



**UNIVERSIDAD JUÁREZ AUTÓNOMA DE TABASCO**  
**División Académica de Ciencias Biológicas**



**“VULNERABILIDAD DEL SECTOR AGRÍCOLA ANTE LOS  
EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL MUNICIPIO DE  
PALENQUE, CHIAPAS”**

**Trabajo recepcional, en la modalidad de:**

Tesis de Maestría

**Para obtener el grado de:**

Maestría en Ciencias Ambiental

**Presenta:**

Biol. Milca Mayo Mendoza

**Directoras:**

Dra. Lilia María Gama Campillo

Dra. Ena Edith Mata Zayas

Villahermosa, Tabasco, México

Noviembre, 2021



**UNIVERSIDAD JUÁREZ  
AUTÓNOMA DE TABASCO**

"ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE"



**DIVISIÓN ACADÉMICA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS  
DIRECCIÓN**

OCTUBRE 01 DE 2021

**C. MILCA MAYO MENDOZA  
PAS. DE LA MAESTRIA EN CIENCIAS AMBIENTALES  
P R E S E N T E**

En virtud de haber cumplido con lo establecido en los Arts. 80 al 85 del Cap. III del Reglamento de titulación de esta Universidad, tengo a bien comunicarle que se le autoriza la impresión de su Trabajo Recepcional, en la Modalidad de Tesis de Maestría en Ciencias Ambientales titulado: **"VULNERABILIDAD DEL SECTOR AGRÍCOLA ANTE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL MUNICIPIO DE PALENQUE, CHIAPAS"**, asesorado por la Dra. Lilia María Gama Campillo y Dra. Ena Edith Mata Zayas sobre el cual sustentará su Examen de Grado, cuyo jurado integrado por la Dra. Carolina Zequeira Larios, Dr. Miguel Ángel Díaz Perera, Dra. Lilia María Gama Campillo, Dra. María Elena Macías Valadez Treviño y Dra. Ena Edith Mata Zayas.

Por lo cual puede proceder a concluir con los trámites finales para fijar la fecha de examen.

Sin otro particular, me es grato enviarle un cordial saludo.

**ATENTAMENTE  
ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE**

  
**DR. ARTURO GARRIDO MORA  
DIRECTOR**

**U.J.A.T.  
DIVISIÓN ACADÉMICA  
DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**



**DIRECCIÓN**

C.c.p.- Expediente del Alumno.  
C.c.p.- Archivo

## CARTA AUTORIZACIÓN

El que suscribe, autoriza por medio del presente escrito a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco para que utilice tanto física como digitalmente el Trabajo Recepcional en la modalidad de Tesis de Maestría denominado: **“VULNERABILIDAD DEL SECTOR AGRÍCOLA ANTE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL MUNICIPIO DE PALENQUE, CHIAPAS”**, de la cual soy autor y titular de los Derechos de Autor.

La finalidad del uso por parte de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco el Trabajo Recepcional antes mencionada, será única y exclusivamente para difusión, educación y sin fines de lucro; autorización que se hace de manera enunciativa más no limitativa para subirla a la Red Abierta de Bibliotecas Digitales (RABID) y a cualquier otra red académica con las que la Universidad tenga relación institucional.

Por lo antes manifestado, libero a la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco de cualquier reclamación legal que pudiera ejercer respecto al uso y manipulación de la tesis mencionada y para los fines estipulados en éste documento.

Se firma la presente autorización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco el día 01 de Septiembre del dos mil veintiuno.

**AUTORIZO**



---

**MILCA MAYO MENDOZA**

## AGRADECIMIENTOS

Al CONACYT, por la beca otorgada para la realización de mis estudios de maestría.

A la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco por darme la oportunidad de formarme como profesionista.

Al laboratorio de Ecología del Paisaje y Cambio Global, por la facilidad de utilizar sus instalaciones.

A mi comité tutorial, por su dedicación en la revisión y sus observaciones para enriquecer y mejorar esta investigación.

A mis asesoras la Dra. Lily y Dra. Ena, por su apoyo y consejos para orientar este trabajo de investigación.

A las Dra. Carolina, por contribuir en mi formación profesional y sus consejos para la realización de este trabajo. Gracias por su tiempo.

A Hilda y Ricardo por su apoyo y paciencia en compartirme sus conocimientos en el proceso de este proyecto.

Al Dr. Ramiro Ahumada, que desde a distancia me compartió sus conocimientos, sus sugerencias y observaciones para llevar a cabo este proyecto. Gracias por brindarme su tiempo.

A mis compañeros de maestría por su amistad.

A Pablo, mi compañero por acompañarme y apoyarme en este caminar.

A mis padres, por darme lo mejor: alas para volar.

