

# INDICADORES DE VULNERABILIDAD Y CAMBIO CLIMÁTICO EN LA AGRICULTURA DE MÉXICO

Alejandro MONTERROSO RIVAS<sup>1</sup>, Cecilia CONDE ÁLVAREZ<sup>2</sup>,  
Carlos GAY GARCÍA<sup>2</sup>, Jesús GÓMEZ DÍAZ<sup>1</sup> y José LÓPEZ GARCÍA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Depto. de Suelos. Universidad Autónoma Chapingo, México*

<sup>2</sup>*Centro de Ciencias de la Atmósfera e* <sup>3</sup>*Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México*

**aimrivas@correo.chapingo.mx; aconde@yahoo.com; cgay@servidor.unam.mx;**

**dgomez@correo.chapingo.mx; jlopez@igg.unam.mx**

## RESUMEN

Se propusieron y aplicaron 60 indicadores para evaluar la vulnerabilidad al cambio climático en el sector agrícola de México y a nivel municipal. Se siguió la definición del IPCC de vulnerabilidad que la señala como una función de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa. Para exposición se proponen 16 indicadores, para sensibilidad 23 y en capacidad adaptativa 21. Algunos indicadores consideran información proyectada futura. También, la sensibilidad futura consideró indicadores que evaluaron el impacto potencial del cambio climático, en este caso, sobre la aptitud natural de la tierra. Los mapas y perfiles de vulnerabilidad base fueron construidos por la combinación de índices de exposición, de sensibilidad y de capacidad adaptativa. Se muestran los mapas en cinco rangos de vulnerabilidad: muy alta, alta, media, baja y muy baja.

**Palabras clave:** exposición, sensibilidad, vulnerabilidad, adaptación, cambio climático, México.

## ABSTRACT

We proposed and implemented 60 indicators for assessing vulnerability to climate change in the agricultural sector in Mexico at municipal level. We followed the IPCC definition of vulnerability that is noted as a function of exposure, sensitivity and adaptive capacity. In exposure we proposed 16 indicators, 23 for sensitivity and 21 for adaptive capacity. Some variables considered future projected information. The future sensitivity was considered assessing the potential impact of climate change on the natural aptitude of land. Maps and profiles of vulnerability were built by the combination of exposure, sensitivity and adaptive capacity indices. The maps are displayed in five classes of vulnerability: very high, high, medium, low and very low.

**Key words:** Exposition, sensitivity, vulnerability, adaptive capacity, climate change, México.

## 1. INTRODUCCIÓN

La vulnerabilidad y la capacidad adaptativa son multidimensionales, complejas y no son fenómenos de observación directa (Downing et al., 2001), de ahí la dificultad en su evaluación. Sin embargo, se tienen estudios que han abordado esta problemática desde diferentes enfoques. Por ejemplo, se ha evaluado la vulnerabilidad a un determinado estresor, como la elevación del nivel del mar (Nicholls, 2002), la sequía (Fowler et al., 2003) o tormentas tropicales (Connor and Hiroki, 2005). También en evaluación de impactos del cambio climático (Barr et al., 2010). En este enfoque tradicional, se analiza el estresor y su correspondiente impacto, para examinar el sistema que es estresado y su capacidad de respuesta (Luers et al., 2003). Medir la vulnerabilidad también se ha hecho a partir de considerar el

sistema impactado, por ejemplo la vulnerabilidad social (Cutter et al., 2009; Guillaumont and Simonet, 2011), la vulnerabilidad institucional (Aall and Norland, 2005), vulnerabilidad y gobernanza (Davis et al., 2010) y vulnerabilidad enfocada a adaptación (Mitchell et al., 2010). Estos estudios provienen de diferentes escalas y han tenido dos propósitos principales: informar sobre opciones de mitigación y explorar cuantitativamente quién se adapta, cómo y porqué (Below et al., 2012).

