

Vulnerabilidad ante la variabilidad climática en los cultivos de maíz *Zea mays*

Vulnerability to Climatic Variability in Maize *Zea mays*

*Gloria Isabel Reyes Anistro**, *Salvador Adame Martínez*** y *Edel Cadena Vargas****

Resumen

El propósito del presente artículo es evaluar la vulnerabilidad ante la 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 la precipitación y su influencia en los rendimientos y cosechas del maíz de 1980 a 2014, así como las condiciones socioeconómicas e indicadores que permiten medir el grado de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación, a fin de crear un índice de vulnerabilidad para cada municipio del distrito. Los resultados muestran que a partir del año 2000 las variables climáticas usadas han aumentado en los municipios de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca. Se concluye que el maíz se ha visto beneficiado respecto a la temperatura, pero la precipitación ha modificado las temporadas de riego y la frecuencia de inundaciones, perjudicando zonas potenciales para el cultivo y poniendo en riesgo las condiciones socioeconómicas de la población. Los municipios más vulnerables se encuentran al sur del distrito mostrando una baja capacidad adaptativa, por lo que es necesario crear estrategias de adaptación capaces de afrontar a las variaciones climáticas.

Palabras clave: exposición; sensibilidad; capacidad de adaptación; evaluación de vulnerabilidad

* Maestría en Ciencias Ambientales por la Universidad Autónoma del Estado de México, México. Líneas de interés: vulnerabilidad y cambio climático. Correo electrónico: Isa_reyes88@hotmail.com

** Doctorado en Ciencias por el Colegio de Posgraduados. Profesor-investigador de la Facultad de Planeación Urbana y Regional de la Universidad Autónoma del Estado de México, México. Líneas de interés: manejo integral de cuencas, riesgo y vulnerabilidad, sistemas de información geográfica y teledetección. Correo electrónico: adame_ms@yahoo.com

*** Doctorado en Sociología por la Universidad Nacional Autónoma de México, México. Profesor-investigador de la Facultad de Geografía de la Universidad Autónoma del Estado de México, México. Líneas de interés: Desigualdad social y análisis espacial. Correo electrónico: edelcadena@yahoo.com.mx

Abstract

The purpose of this article is to evaluate vulnerability to climate variability in seasonal maize crops in the Rural Development District 073-Toluca, Mexico. For this purpose, temperature and precipitation are analyzed, as well as their 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, in order to create an index of vulnerability for every municipality in the district. The results show that since 2000, the climate variables used have increased in the municipalities of the Toluca Valley-Metropolitan Area. It is concluded that maize has benefited as a result of the change in temperature, but precipitation has altered irrigation and flood seasons, affecting potential areas for cultivation and endangering the socioeconomic conditions of the population. The most vulnerable municipalities are in the south of the district and have a low adaptive capacity, which calls for adaptive strategies capable of addressing climate variations.

Key words: exposure; sensitivity; adaptability; vulnerability assessment;

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 por sistemas naturales y antropogénicos. Una de las principales causas de este proceso es 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, a su vez, alteraciones en los sistemas humanos tanto en la esfera social como económica. Derivado de ello ha aumentado la preocupación por la situación actual y futura de este fenómeno, se han creado iniciativas sociales, políticas y científicas para actuar ante esto. Estudios recientes muestran incrementos significativos en la temperatura, aumentos en las anomalías climáticas y alteraciones en el régimen hídrico (Barbero *et al.*, 2008). Estas variaciones en el clima han impactado diferentes sistemas productivos como es el caso de la agricultura. Esta actividad es altamente sensible a los cambios climáticos, cualquier cambio en la temperatura y precipitación altera su producción, lo cual representa un riesgo para la economía y la seguridad alimentaria de la población (Conde, 2006; Tao *et al.*, 2011).

Los riesgos de los cambios en las variables climáticas se han tratado de advertir. La forma más común de hacerlo es por medio de escenarios de impactos y, aunque este tipo de modelos simulan aproximadamente las tendencias de temperatura, distan mucho de ser pronósticos. De acuerdo

con Magaña y otros (2012), para el caso de México, algunas de estas proyecciones indican un patrón de calentamiento debido a que presenta condiciones climáticas e hidrológicas, así como una ubicación geográfica 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. De acuerdo con la Encuesta Nacional Agropecuaria del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2014) existen 109.3 millones de hectáreas productivas de las cuales 40% se destina a alimentos; el maíz, el frijol y el sorgo son los granos que concentran mayor área de cultivo. La actividad agrícola se desarrolla principalmente en localidades rurales donde viven 27 millones de habitantes, es decir, 23% del total de la población (INEGI, 2015). De acuerdo con la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), las inundaciones y sequías causaron 83% de las pérdidas en el sector agropecuario a nivel mundial. En el caso de Centroamérica, América Latina y el Caribe se perdieron 11 millones de dólares en producción, 55% de los casos a raíz de inundaciones y sequías, los países más afectados fueron México, Brasil, Colombia y Paraguay (FAO, 2015).