Al creador, por darme sabiduría y fortaleza para seguir adelante con este proyecto de vida.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

## DEDICATORIA

*En memoria de mi hermana, la Chapis, por mostrarme y conducirme en este camino con su ejemplo.*

*Kuxulety tyi k-pusik'al*

Descansa en paz

## RESUMEN

Las consecuencias del Cambio Climático antropogénico son más evidentes en todo el mundo. La agricultura es uno de los sectores vulnerables ante este fenómeno, debido a que enfrentan cambios en las variables climáticas que condicionan su desarrollo: la temperatura y la precipitación. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar el índice de vulnerabilidad del cultivo de maíz ante escenarios de cambio climático en el municipio de Palenque, Chiapas, siguiendo la propuesta metodológica de Ahumada-Cervantes *et al.* (2017). Se obtuvieron los siguientes resultados, de los 30 Áreas Geostadísticas Básicas (AGEBs) evaluados, cinco mostraron muy alta vulnerabilidad, nueve obtuvieron alta vulnerabilidad, once se clasificaron con vulnerabilidad media, tres con baja vulnerabilidad y dos exhibieron muy baja vulnerabilidad. Las variables que contribuyeron a explicar la vulnerabilidad (muy alta, alta y media) de los AGEBS fueron: el conjunto de variables de la categoría de población, de la agricultura y las económicas; en la categoría de problemas ambientales variables como la pérdida de cosechas por factores climáticos y de fertilidad del suelo; bajo capital humano y de infraestructura. Además, la vulnerabilidad agrícola en el municipio de Palenque se explica en orden de importancia, por la sensibilidad, seguido de la exposición y la capacidad adaptativa. Siendo así, el 43.3% de la población rural se encontraba viviendo en AGEBS muy sensibles ante el cambio climático, el 9.3% en AGEBS muy expuestos y el 11.3% en AGEBS de muy baja capacidad para hacer frente a los impactos del cambio climático. Con este análisis el estudio contribuye al conocimiento de vulnerabilidad agrícola a nivel local y su pertinencia para la elaboración de planes de acción con una herramienta que puede ser actualizada al generarse nueva información y ser un auxiliar para proponer las medidas de adaptación a fin de que la población esté preparada para enfrentar las nuevas condiciones impuestas por el cambio climático.

## ABSTRACT

The consequences of anthropogenic Climate Change are more evident around the world. Agriculture is one of the vulnerable sectors to this phenomenon, due to the fact that they face changes in the climatic variables that condition their development: temperature and precipitation. The objective of this work was to evaluate the vulnerability index of the corn crop to climate change scenarios in the municipality of Palenque, Chiapas, following the methodological proposal of Ahumada-Cervantes et al., (2017). The following results were obtained, of the 30 Basic Geostatistical Areas (AGEBs) evaluated, five showed very high vulnerability, nine obtained high vulnerability, eleven were classified with medium vulnerability, three with low vulnerability and two exhibited very low vulnerability. The variables that contributed to explain the vulnerability (very high, high and medium) of the AGEBS were: the set of variables of the population category, agriculture and economic; in the category of variable environmental problems such as crop failure due to climatic factors and soil fertility; low infrastructure and human capital. Furthermore, agricultural vulnerability in the municipality of Palenque is explained in order of importance, by sensitivity, followed by exposure and adaptive capacity. Thus, 43.3% of the rural population was living in AGEBS very sensitive to climate change, 9.3% in highly exposed AGEBS and 11.3% in AGEBS with very low capacity to cope with the impacts of climate change. With this analysis, the study contributes to the knowledge of agricultural vulnerability at the local level and its relevance for the elaboration of action plans with a tool that can be updated when new information is generated and be an aid to propose adaptation measures so that the population is prepared to face the new conditions imposed by climate change.

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN GENERAL .....	1
CAPITULO I. ANTECEDENTES .....	3
Cambio climático y sus impactos .....	3
Estudios de vulnerabilidad al cambio climático .....	5
Vulnerabilidad al cambio climático en México.....	7
La agricultura ante el Cambio Climático en México.....	8
JUSTIFICACIÓN.....	10
HIPÓTESIS.....	12
OBJETIVOS .....	12
REFERENCIAS.....	13
CAPITULO II. VULNERABILIDAD DEL SECTOR AGRÍCOLA ANTE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL MUNICIPIO DE PALENQUE, CHIAPAS.....	21
RESUMEN.....	21
INTRODUCCIÓN .....	22
MATERIALES Y MÉTODOS .....	24
Delimitación y descripción del área de estudio.....	24
Proceso de la evaluación del Índice de vulnerabilidad.....	26
1) Recolección de información .....	26
2) Estimación de la vulnerabilidad .....	27
3) Procesamiento de los datos.....	29
4) Correlación y significación.....	30
5) Mapeo de la vulnerabilidad .....	31
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
Exposición .....	33
Sensibilidad .....	34
Capacidad adaptativa.....	35
Índice de vulnerabilidad .....	36
Correlación y significancia.....	38
RECOMENDACIONES DE ADAPTACIÓN.....	40
CONCLUSIONES .....	43
REFERENCIAS.....	45