Localmente se ha abordado el tema de vulnerabilidad aplicado a un sector de interés como lo es la agricultura (Wheeler, 2011). Sin embargo, al analizar el cambio climático creemos que primero es necesario evaluar el sector de interés y sus posibles impactos, a escala nacional. La escala nacional es apropiada para generar y dirigir información dado que la usan los gobiernos para definir políticas. Después de analizar el contexto nacional será posible dirigir la atención localmente. Principalmente porque se identifican las regiones, a escala sub nacional, donde se encuentra la población más vulnerable y las variables que los llevan a estar en esa condición. Si primero se identifican las regiones y las variables socioeconómicas o ambientales es posible que sirvan como punto de partida para comprender y atender los procesos que causan vulnerabilidad localmente (O'Brien et al., 2004). Conociendo más a fondo la vulnerabilidad de un sector y su distribución espacial dará paso a orientar políticas hacia ciertos aspectos de una estrategia nacional de desarrollo, hacia un área geográfica o hacia algún grupo de población urgente de atender (PNUD, 2005). En nuestro estudio seleccionamos variables sociales, económicas y ambientales que determinan la producción agrícola de México y en general de cualquier país. Nuestro objetivo fue aplicar un método de integración para obtener el índice que aquí llamamos de "vulnerabilidad al cambio climático". Como caso de estudio tomamos el sector agrícola, que se prevé a nivel mundial será de los más afectados por cambio climático, pero creemos que es posible acotarlo a cada rama del sector económico de un país. La información provee entonces una evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático en el sector agrícola a nivel nacional, con información municipal y representa la puerta para futuros estudios más detallados de exploración de fuentes de vulnerabilidad y de capacidad adaptativa.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se decidió que la selección de información debía ser de fácil acceso, disponible a todo público y que además cumpliera el requisito de escala municipal. La principal fuente de información en el país es el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), que es el organismo federal encargado del acopio y procesamiento de información en diversos temas. Tiene a su cargo aplicar los censos y conteos de población, censos económicos, agrícolas y generar estadísticas socioeconómicas y ambientales para el país. Además, existen otros organismos federales encargados de obtener y procesar información de acuerdo a su naturaleza y objeto de trabajo. Ejemplos son el Consejo Nacional de Población (CONAPO), la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Secretaría de Economía, entre otros. Para motivos del presente trabajo la búsqueda de información fue para todo el país, en escala municipal y bajo la premisa de ser información primaria, es decir, sin haber sido procesada estadísticamente reflejando algún índice compuesto.

Los indicadores seleccionados fueron 60, distribuidos de la siguiente manera: 16 para caracterizar la exposición, 23 para sensibilidad y 21 para capacidad adaptativa. De los indicadores seleccionados, 48 corresponden a información considerada base mientras que 10 son resultado de considerar dos modelos de cambio climático y dos son proyecciones socioeconómicas a futuro. A partir de lo anterior se procedió al acopio y procesamiento de las bases de datos para la construcción de los subíndices e índices.

### 2.1. Exposición

La exposición se refiere al grado de estrés climático sobre una unidad particular de análisis, puede estar representada por cambios en las condiciones climáticas o bien por cambios en la variabilidad

climática, donde se incluye la magnitud y frecuencia de eventos extremos. Con el objetivo de construir un índice capaz de comparar a los municipios de México en cuanto a su exposición climática y al cambio climático, se optó por la construcción de un índice sintético que fuera capaz de incorporar los indicadores seleccionados. Para ello, se consideraron tres grupos de indicadores:

- Frecuencia de eventos extremos. Una amenaza a la actividad agrícola en el país es la alta variabilidad climática que históricamente ha incluido eventos de fenómenos extremos. En regiones con alta frecuencia de eventos como sequías e inundaciones, la producción agrícola se encuentra más expuesta. Se consideró la amenaza a sequía, reporte de inundaciones, heladas y granizadas, deslizamientos de tierra, lluvias intensas y otros tipos de fenómenos naturales.
- Problemática ambiental. Incluye la presencia de cinco problemas ambientales (tala ilegal, incendios, plagas y enfermedades, pérdida de biodiversidad y contaminación de agua), porcentaje de la superficie municipal sin vegetación, porcentaje de unidades de producción que reportaron pérdidas por cuestiones climáticas y también porcentaje de unidades de producción con pérdidas por falta de fertilidad en los suelos.
- Cambios modelados en el clima. Se miden los cambios modelados por cambio climático que las regiones del país podrán experimentar, entre más adversos sean los cambios mayor dificultad se experimentará para poder ajustar la producción agrícola. Incluyen temperatura y precipitación media anuales, así como las proyecciones futuras en temperatura y precipitación para los modelos HADGEM1 y MPI ECHAM5, bajo el escenario A2 para el año 2030 (Fernández et al., 2009).