El estudio realizado por la FAO (2015) demuestra que México resulta ser vulnerable ante la variación del clima sobre todo si se sitúa en zonas que pudiesen ser impactadas por sequías como el noroeste del territorio e inundaciones al sureste, sobre todo por presentar condiciones de debilidad en sus estructuras sociales y económicas. En este sentido, los estados que pueden resentir mayores incrementos en las temperaturas medias son Guanajuato, Estado de México, San Luis Potosí, Tlaxcala y Veracruz, lo que afectará a las actividades humanas, incluidas las agrícolas (SAGARPA, 2012). Algunos escenarios proyectan una tendencia de pérdida de hasta 15% en cultivos hacia el 2050 (Sánchez *et al.*, 2008).

La zona que se seleccionó para realizar el estudio se encuentra en el Estado de México, una de las entidades más importantes en producción agrícola con 84% de su superficie dedicada al uso de suelo agropecuario y forestal. Para el manejo administrativo de las actividades productivas del sector rural, el estado se divide en ocho regiones que presentan características similares llamadas Distritos de Desarrollo Rural (DDR) administradas por la SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Gananería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). Entre ellas se eligió el DDR-Toluca, que comprende 23 municipios y es uno de los más importantes en la producción agrícola: abarca 44% de la superficie total de la entidad e impera la agricultura de temporal, con 85% de la superficie agrícola (Soria y Sotelo, 2010; Sarabia, 2011).

El objetivo de este documento es evaluar la vulnerabilidad actual en el maíz del DDR-Toluca a través de indicadores. Para ello, el primer paso es corroborar si existe una variación en el clima que afecte los cultivos de maíz de temporal. La hipótesis establecida es que la variabilidad climática

ca afecta de manera negativa a dichos cultivos. Para ello se requiere determinar el grado de vulnerabilidad que presenta esta actividad y considerar factores naturales, sociales y económicos para el establecimiento de estrategias de adaptación. De ahí el interés por abordar la vulnerabilidad desde una perspectiva integral donde la exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa determinen el grado de severidad de esta en cada uno de los municipios.

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 e interacciones entre fenómenos naturales y los sistemas sociales. Por ello, el concepto de vulnerabilidad se ha aceptado como un término independiente a los riesgos a los que se expone una población al cambio (Tao *et al.*, 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 encuentre dificultades para recuperarse (Monterroso, 2012; Magaña, 2013). La vulnerabilidad es un concepto que se adapta a diferentes contextos y, debido a esto, resulta complejo estudiarla en su totalidad, por lo que cada modelo teórico y marco metodológico se ha adaptado al contexto del que se esté hablando. Por ello, aún no existe una metodología universalmente aceptada para medirla y evaluarla (Magaña, 2013).

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 *et al.*, 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. La segunda, por el contrario, asigna pesos distintos dependiendo de 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).

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 de 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 IPCC (Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático) 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, la magnitud y la velocidad de la variación climática al que se encuentra expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación.

Para estudiar la vulnerabilidad es necesario abordar los tres elementos que la componen: 1) exposición: medida en la cual el sistema se encuentra expuesto a variaciones en el clima; 2) sensibilidad: nivel intrínseco del sistema a verse afectado por los cambios en el clima, y 3) capacidad adaptativa: capacidad que tiene una comunidad o sistema para hacer frente a los cambios en el clima (IPCC, 2001; IPCC, 2007; IICA, 2013).

El tema es de gran interés en las investigaciones sobre cambio climático, particularmente porque la agricultura se encuentra en un contexto de alta vulnerabilidad, de manera que su cuantificación es necesaria 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 *et al.*, 2014).

De acuerdo con lo anterior, en los últimos años evaluar la vulnerabilidad ha sido un tema de interés sobre todo cuando se habla de 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? Se busca reconocer 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 más connotaciones, ya que los factores climatológicos y sus impactos no sólo se deben a cambios en el clima, sino también al modelo de desarrollo implementado, en el cual las acciones humanas constituyen un componente importante (Monterroso, 2012; Magaña, 2013).

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 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 han logrado conjuntar elementos físicos, económicos y sociales de manera dinámica. Ello permitiría priorizar acciones de adaptación y darles seguimiento. Una evaluación de ese tipo integra un sistema de información climática y socioeconómica, además de representar las amenazas de manera que el tomador de decisiones pueda acceder a tales datos para estar en posibilidad de desarrollar estrategias de adaptación (Ramírez y Meza, 2012; Magaña, 2013).

Zona de estudio: DDR-Toluca

El DDR-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 la zona 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 1 250 mm anuales (Soria y Sotelo, 2010; Sarabia, 2011).

