.edomex.gob.mx/files/files/Archi
vosPDF/Productos-Estadisticos/Indole-
Economica/PIB/CD_PIB_MUN_2016.pdf](http://igcem.edomex.gob.mx/sites/igcem.edomex.gob.mx/files/files/ArchivosPDF/Productos-Estadisticos/Indole-Economica/PIB/CD_PIB_MUN_2016.pdf)

- IICA (2013). “Cambió el clima. Herramientas para abordar la adaptación al cambio climático desde la extensión”. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Argentina: IICA Recuperado de <http://repiica.iica.int/docs/B3185E/B3185E.PDF>
- INEGI (2010). Base de datos. Recuperado de <http://www.beta.inegi.org.mx/app/indicadores/>
- IPCC (2001). “Cambio climático”. *Informe de síntesis*. Panel Intergubernamental de expertos sobre Cambio Climático. Suiza: IPCC Recuperado de <https://www.ipcc.ch/pdf/climate-changes-2001/impact-adaptation-vulnerability/impact-spm-ts-sp.pdf>
- IPCC (2007). “Cambio climático”. *Informe de síntesis*. Panel Intergubernamental de expertos sobre Cambio Climático. Suiza: IPCC Recuperado de https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf
- Magaña, Víctor (2013). *Guía metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad ante cambio climático*. México: INE – PNUMA. Recuperado de http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2012_t5cn_evacc2_09_vmagana.pdf
- Martínez Rubiano, Martha Teresa (2009). “Los geógrafos y la teoría de riesgos y desastres ambientales” en *Perspectiva Geográfica V. (14)*. 241 – 263. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3644793>
- Ramírez Castillo, Ricardo Jesús y Meza Ramos, Eduardo (2012). *Evaluación de la vulnerabilidad del sector primario regional ante el impacto de la variabilidad climática en Bahía de Banderas, México*. México: EUMED. Recuperado de <http://www.eumed.net>
- Sánchez Moreno, Ana Rosa y Urbina Soria, Javier (2008). *Impactos sociales del cambio climático en México*. México: INE – SEMARNAT – PNUD.

- Recuperado de
http://centro.paot.mx/documentos/pnud/impactos_sociales_CC.pdf
- SIAP (2013). Base de datos. Recuperado de
http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/ientidad/index.jsp
- Soria Ruiz, Jesús y Sotelo Ruiz, Erasto (2010). *Estudio integral de maíz para el Estado de México. Producto 5: paquetes tecnológicos actualizados para la producción de maíz en grano en las zonas maiceras del Estado de México*. México: INIFAP
- Tao, Shengcai; Xu, Yinlong; Liu, Ke; Pan, Jie y Gou, Shiwei (2011). “Resarch progress in agricultural climate change” en *Advances in Climate Change Resarch V 2 (4)*. 203 – 2010. DOI: 10.3724/SP.J.1248.2011.00203.
Recuperado de
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674927811500504>
- Victoria, Velázquez Alfaro (2011). *Efectos del cambio climático en el sector primario de dos especies de importancia económica para el Estado de México* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México, México.

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del maíz	26
Cuadro 2. Requerimientos agroecológicos del maíz	27
Cuadro 3. Cuadro comparativo de estudios de vulnerabilidad en el sector agrícola a nivel global	54
Cuadro 4. Cuadro comparativo de estudios de vulnerabilidad en el sector agrícola a nivel nacional	71
Cuadro 5. Cuadro comparativo de estudios sobre agricultura y cambio climático en el Estado de México	81
Cuadro 6. Tipo de clima y porcentaje de superficie en el Estado de México	88
Cuadro 7. Climas del DDR Toluca	89
Cuadro 8. Uso y cobertura del suelo en el DDR Toluca	99
Cuadro 9. Porcentaje y hectáreas de usos de suelo en el DDR Toluca	99
Cuadro 10. Estaciones climatológicas en el DDR Toluca	107
Cuadro 11. Años efectivos de las estaciones climatológicas en el DDR Toluca	108
Cuadro 12. Estaciones seleccionadas y completadas con datos del SMN	111
Cuadro 13. Producción de maíz de temporal durante el ciclo primavera – verano en el Estado de México de 1980 a 1998	125
Cuadro 14. Producción de maíz de temporal durante el ciclo primavera – verano en el DDR Toluca de 1999 a 2014	127
Cuadro 15. Indicadores de exposición	134
Cuadro 16. Indicadores de sensibilidad	135
Cuadro 17. Indicadores de capacidad adaptativa	135
Cuadro 18. Exposición, sensibilidad, capacidad adaptativa y vulnerabilidad por municipio	148
Cuadro 19. Índice de vulnerabilidad ante variabilidad climática por municipio	149
Cuadro 20. Indicadores que aumentan la exposición en municipios altamente expuestos	153

Cuadro 21. Indicadores que aumentan la sensibilidad en municipios altamente sensibles	154
Cuadro 22. Indicadores que aumentan la adaptación en municipios con mayor capacidad adaptativa	155

FIGURAS

Figura 1. Diagrama metodológico	42
Figura 2. Ubicación geográfica del Estado de México	85
Figura 3. Distritos de Desarrollo Rural en el Estado de México	86
Figura 4. Municipios del DDR Toluca	87
Figura 5. Climas del DDR Toluca	90
Figura 6. Edafología del DDR Toluca	91
Figura 7. Provincias fisiográficas del Estado de México y el DDR Toluca	96
Figura 8. Geología del DDR Toluca	97
Figura 9. Topografía del DDR Toluca	98
Figura 10. Uso y cobertura de suelo del DDR Toluca	100
Figura 11. Cultivo de maíz en el DDR Toluca	101
Figura 12. Regiones hidrográficas en el Estado de México	103
Figura 13. Hidrología del DDR Toluca	104
Figura 14. Distribución de estaciones climatológicas del DDR Toluca de acuerdo con la CONAGUA	113
Figura 15. Estaciones climatológicas seleccionadas	114
Figura 16. Temperatura máxima por mes en el DDR Toluca de 1980 a 2014	115
Figura 17. Temperatura máxima por estación meteorológica de 1980 a 2014	115
Figura 18. Temperatura mínima por mes en el DDR Toluca de 1980 a 2014	117
Figura 19. Temperatura mínima por estación meteorológica de 1980 a 2014	117
Figura 20. Temperatura media por mes en el DDR Toluca de 1980 a 2014	118
Figura 21. Temperatura media por estación meteorológica de 1980 a 2014	120
Figura 22. Distribución espacial de la temperatura media mensual de 1980 a 2014 en el DDR Toluca	121
Figura 23. Precipitación media mensual de 1980 a 2014 en el DDR Toluca	122

Figura 24. Precipitación media mensual por estación meteorológica de 1980 a 2014	123
Figura 25. Superficie sembrada y cosechada del maíz de temporal durante el ciclo primavera – verano en el Estado de México de 1980 a 1998	126
Figura 26. Superficie sembrada y cosechada del maíz de temporal durante el ciclo primavera – verano en el DDR Toluca de 1999 a 2014	128
Figura 27. Temperatura máxima por año de 1999 a 2014 en el DDR Toluca	129
Figura 28. Temperatura mínima por año de 1999 a 2014 en el DDR Toluca	130
Figura 29. Precipitación media por año de 1999 a 2014 en el DDR Toluca	131
Figura 30. Distribución espacial de la vulnerabilidad ante variabilidad climática en el DDR Toluca	151