## 2.2. Sensibilidad

La sensibilidad es el grado en el que un sistema es potencialmente modificado o afectado por un disturbio, interno, externo o un grupo de ellos. La medida determina el grado en el que un sistema se puede ver afectado por un estrés, son las condiciones humanas y ambientales que pueden empeorar o disminuir los impactos por un determinado fenómeno. La evaluación de la sensibilidad se agrupó en:

- Población. Se enfoca en evaluar las características de los grupos humanos, en cuanto a sus particularidades de sensibilidad. Incluye el porcentaje de hogares con jefatura femenina, porcentaje en hogares indígenas, porcentaje con pobreza alimentaria y en actividades primarias.
- Salud. Permite evaluar el acceso a servicios de salud y la capacidad de respuesta ante problemas sanitarios, dado que un sistema con fortaleza será menos sensible ante cambios en alguna variable climática. Se consideró al porcentaje de menores de cinco años con baja talla al nacer, porcentaje con bajo peso y porcentaje de la población sin acceso a servicios de salud.
- Agrícola. Son considerados los elementos sensibles de la evaluación o el sistema evaluado. Evalúa el estado de potencial productivo de la tierra, dado que algún cambio desfavorable en ellos significará una reducción en la capacidad agrícola productiva. Se tomaron los indicadores de porcentaje de superficie en actividades primarias, porcentaje de unidades de producción que no reportaron tener riego, rendimientos promedio para maíz de temporal, probabilidad de bajo rendimiento en el cultivo de maíz, frijol, sorgo y cebada, así como aptitud para la agricultura, para la ganadería y aptitud para el crecimiento de especies forestales. Sobre las aptitudes también se incluyeron las proyecciones de acuerdo a los dos modelos de cambio climático antes señalados.

## 2.3. Capacidad adaptativa

Se refiere a la capacidad de un sistema de enfrentar los efectos del cambio climático, al potencial de implementar medidas que ayuden a disminuir los posibles impactos identificados. La capacidad adaptativa de una sociedad refleja su capacidad de modificar sus características o comportamientos

para enfrentar de una mejor manera o anticiparse a los factores que impulsan el cambio. Se consideraron los siguientes:

- Capital humano. Se evalúan las condiciones de vida de las personas como una medida de capacidad para hacer frente a vulnerabilidades. Se incluye el porcentaje de población mayor de 15 años que sabe leer, asistencia a escuelas por población de seis a 24 años, tasa de alfabetización reportada y proyección de la población por municipio para el año 2030.
- Capital social. Se representa por la organización de los productores, donde las redes conformadas permiten el acceso a información, recursos y créditos. Además, facilitan la cooperación en temas colectivos, donde la adopción de tecnologías puede ayudar a hacer frente a los cambios. Está representado por seis indicadores: porcentaje de unidades de producción organizadas, porcentaje de unidades sin litigios por la tierra, porcentaje de unidades que señalan no faltarles capacitación técnica, unidades de producción sin problemas de acreditación de la propiedad de la tierra, existencia de unidad de protección civil así como de un mapa que muestre las zonas amenazadas a peligros naturales en un municipio.
- Capital financiero. Proveen información general de la situación económica de los municipios, buscando identificar las regiones que se encuentran mejor preparadas para responder a adversidades. Fueron ocho indicadores los considerados: acceso a créditos, remesas del extranjero, ahorro, crédito y seguro, promedio de apoyos gubernamentales per cápita en un municipio, ingreso y producto interno bruto año 2000 y proyección al 2030.
- Capital natural. Es una medida del grado de riqueza de ecosistemas y sus funciones, así como de las acciones para incrementar su superficie. Se incluyeron tres indicadores: superficie con bosques y/o selvas, superficie reforestada y recarga de acuíferos.

#### 2.4. Tratamiento de los datos

Se creó una base de datos con todos los indicadores seleccionados. Para los indicadores de exposición y sensibilidad se prestó atención a que el valor máximo de cada variable reflejara la máxima severidad. A diferencia, para capacidad de adaptación el valor máximo refleja el máximo potencial en capacidad adaptativa. Todos los valores de los indicadores fueron estandarizados para eliminar las diferentes escalas y hacerlos comparables entre sí, de acuerdo con:

$$Z_v = (X_i - X) / DS \quad (1)$$

Donde  $Z$  representa el valor estandarizado de la variable  $v$ ,  $X_i$  el valor observado de  $v$ ,  $X$  el valor medio del conjunto de valores  $i$ , y  $DS$  la desviación estándar del conjunto de valores  $i$ . Con los datos estandarizados se procedió al cálculo de cada uno de los subíndices de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa. El proceso seguido fue sumar algebraicamente los valores estandarizados de los indicadores de cada subíndice, después, se estimó la vulnerabilidad mediante la fórmula 3. Una vez calculados los subíndices, fueron normalizadas sus distancias a valores que recorren de 0 a 100, de acuerdo con la fórmula:

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

En donde  $I$  es el subíndice de la variable  $P$ ,  $I_{obs}$  es el valor del subíndice para un municipio dado,  $\text{mínimo}I$  es el valor mínimo observado del conjunto de valores de  $IP$  y  $\text{máximo}I$  el valor máximo observado del mismo conjunto de valores  $IP$ . En un paso posterior fue posible obtener el puntaje final en porcentaje al multiplicar los valores normalizados por cien.

$$\text{Vulnerabilidad} = (\text{exposición} + \text{sensibilidad}) - \text{capacidad de adaptación} \quad (3)$$

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa

En la integración del índice de vulnerabilidad se obtuvieron correlaciones positivas de 0.73 con el índice de exposición y 0.75 con el índice de sensibilidad. En el caso del índice de capacidad adaptativa la correlación fue negativa con valor de -0.73. Lo anterior se explica dado que los dos primeros, exposición y sensibilidad, al incrementar su magnitud aumentan la vulnerabilidad del municipio. Por su parte, la capacidad adaptativa es reflejo del potencial que guarda el municipio y su población de hacer frente a los cambios, por lo tanto, a mayor capacidad tiende a disminuir su vulnerabilidad (Figura 1). Aunque para los tres ejes las correlaciones son significativas al ser mayores de 0.7, el grado de ajuste a un comportamiento lineal para los 2455 municipios del país ( $R^2$ ) es de 0.53 para el índice de exposición, en sensibilidad equivalente a 0.55 y en capacidad adaptativa es de 0.53.

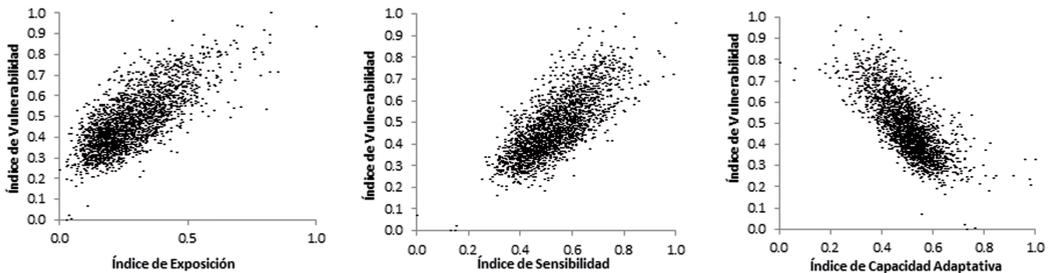


FIG. 1: *Dispersión y correlación para subíndices de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación, en el índice de vulnerabilidad.*

En el caso de exposición y sensibilidad, como ya se ha mencionado, tienden a incrementar la vulnerabilidad conforme aumenta la severidad de cada una. Así por ejemplo, en exposición se observa el menor valor que define la vulnerabilidad de algún municipio en el país. Si se tiene un valor de 5.5 en exposición se espera un grado de vulnerabilidad muy baja, 28.0 para el grado medio y 62.2 para la categoría de muy alta vulnerabilidad (Tabla 1). Si la exposición fue evaluada a partir de fenómenos extremos, problemática ambiental y valores climáticos, entonces lo anterior sugiere que basta un cambio en la presencia u ocurrencia de alguno de ellos para elevar la vulnerabilidad del municipio. Incluso, desde un valor de 62.2 en exposición se espera muy alta vulnerabilidad, situación que no ocurre con sensibilidad (72.3). En este caso de sensibilidad, se requieren cambios más significativos en sus variables para definir algún grado de vulnerabilidad. En la clase muy baja vulnerabilidad se observa un valor de 25, poco más del doble (54) para la categoría media y casi el triple (72.3) para la categoría de muy alta vulnerabilidad. La capacidad adaptativa por su parte tiende a disminuir la vulnerabilidad, entre mayor es su valor se espera aumento en capacidad de adaptarse y en consecuencia menor vulnerabilidad. En el grado de vulnerabilidad muy alta se tiene una capacidad de adaptación de 35.4, en media es de 49.6 y en muy baja vulnerabilidad de 68.9, casi el doble que la primera. Los cuatro capitales estudiados (humano, social, financiero y natural) presentan en su conjunto el nivel inferior más alto (35.4) de los tres componentes de vulnerabilidad (exposición 5.5 y sensibilidad 25).