Metodología

Para lograr el objetivo del presente estudio se establecieron tres fases metodológicas, la primera consistió en caracterizar el medio físico de la zona de estudio 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 CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) y se utilizaron las variables de temperatura máxima, mínima y precipitación durante el periodo 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 SIAP (Sistema de Información Agrícola y Pecuaria, 2013) de la SAGARPA. Finalmente, 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 que fueron revisados a partir de la metodología empleada por Monterroso (2012) y Ahumada (2013). El primer criterio de selección consistió en comparar los indicadores utilizados por cada autor, de esta manera se seleccionaron aquellos que aparecían en las dos investigaciones. Un segundo paso consistió en hacer una revisión para cada indicador y variable seleccionados en un contexto regional, considerando que la zona de estudio está conformada por 23 municipios, por lo que se seleccionaron datos manejados a nivel municipio y finalmente se corroboró que la información fuera reciente y estuviera completa para cada uno de ellos.

Los indicadores seleccionados fueron de carácter natural, social y económico, los cuales se distribuyeron para cada componente de la vulnerabilidad: 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 INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 2010), el CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, 2010), el CONAPO (Consejo Nacional para la Población, 2010), el CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2017), SIAP (2013) y CONAGUA (2013).

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

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	1 a: INEGI b: INEGI c: CONAPO
	2 a: INEGI	2 a: INEGI	2 a: INEGI
	3 a: INEGI b: INEGI	3 a: INEGI b: SIAP	b: INEGI c: Atlas de Riesgos
			3 a: INEGI b: INEGI c: IGCEM
		4 a: Inventario Forestal	

Fuente: Elaboración propia.

Nota: 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.

Una vez que se midieron los tres componentes se evaluó la vulnerabilidad y se midió su 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 mayores sean y aumenten los niveles de exposición y sensibilidad, mayor será la vulnerabilidad. Sin embargo, cuanto más aumente la capacidad de adaptación menor será 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:

$$\text{Ecuación 1: } Zv = \frac{Xi - X}{DS}$$

Donde 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 .

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

Donde 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.

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

Donde 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.

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

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

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

Donde 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

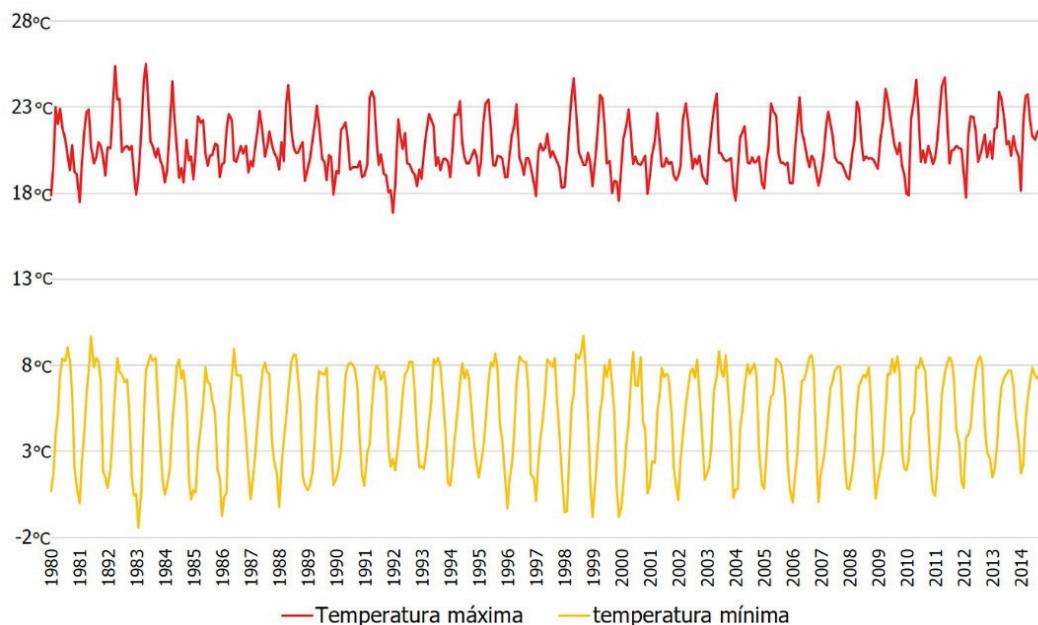
y así se obtuvo el grado de vulnerabilidad para cada municipio, donde los valores de 0 a 20 representan una muy baja vulnerabilidad, 21 a 40 baja, 41 a 60 media, 61 a 80 alta y 81 a 100 muy alta.

$$\text{Ecuación 6: } \textit{Vulnerabilidad} = \frac{(\textit{exposición} + \textit{sensibilidad}) + (1 - \textit{capacidad adaptativa})}{3}$$

Resultados

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 Temoaya y Lerma. Si bien durante el periodo de estudio no se presentan fluctuaciones significativas, 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 como mínima los 10 °C como se aprecia en la Figura 2, donde el eje vertical corresponde a los grados centígrados y el eje horizontal al periodo de estudio.