A mayor detalle y dentro de la evaluación de la exposición, el conjunto de indicadores que mejor ayuda a explicar la vulnerabilidad es el sub índice climático con una correlación de 0.61. Le sigue el conjunto de indicadores de problemática ambiental (0.49) y los de fenómenos extremos (0.05). En el caso de sensibilidad, el sub índice de población es el que presenta mayor correlación con vulnerabilidad base (0.72), después el sub índice de salud (0.59) y por último el índice agrícola (0.20). Respecto a los capitales evaluados en capacidad de adaptación, el sub índice humano y financiero son prácticamente similares (-0.60 y -0.59, respectivamente), seguido por el sub índice social (-0.14) y el sub índice natural (-0.11).

Grado de Vulnerabilidad	Exposición	Sensibilidad	Capacidad Adaptación
Muy Baja	5.5	25.0	68.9
Baja	18.8	43.3	57.3
Media	28.0	54.0	49.6
Alta	41.8	65.5	39.8
Muy Alta	62.2	72.3	35.4

TABLA 1: Participación promedio (%) de índices de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación según grado de vulnerabilidad base.

En resumen, los grupos de indicadores que mejor correlación mostraron en la caracterización de la vulnerabilidad son, para exposición el clima y los problemas ambientales. En sensibilidad la población y la salud. En capacidad adaptativa los indicadores de la dimensión humana y financiera. Por su parte, los que menos correlación mostraron fueron, para exposición la frecuencia de fenómenos extremos, para sensibilidad las aptitudes agrícolas y para capacidad de adaptación la dimensión de organización social y el capital natural.

### 3.2. Índice de Vulnerabilidad

Toda vez que se obtuvieron los índices para cada dimensión de la vulnerabilidad se integraron bajo la diferencia de la suma de exposición y sensibilidad menos la capacidad adaptativa. La distribución espacial de la vulnerabilidad bajo este método se presenta en la figura 2. La vulnerabilidad fue clasificada en cinco grupos: muy baja (0-20), baja (21-40), media (41-60), alta (61-80) y muy alta (81-100). Con grado de vulnerabilidad muy alta se definen 39 municipios (1.6%) y con alta 405, o bien el 16.5 por ciento de los municipios del país. Para la categoría media vulnerabilidad hay 1239 municipios (50.5%), y en los grados baja y muy baja vulnerabilidad 764 (31%) y 8 (0.4%) municipios, respectivamente. Si se agrupan las categorías con alta y muy alta vulnerabilidad, entonces se refieren a 444 municipios o el 18.1 por ciento del país.

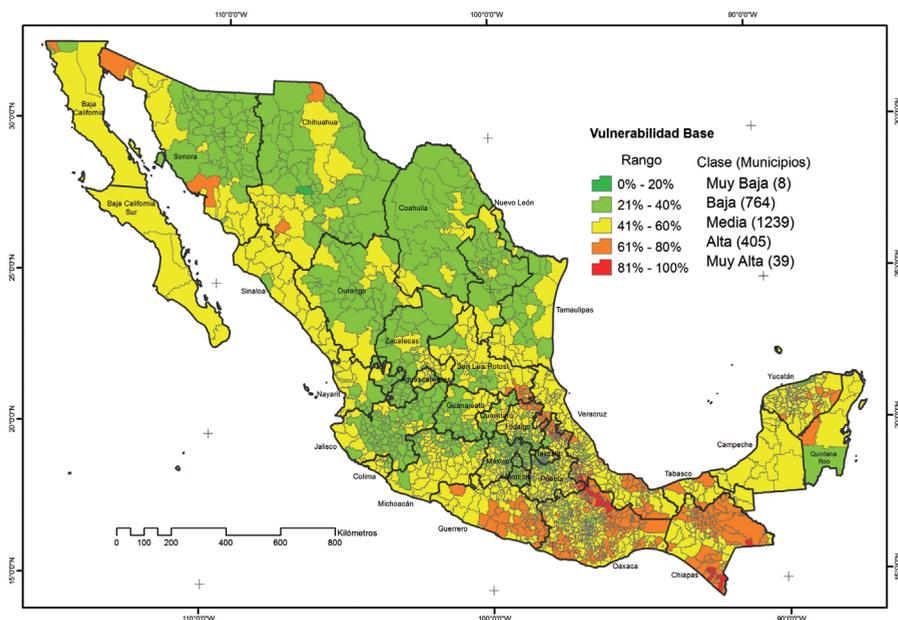


FIG. 2: Índice de vulnerabilidad al cambio climático por municipios.