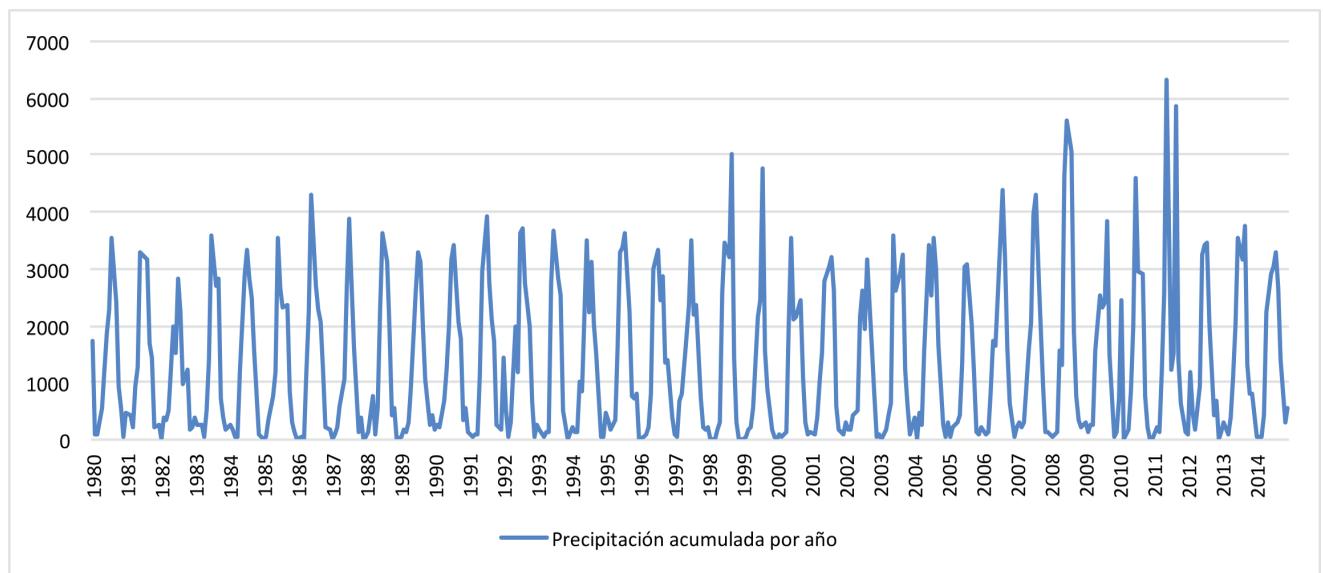
Figura 2. Comportamiento de la temperatura máxima y mínima en promedio anual para el DDR-Toluca de 1980 a 2014



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

En el DDR-Toluca se presentan precipitaciones que van de los 680 a los 1 070 mm en promedio anual. Los meses más húmedos van de abril a julio y los más secos de octubre a febrero. 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, como se muestra en la Figura 3 en la que el eje vertical corresponde a la cantidad de lluvia acumulada para el Distrito en milímetros y el eje horizontal corresponde al periodo 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

Del año 1999 al 2014, el cultivo de maíz ha presentado rendimientos de entre 3.5 ton/ha en promedio con una superficie sembrada de 146 220 hectáreas y 138 152 hectáreas de superficie cosechada, lo que indica que en los últimos 16 años se ha cosechado 94% en promedio acumulado de la superficie destinada al cultivo de maíz representando un valor de 1 796 976 145.2 millones de pesos durante dicho periodo.

La temperatura óptima para el desarrollo del cultivo de maíz oscila entre los 25 y 30 °C, de acuerdo con esto y con los resultados obtenidos la temperatura máxima en promedio para el Distrito oscila entre los 19 y 21 °C, sin embargo hay municipios como Tenango del Valle, Lerma, Toluca,

Metepec y Zinacantepec en los que las temperaturas han aumentado hasta casi los 30 °C en los últimos 10 años, lo que podría indicar un beneficio para el cultivo. De acuerdo con los promedios de las temperaturas por año no se observa una incidencia significativa respecto a las superficies cosechadas, sin embargo, como se muestra en la Figura 4, en el año 2011 se registró la menor superficie cosechada de maíz coincidiendo con el año en que se presentó la mayor precipitación de 1999 a 2014.

Figura 4. Superficie cosechada de maíz respecto a comportamiento de temperatura y precipitación en el DDR-Toluca de 1999 a 2014

Año	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Precipitación (mm)	Superficie cosechada (ha)
1999	20.3	4.3	729.7	118 188
2000	20.3	4.7	783.0	117 937
2001	20.0	4.9	868.0	503 437
2002	20.3	5.1	772.8	246 521
2003	20.5	5.4	869.4	104 897
2004	20.0	5.1	954.0	112 276
2005	20.4	5.2	679.8	99 034
2006	20.4	5.0	1 001.7	113 244
2007	20.4	4.9	955.4	110 904
2008	19.9	4.7	1 207.1	112 507
2009	20.8	5.3	847.5	114 755
2010	20.5	5.1	979.1	111 586
2011	21.5	5.1	1 070.3	54 704
2012	20.7	5.2	898.5	93 921
2013	20.3	5.6	972.3	102 804
2014	21.4	5.4	944.1	93 720

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Los valores en color rojo indican los valores más altos de superficie cosechada y de precipitación en el periodo seleccionado.

Como se puede observar en las Figuras 2 y 3, los valores en la temperatura y precipitación han ido en aumento y, aunque la temperatura pudiera resultar benéfica, esta tendencia a futuro puede perjudicar al cultivo. Por otro lado, el aumento en cuanto a duración e intensidad de la precipitación, así como los cambios en temporalidad y espacio de la misma, están generando un desequilibrio para la producción de maíz, lo que provoca incertidumbre en los productores para el establecimiento de las temporadas de riego. Es por esto que 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 las actividades agrícolas especialmente en condiciones de temporal. El análisis de las condiciones geográficas y climáticas de la zona para este estudio muestra que hacia la zona sur del mismo existen zonas susceptibles a deslizamientos especialmente en épocas de lluvia, lo que a su vez ha ocasionado inundaciones para dicha área, así como el centro del Distrito, del mismo modo las heladas y granizadas juegan un papel importante y son una de las principales amenazas para los cultivos, especialmente en las partes más altas (CENAPRED, 2012).

El análisis de los indicadores de exposición muestra que la problemática ambiental más importante corresponde a las pérdidas por fertilidad en el suelo (INEGI, 2012), siendo los municipios más afectados Xonacatlán y Zinacantepec. Por otro lado, los cambios en el clima, especialmente el aumento de temperatura y precipitación, se han intensificado en el centro del Distrito dentro de los municipios conurbados, a saber: Almoloya del Río, Atizapán, Chapultepec, Rayón, San Antonio la Isla y San Mateo Atenco (CONAGUA, 2013).

Los indicadores para medir sensibilidad fueron agrupados en categorías de población, salud y aptitud agrícola. Dentro de la categoría de población se estudiaron tres variables: población indígena, pobreza alimentaria y población ocupada en actividades primarias. La población indígena se concentra en su mayoría en zonas rurales y se dedica principalmente a la agricultura, por lo que son altamente sensibles ante cualquier situación que afecte a dicha actividad. Los municipios que concentran mayor población indígena son Temoaya y Oztolotepec con el 56 y 22% respectivamente (INEGI, 2010). Cabe señalar que también existe un gran número de personas por municipio que presentan condiciones de pobreza alimentaria, por ejemplo, Jiquipilco donde 49% de la población se encuentra en estas condiciones, seguido por Atizapán, Calimaya, Xalatlaco, San Mateo Atenco y Zinacantepec con 42% y Lerma y Oztolotepec con 41% (CONEVAL, 2010). Finalmente, 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 sensibilidad actúa de la misma manera que la exposición, esto significa que al aumentar la sensibilidad aumenta la vulnerabilidad de los cultivos. Para el caso del Distrito, de acuerdo

con las variables estudiadas, la sensibilidad presenta una correlación positiva de 0.77 respecto al grado de vulnerabilidad. Respecto a la actividad agrícola, fue estudiada a través del porcentaje de superficie dedicada a actividades primarias, unidades de producción que no cuentan con sistemas de riego y los rendimientos de temporal, en este sentido la actividad muestra una correlación de 0.46 respecto al grado de sensibilidad dando como resultado que aquellos municipios que cuentan con menos del 18% de superficie dedicada a actividades primarias presentan menor vulnerabilidad, los municipios que tienen más del 80% de sus Unidades de Producción sin sistemas de riego son mayormente vulnerables, mientras que en los municipios con más del 10% de población indígena y/o más del 35% de población en pobreza alimentaria, la vulnerabilidad también aumenta. Los municipios que presentan una alta sensibilidad son Tizapán, Calimaya, Capulhuac, Xalatlaco, Jiquipilco, Tenango del Valle y Tianguistenco.

Finalmente, la capacidad adaptativa fue medida a través de cuatro grupos de indicadores que muestran la aptitud que tiene la población a enfrentarse a efectos adversos de los cambios en el clima, a saber: capital humano, capital social, capital financiero y capital natural. Dentro del capital humano las variables de escolaridad y alfabetización es alto, ya que se muestran valores de 90 a 100% de la población en condiciones de asistencia a la escuela y población que sabe leer y escribir (INEGI, 2010). El capital social se refiere al grado de organización que existe en las UP (Unidades de Producción) para tener acceso a apoyos, créditos, capacitación y ahorros, entre otros. En este sentido, sólo 0.4% del total de las UP tienen acceso a apoyos, entre ellos destacan los municipios de Chapultepec, Xalatlaco; Metepec, Mexicaltzingo y Texcalyacac. Sin embargo, éstos sólo presentan valores de 1 a 2% del total de unidades, mientras el resto de los municipios presentan valores abajo de 1%. Por otro lado, 3.6% del total de unidades de producción recibe capacitación. En este sentido, Jiquipilco es el municipio que presenta el porcentaje más alto con 20% del total de unidades, seguido de los municipios de Atizapán, Calimaya, Capulhuac, Chapultepec, Xalatlaco, Lerma, Metepec, Mexicaltzingo, Ocoyoacac, Rayón, Tenango del Valle, Texcalyacac, Toluca, Xonacatlán y Zinacantepec con porcentajes de 1 a 8% del total de UP (INEGI, 2007). Los valores tan bajos en las UP que tienen ahorros, créditos, capacitación o algún tipo de seguro muestran que en general existen dificultades para el mantenimiento de la actividad agrícola, especialmente cuando se presentan condiciones de pobreza.