Poco más del 18 por ciento de los municipios del país se definen con alta y muy alta vulnerabilidad. Si se considera la población al año 2005, entonces se tiene que el 12.5 por ciento de los habitantes del país se encuentran en esta condición de vulnerabilidad (poco más de 12.5 millones). Con grado de vulnerabilidad media se encuentra el 48.5 por ciento de la población, poco más de lo 49 millones de personas. En los dos últimos grados de vulnerabilidad, bajo y muy bajo, se encuentran el 39 por ciento de los habitantes (más de 39.5 millones de personas). Si se integran los grados de media, alta y muy alta vulnerabilidad, entonces más de 62.5 millones de personas (61%) en el país son vulnerables.

### 3.3. Grados de vulnerabilidad en México

A partir de los resultados obtenidos se presenta a continuación una descripción de las principales características que definen los cinco grados de vulnerabilidad en los municipios del país:

– **Muy alta vulnerabilidad.** En estos municipios la temperatura promedio en el periodo mayo a agosto es mayor de 23.5°C mientras que la precipitación es menor a los 111 milímetros en el mismo periodo. En el periodo comprendido entre 1980 y el año 2000 se observaron más de 10 inundaciones, más de siete heladas o granizadas, más de dos lluvias fuertes e incluso también más de tres eventos de deslizamientos de tierra. También son municipios que tienen un 18 por ciento o más de su superficie sin algún tipo de vegetación y más del 67 por ciento de sus unidades de producción han reportado pérdidas por cuestiones climáticas y más del 30 por ciento reporta pérdidas por falta de fertilidad en sus suelos. La superficie municipal que se dedica al sector primario es mayor al 70 por ciento. Respecto a la población, el porcentaje indígena es de 75 por ciento o mayor en el municipio, su población se encuentra en pobreza alimentaria arriba del 60 por ciento y poco más del 23 por ciento de la población municipal se dedica a actividades primarias. La capacidad adaptativa está definida por tener 67 por ciento o menos de su población que sabe leer y el 64 por ciento o menos de sus jóvenes asiste a la escuela. Menos del 13 por ciento de su población tiene ingreso mayor a dos salarios mínimos, menos del 15 por ciento de las unidades de producción cuentan con algún crédito o seguro y los apoyos de gobierno federal son menores a mil pesos por productor. Son municipios con menos de 400 hectáreas de bosques o selvas y donde se reforestaron menos de diez hectáreas en el año 2005. Los escenarios futuros de cambio climático señalan un aumento de más de 2°C en el periodo estudiado y una reducción mayor a los 50 milímetros. La proyección de población para los municipios es de incremento en más del 15 por ciento.

– **Alta vulnerabilidad.** En estos municipios la temperatura promedio en el periodo mayo – agosto es de 23°C a 23.5°C mientras que la precipitación va de 111 a los 118 milímetros en el mismo periodo. En el periodo comprendido entre 1980 y el año 2000 se observaron más de seis inundaciones, más de dos heladas o granizadas, más de dos lluvias fuertes e incluso también más de un eventos de deslizamientos de tierra. También son municipios que tienen un 15 por ciento o más de su superficie sin algún tipo de vegetación y más del 56 por ciento de sus unidades de producción han reportado pérdidas por cuestiones climáticas y más del 25 por ciento reporta pérdidas por falta de fertilidad en sus suelos. La superficie municipal que se dedica al sector primario es mayor al 65 por ciento. Respecto a la población, el porcentaje indígena es de 60 por ciento o mayor en el municipio, su población se encuentra en pobreza alimentaria arriba del 55 por ciento y poco más del 19 por ciento de la población municipal se dedica a actividades primarias. La capacidad adaptativa está definida por tener 70 por ciento o menos de su población que sabe leer y el 64 por ciento o menos de sus jóvenes asiste a la escuela. Hasta un 15 por ciento de su población tiene ingreso mayor a dos salarios mínimos, 20 por ciento de las unidades de producción cuentan con algún crédito o seguro y los apoyos de gobierno federal son de aproximadamente 1.3 miles de pesos por productor. Son municipios con hasta 800 hectáreas de bosques o selvas y donde reforestaron, en promedio, 30 hectáreas en el año 2005. Los escenarios futuros de cambio climático señalan un aumento de entre 1.5 y 2°C en el periodo

estudiado y una reducción de entre 20 y 50 milímetros. La proyección de población para los municipios es de incremento en más de 10 a 15 por ciento.