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 se tomó como indicador la superficie cubierta con bosques y selvas que ocupan 19% de la superficie total abarcando entre el 20 y 40% de los municipios de Jiquipilco, Lerma, Ocoyoacac, Oztolotepec, Tenango del Valle, Texcalyacac, Tianguistenco, Xonacatlán y Zinacantepec. Estas áreas son de alto valor ecológico ya que ayudan a disminuir la concentración de gases de efecto invernadero que son los principales causantes de la variabilidad climática.

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

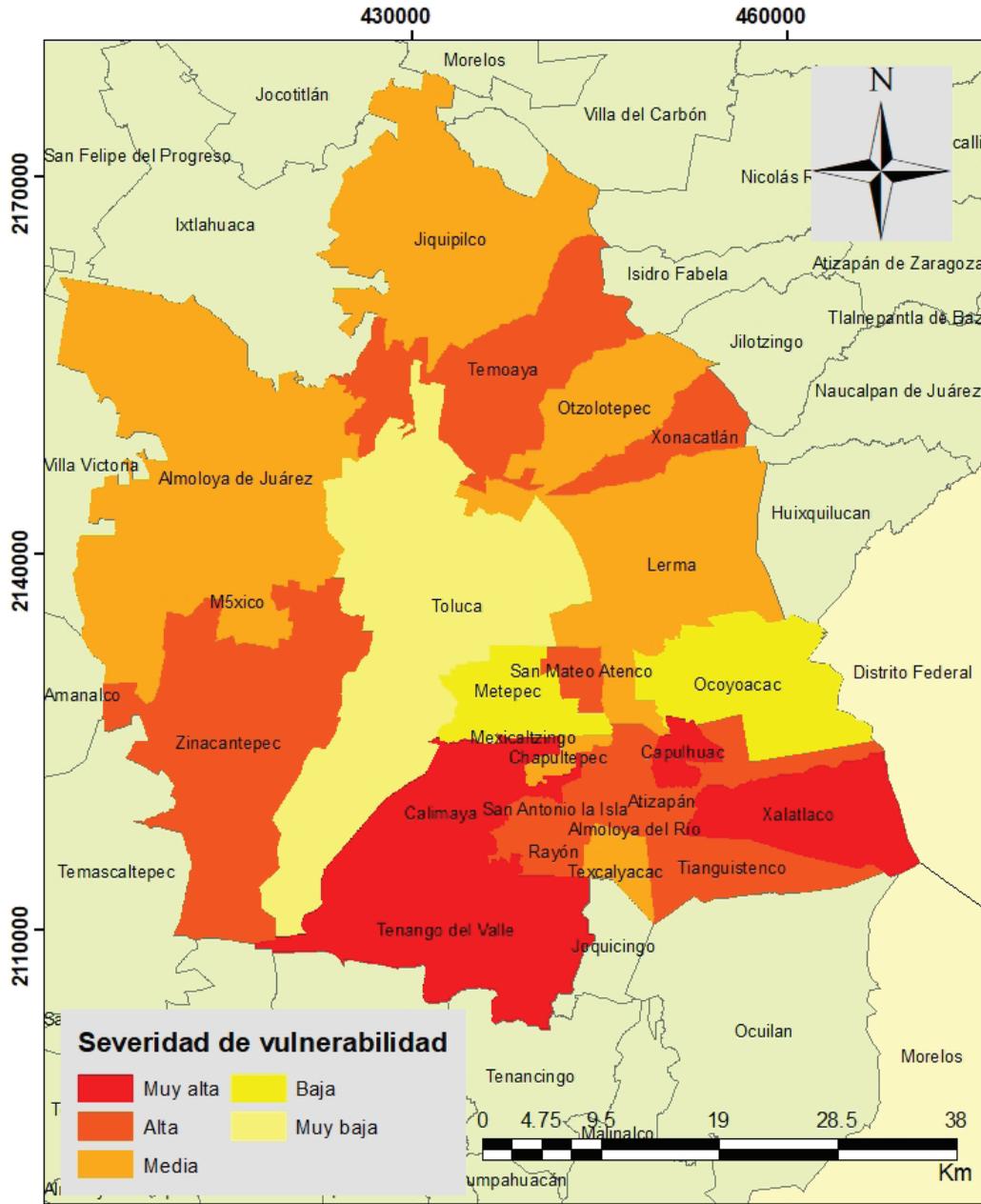
La severidad de la vulnerabilidad se estableció a través de los valores obtenidos de los subíndices de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación, considerando que a mayor exposición y sensibilidad mayor será la vulnerabilidad, al contrario de la capacidad de adaptación que cuando presenta valores más altos disminuye la condición de ésta. Una vez aplicada la ecuación 6 y se integraron los valores de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa se calculó la severidad de la vulnerabilidad para cada municipio, en este sentido los valores que van de 0 a 25 presentan una baja vulnerabilidad como es el caso de Metepec, Ocoyoacac y Toluca; de 26 a 50 se presenta una mediana vulnerabilidad en los municipios de Almoloya de Juárez, Chapultepec, Jiquipilco, Lerma y Texcalyacac; de 51 a 75 se considera una alta vulnerabilidad en los municipios de Almoloya del Río, Atizapán, Oztolotepec, Rayón, San Antonio la Isla, San Mateo Atenco, Temoaya, Tianguistenco, Xonacatlán y Zinacantepec; finalmente los valores de 76 a 100 muestran condiciones muy altas de vulnerabilidad, como es el caso de Calimaya, Capulhuac, Xalatlaco, Mexicaltzingo y Tenango del Valle (figura 5). De acuerdo con lo anterior, de los 24 municipios, 15 presentan una alta vulnerabilidad, —el 62% de la zona— debido principalmente 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. Aunque son valores bajos, son positivos, lo que indica que el aumento en dichos valores aumenta la vulnerabilidad en el Distrito. Para el caso de la exposición, los indicadores que presentaron valores más altos fueron los de precipitación, heladas y granizadas y deslizamientos. Los municipios más afectados por heladas que van desde 180 a 200 días anuales son Tenango del Valle, Toluca y Zinacantepec; mientras los que presentan mayor superficie susceptible a deslizamientos son Tenango del Valle, Texcalyacac y Zinacantepec, con áreas de 30 a 50% susceptibles, y finalmente Texcalyacac y Jalatlaco presentan condiciones en el territorio que son altamente inundables, por lo que se deben considerar los aumentos de la precipitación en dichos municipios (Atlas de riesgos, 2010).