– **Media vulnerabilidad.** En estos municipios la temperatura promedio en el periodo mayo – agosto es de 22.5°C a 23°C mientras que la precipitación va de 118 a los 143 milímetros en el mismo periodo. En el periodo comprendido entre 1980 y el año 2000 se observaron más de dos inundaciones, más de una helada o granizada, más de una lluvias fuertes y un evento de deslizamientos de tierra. También son municipios que tienen un 10 por ciento o más de su superficie sin algún tipo de vegetación y más del 45 por ciento de sus unidades de producción han reportado pérdidas por cuestiones climáticas y más del 14 por ciento reporta pérdidas por falta de fertilidad en sus suelos. La superficie municipal que se dedica al sector primario es del 50 por ciento. Respecto a la población, el porcentaje indígena es de 23 a 60 por ciento en el municipio, su población se encuentra en pobreza alimentaria del 30 al 55 por ciento y poco más del 13 por ciento de la población municipal se dedica a actividades primarias. La capacidad adaptativa está definida por tener 82 por ciento de su población que sabe leer y el 64 por ciento de sus jóvenes asiste a la escuela. Hasta un 35 por ciento de su población tiene ingreso mayor a dos salarios mínimos, 35 por ciento de las unidades de producción cuentan con algún crédito o seguro y los apoyos de gobierno federal son de aproximadamente 1.6 miles de pesos por productor. Son municipios con hasta 1000 hectáreas de bosques o selvas y donde reforestaron, en promedio, 50 hectáreas en el año 2005. Los escenarios futuros de cambio climático señalan un aumento de entre 1.3 y 1.5°C en el periodo estudiado y una reducción de entre 15 y 20 milímetros. La proyección de población para los municipios es de incremento en menos del 10 por ciento.

– **Baja vulnerabilidad.** En estos municipios la temperatura promedio en el periodo mayo – agosto es de 21°C a 22.5°C mientras que la precipitación va de 143 a los 400 milímetros en el mismo periodo. En el periodo comprendido entre 1980 y el año 2000 se observaron una inundación, una helada o granizada, una lluvia fuerte y uno o menos de un evento de deslizamientos de tierra. También son municipios que tienen menos del 10 por ciento de su superficie sin algún tipo de vegetación, el 35 por ciento de sus unidades de producción han reportado pérdidas por cuestiones climáticas y más del 8 por ciento reporta pérdidas por falta de fertilidad en sus suelos. La superficie municipal que se dedica al sector primario es del 40 por ciento. Respecto a la población, el porcentaje indígena es de 4 a 20 por ciento en el municipio, su población se encuentra en pobreza alimentaria del 20 al 30 por ciento y poco más del 10 por ciento de la población municipal se dedica a actividades primarias. La capacidad adaptativa está definida por tener 90 por ciento de su población que sabe leer y más del 64 por ciento de sus jóvenes asiste a la escuela. Hasta un 50 por ciento de su población tiene ingreso mayor a dos salarios mínimos, 45 por ciento de las unidades de producción cuentan con algún crédito o seguro y los apoyos de gobierno federal son de aproximadamente 3.2 miles de pesos por productor. Son municipios con hasta 6000 hectáreas de bosques o selvas y donde reforestaron, en promedio, 160 hectáreas en el año 2005. Los escenarios futuros de cambio climático señalan un aumento de entre 1.3 y 1.5°C en el periodo estudiado y una reducción de entre 15 y 20 milímetros. La proyección de población para los municipios es de reducir hasta el 10 por ciento.

– **Muy baja vulnerabilidad.** En estos municipios la temperatura promedio en el periodo mayo – agosto es menor a 17.7°C mientras que la precipitación puede ser mayor a los 400 milímetros en el mismo periodo. En el periodo comprendido entre 1980 y el año 2000 se observaron una inundación, una helada o granizada, una lluvia fuerte y uno o menos eventos de deslizamientos de tierra. También son municipios que tienen menos del 5 por ciento de su superficie sin algún tipo de vegetación, menos del 30 por ciento de sus unidades de producción han reportado pérdidas por cuestiones climáticas y menos del 8 por ciento reporta pérdidas por falta de fertilidad en sus suelos. La superficie municipal que se dedica al sector primario es menor del 40 por ciento. Respecto a la población, el porcentaje indígena es menor de 4 por ciento en el municipio, su población en pobreza alimentaria es menor del

10 por ciento y menos del 10 por ciento de la población municipal se dedica a actividades primarias. La capacidad adaptativa está definida por tener más del 90 por ciento de su población que sabe leer y más del 70 por ciento de sus jóvenes asiste a la escuela. Más del 50 por ciento de su población tiene ingreso mayor a dos salarios mínimos, más del 45 por ciento de las unidades de producción cuentan con algún crédito o seguro y los apoyos de gobierno federal son superiores a los 3 mil pesos por productor. Son municipios con más de 6000 hectáreas de bosques o selvas y donde reforestaron, en promedio, más de mil hectáreas en el año 2005. Los escenarios futuros de cambio climático señalan un aumento igual o menor de 1.3°C en el periodo estudiado y una reducción menor de 15 milímetros. La proyección de población para los municipios es de reducir hasta el 10 por ciento.

#### 4. CONCLUSIONES

Se construyó un índice de vulnerabilidad con correlaciones positivas con el subíndice de exposición y el subíndice de sensibilidad; mientras que con el índice de capacidad adaptativa fue negativa dado que supone reducción de vulnerabilidad. El grado de ajuste del índice de vulnerabilidad a un comportamiento lineal ( $R^2$ ) fue de 0.53 para el índice de exposición, 0.55 en sensibilidad y en capacidad adaptativa es de 0.53. Los indicadores utilizados (60) contribuyeron en conformar el índice, aunque algunos de ellos podrían omitirse dado su bajo aporte. Fue posible identificar las regiones donde viven los grupos de personas más vulnerables al cambio climático en México. En particular, los estados del sur sureste del país (Oaxaca, Chiapas, Veracruz) y algunos municipios de la región norte (Chihuahua) son lo que resaltan por su elevada vulnerabilidad al cambio climático.

#### REFERENCIAS

- Aall, C., Norland, I. (2005). *Indicators for Local-Scale Climate Vulnerability Assessments*. Western Norway Research Institute, University of Oslo, p. 131.
- Barr, R., Fankhauser, S. and Hamilton, K. (2010). Adaptation Investments: a resource allocation framework. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 15, 843-858.
- Below, T.B., Mutabazi, K.D., Kirschke, D., Franke, C., Sieber, S., Siebert, R., Tscherning, K. (2012). Can farmers' adaptation to climate change be explained by socio-economic household-level variables? *Global Environmental Change* 22, 223-235.
- Connor, R.F., Hiroki, K. (2005). Development of a method for assessing flood, vulnerability. *Water Science and Technology*. *Water Science and Technology* 51, 61-67.
- Cutter, S., Emrich, C., Webb, J., Morath, D. (2009). *Social Vulnerability to Climate Variability Hazards: A Review of the Literature*. Oxfam America, p. 44.
- Davis, K., Kingsbury, B., Merry, S. (2010). *Indicators as technology of global governance*. Global Administration Law Series. IILI Working Paper, p. 60.
- Downing, T.E., Butterfield, R., Cohen, S., Huq, S., Moss, R., Rahman, A., Sokoma, Y., Stephen, L. (2001). *Vulnerability indices: climate change impacts and adaptations*. United Nations, New York, USA.
- Fernández, E.A., Zavala, H.J. y Romero, C.R., (2009). *Atlas Climático Digital de México*. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, México, DF. En: [www.atmosfera.unam.mx](http://www.atmosfera.unam.mx)
- Fowler, H.J., Kilsby, C.G., O'Connell, P.E. (2003). Modeling the Impacts of climatic change and variability on the reliability, resilience and vulnerability of a water resource system. *Water Resources Research* 39, 1222-1224.
- Guillaumont, P., Simonet, C. (2011). *Designing an index of structural vulnerability to climate change*. FERDI - Fondation pour les études et recherches sur le Développement International, France, p. 42.
- Luers, A.L., Lobell, D.B., Skar, L.S., Addams, C.L., Matson, P.A. (2003). A method for quantifying vulnerability, applied to the agricultural system of the Yaqui Valley, México. *Global Environmental Change* 13, 255-267.
- Mitchell, T., Aalst, M.v., Villanueva, P. (2010). *Assessing Progress on Integrating Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation in Development Processes*. Strengthening Climate Resilience p. 31.
- Nicholls, R. (2002). Analysis of global impacts of sea-level rise: a case study of flooding. *Physics and Chemistry of the Earth* 27, 1455-1466.

- O'Brien, K.L., Leichenko, R.M., Kelkar, U., Venema, H.M., Aandahl, G., Tompkins, H., Javed, A., Bhadwal, S., Barg, S., Nygaard, L., West, J. (2004). Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization in India. *Global Environmental Change* 14, 303-313.
- PNUD. (2005). *Marco de políticas de adaptación al cambio climático*. PNUD - GEF, New York, USA.
- Wheeler, D. (2011). *Quantifying Vulnerability to Climate Change: Implications for Adaptation Assistance*. Center for Global Development, Washington, DC. P.53.