En el caso de la sensibilidad, de acuerdo con los valores de correlación, esta tiene más peso en el comportamiento de la vulnerabilidad que la exposición, lo que indica que las condiciones sociales influyen mayormente en el aumento de ésta. El elemento que muestra mayor incidencia en el comportamiento de la sensibilidad es la pobreza alimentaria. Aquellos municipios que tienen una concentración de más de 40% de la población en dichas condiciones son Atizapán, Calimaya, Capulhuac, Xalatlaco, Jiquipilco y Tianguistenco. A su vez, las poblaciones dedicadas a actividades primarias son más sensibles y vulnerables a la variabilidad climática, especialmente cuando se de-

dican a la agricultura. Los municipios que tienen más de 20% de la población en dichas condiciones son Capulhuac, Xalatlaco y Tenango del Valle.

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



Por su parte, 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. Los municipios que muestran mayor capacidad de adaptación se encuentran en la zona centro 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. Dentro del sector rural, el municipio que presenta mayor porcentaje de unidades de producción que tienen capacitación es Jiquipilco con 20% seguido de Ocoyoacac y Texcalyacac con 11% del total de UP, mientras que los que cuentan con seguro y ahorros son Jiquipilco, Ocoyoacac y Toluca. Esto demuestra que a mayor número de UP con accesos a ahorros, créditos, seguros y capacitación, las condiciones de vulnerabilidad disminuyen.

Discusión y conclusiones

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 en la población que se dedica a la actividad. El aumento en la temperatura resulta beneficioso para los cultivos de maíz en algunas regiones, sin embargo, la disminución en la misma también ha sido evidente, sobre todo en temporadas de invierno, lo que favorece el incremento en la intensidad de las heladas, especialmente en las partes más altas del Distrito. Por otro lado, algunas investigaciones —como la de Velázquez (2011)— afirman que los escenarios para la actividad agrícola a partir del año 2030 en adelante se podrían ver en riesgo debido a los aumentos en la temperatura, sobre todo bajo condiciones de temporal, por lo que es importante mejorar las condiciones de la población rural permitiendo la creación de programas de apoyo al campo que vayan de la mano con una buena planificación del ciclo agrícola, los sistemas de riego, la tecnología y la mejora genética del grano.

Para abordar la vulnerabilidad primero es necesario tomar en cuenta las condiciones y los factores que aumentan el nivel de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación. En este sentido, respecto a las temperaturas, un aumento de más de $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ afectaría significativamente a los cultivos. Por su parte, si las precipitaciones superan los 1 000 mm, la severidad de la vulnerabilidad aumentaría. En el caso de la sensibilidad, las condiciones sociales respecto a educación se consideran buenos ya que más de 90% de la población cuenta con escolaridad y alfabetización. Sin embargo, en algunas regiones la pobreza extrema es alta y los servicios de salud limitados, por lo que resulta complicado abastecer a la población en caso de alguna contingencia.

Resulta importante mejorar las condiciones sociales, ya que eso disminuye la vulnerabilidad de la población. A su vez, el apoyo a las actividades del campo por parte del gobierno es fundamental para mejorar las condiciones de las unidades de producción y así establecer medidas de mitigación o adaptación en el caso en que los cultivos se vieran afectados por algún evento o fluctuaciones climáticas que resulten perjudiciales para los cultivos de maíz, que son una de las principales fuentes de alimentación e ingreso de las poblaciones rurales en el Distrito. No apoyarlos durante alguna situación que ponga en riesgo dicha actividad pone en riesgo la economía y la seguridad alimentaria de la población.

En general, el DDR-Toluca muestra un rango de mediana vulnerabilidad y los cultivos de maíz de temporal hasta el momento se han visto afectados principalmente por la precipitación. La importancia de realizar este tipo de investigación radica en poder establecer un índice a nivel regional o local de acuerdo a las condiciones de la población que permita medir el grado de vulnerabilidad en el que se encuentra la misma con respecto a las actividades agrícolas. Es por eso que es fundamental emplear indicadores de carácter social, político, económico y natural que faciliten establecer un diagnóstico y conocer tanto las fortalezas como las debilidades del sistema en conjunto y, de esta manera, poder establecer medidas y estrategias de mitigación y adaptación dentro de la población y los sistemas agrícolas. A su vez, es importante reforzar los estudios con escenarios que permitan conocer las posibles condiciones de la población a corto, mediano y largo plazo para encaminar dichas acciones desde el presente. Para el caso del Distrito de Desarrollo Rural de Toluca es importante prestar especial atención en los municipios que se encuentran en la parte sur, ya que son estos los que de acuerdo a esta investigación mostraron tener mayor vulnerabilidad.

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 de 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”. *Mitig Adapt Strateg Glob Change*. 1(16), pp. doi: 10.1007/s11027-015-9670-z
- Atlas de Riesgos (2010). Archivo PDF. Recuperado de <http://gaceta.diputados.gob.mx/Gaceta/62/2015/feb/Atlas-20150224.pdf>
- 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”. *Revista Enológica*, v(2), pp. 1-8. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Pablo_Canziani/publication/238780200.pdf
- CENAPRED (2012). Archivos *shapefile*. Recuperado de <http://catalogo.datos.gob.mx/organization/cenapred>
- CONAGUA (2013). *Extractor rápido de Información Climatológica v. 3.2*. [CD – ROM]. México.
- 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>
- CONEVAL (2010). Base de datos. Recuperado de <http://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/Anexo-estad%C3%ADstico-municipal-2010.aspx>
- Darío Cardona, Omar (2001). “La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. Una crítica y una revisión necesaria para la gestión”. Wengeningen, International Work – Conference Centre. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/237478372>
- FAO (2015). “Sector agrícola de América Latina y el Caribe perdió US 11 mil millones de dólares por desastres Naturales entre 2003 y 2013”. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Santiago de Chile. Recuperado de <http://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/357136/>
- Hernández Ramírez, Claudia; Bonales Valencia, Joel, y Ortiz Paniagua, Francisco (2014). “Modelo de vulnerabilidad agrícola ante los efectos del cambio climático”. *CIMEXUS Revista Nicolaita de Políticas Públicas*, 9(2), pp. 31-48. Michoacán: UMICH. Recuperado de <http://cimexus.umich.mx/index.php/cim1/article/view/191>
- IGECEM (2016). “Producto Interno Bruto Municipal”. Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México. Estado de México. Recuperado de <http://igecem>

edomex.gob.mx/sites/igecem.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 (2007). Base de datos. Recuperado de <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/en-cuestas/agropecuarias/ena/ena2014/doc/tabulados.html>

INEGI (2010). Base de datos. Recuperado de <http://www.beta.inegi.org.mx/app/indicadores/>

INEGI (2012). Base de datos. Recuperado de <http://www3.inegi.org.mx/rnm/index.php/catalog/197/datafile/F1/V2736>

INEGI (2014). “Encuesta Nacional Agropecuaria”. *Nota técnica*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México: INEGI. Recuperado de http://www.inegi.org.mx/saladeprensa/boletines/2015/especiales/especiales2015_08_8.pdf

INEGI (2015). “Distribución de la población por tamaño de localidad y su relación con el medio ambiente”. *Seminario – Taller de información para la toma de decisiones: población y medio ambiente*. México: INEGI. Recuperado de <http://www.inegi.org.mx/eventos/2015/Poblacion/doc/p-WalterRangel.pdf>

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”. *Perspectiva Geográfica*, v(14), pp. 241-263. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3644793>

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

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>

- SAGARPA (2012). *México: el sector agropecuario ante el desafío del cambio climático*. México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Recuperado de <http://www.sagarpa.gob.mx/programas2/evaluacionesExternas/Lists/Otros%20Estudios/Attachments/37/Cambio%20Climatico.pdf>
- 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
- Sarabia Rodríguez, Asael Alejandro (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.
- SIAP (2013). Base de datos. Recuperado de http://infosiap.siap.gob.mx/agricola_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”. *Advances in Climate Change Resarch*, 2(4), pp. 203-2010. doi: 10.3724/SP.J.1248.2011.00203. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674927811500504>
- Velázquez Alfaro, Victoria (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.

Recibido: 15 octubre 2017

Aceptado: 19 abril 2018

Editora asociada: Libertad Chávez Rodríguez