CAPITULO III. CONSIDERACIONES FINALES .....	49
LISTA DE ABREVIATURAS .....	50

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Lista de variables agrupadas por subíndice de la vulnerabilidad y categoría.....	28
Tabla 2. Los valores obtenidos de la exposición, la sensibilidad y la capacidad de adaptativa para cada una de los 30 AGEBs. Letras cursivas para los valores altos de la exposición y la sensibilidad y bajos para la capacidad adaptativa, respectivamente. .	36
Tabla 3. Variables que más contribuyeron a la vulnerabilidad y Áreas Geoestadísticas Básicas según su grado de vulnerabilidad.....	41

### ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del municipio de Palenque, Chiapas. ....	25
Figura 2. Distribución espacial del índice de vulnerabilidad del sector agrícola de Palenque ante el cambio climático, los AGEBs se muestran con sus respectivos códigos. ....	32
Figura 3. Subíndice de exposición.....	33
Figura 4. Subíndice de sensibilidad .....	34
Figura 5. Subíndice de capacidad adaptativa.....	35

## **INTRODUCCIÓN GENERAL**

El tema de cambio climático ya no es algo nuevo y sus efectos son cada vez más evidentes y frecuentes a nivel mundial. El cambio climático “es un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observado durante periodos de tiempo comparables” (CMNUCC, 1992). (IPCC, 2014)

En las últimas décadas, la superficie de la Tierra ha registrado temperaturas más altas y se espera que a finales de este siglo la temperatura media global se incremente hasta en 4.8°C, respecto al periodo base (1986-2005) si no se implementan acciones importantes (IPCC, 2013). Los impactos proyectados para América Latina son diferenciados; sin embargo, particularmente, en zonas tropicales se esperan incrementos en la temperatura y disminución de las precipitaciones que resultarían en disminución de la humedad del suelo lo cual originaría una sustitución gradual de los bosques tropicales por las sabanas en el este de la Amazonia, la vegetación semiárida podría ser sustituida por vegetación de tierras áridas, se incrementaría la pérdida de diversidad biológica con importante extinción de especies en áreas tropicales, además de ocasionar la disminución de la productividad de algunos cultivos importantes, y con ello la productividad pecuaria, amenazando la seguridad alimentaria de la región (IPCC, 2007).

Las poblaciones vulnerables, como los pueblos indígenas y las comunidades locales serán las más afectadas ya que dependen de medios de vida agrícolas o costeros. Se considera que las regiones con más riesgo serán los ecosistemas árticos, las regiones áridas, los pequeños estados insulares y los países en desarrollo (IPCC, 2018). Estos últimos son más vulnerables al cambio climático, debido a su bajo desarrollo al no poseer capital suficiente para generar medidas de adaptación (Magaña & Gay, 2002; IPCC, 2007).

Uno de los sectores económicos que se verán altamente afectados es la agricultura, ya que en muchas regiones depende de las condiciones climáticas, que con el calentamiento global enfrentarán cambios en dos de sus principales limitantes: la temperatura y la precipitación (Bi & Parton, 2008). Los impactos y la vulnerabilidad frente al cambio climático son

diferentes entre países, regiones y sectores. Bajo este esquema, México es un país vulnerable y con una alta dependencia del sector agrícola (Borja-Vega y De la Fuente, 2013); ya que se practica bajo condiciones de temporal y tal condición vuelve a la agricultura mexicana muy vulnerable a las fluctuaciones en el clima (Magaña & Gay, 2002). De acuerdo a los datos de la superficie agrícola nacional (29.9 millones de hectáreas) el 82.3% está dedicado a cultivos de temporal, el resto, 17.7% son superficies que cuentan con algún tipo de infraestructura para aplicar riego (INEGI, 2009).

Como tal, la agricultura es una de las actividades económicas, sociales y culturales, que proporciona bienes directos a la población que habita en su área. Sin embargo, la agricultura es una actividad muy sensible a esta variabilidad (Ojeda *et al.*, 2012).

A nivel mundial, México es el séptimo productor de maíz (CIMA, 2018) reportando una producción de 14.4 millones de toneladas/año en un sistema de temporal y con sistema de riego 13.4 millones de toneladas/año de producción (SIAP, 2017). Este sistema de cultivo refleja la alta exposición a los cambios climáticos, al ser manejado principalmente como de temporal.

Diferentes estudios han abordado el tema de la vulnerabilidad en México (INECC, 2013a; Gay-García & Conde-Álvarez, 2013; Monterroso *et al.*, 2014; Martínez-Austria & Patiño-Gómez, 2010; CENAPRED, 2013; Borja-Vega y De la Fuente, 2013), y trece de las 32 entidades están catalogadas con alta vulnerabilidad al cambio climático, concentrándose en los estados del sur-sureste. De ellos, en Chiapas se han identificado 29 municipios con muy alta vulnerabilidad; entre los más vulnerables se encuentran los municipios de Huehuetán, Jitotol, Palenque, Tapalapa, Acapetahua, Chiapalilla, Frontera Comalapa, Ixtapangajoya, Montecristo de Guerrero y Mazatán (INECC, 2013b).

Por ello, es necesario buscar estrategias que incrementen la resiliencia del sector agrícola ante los impactos del cambio climático y estimar la vulnerabilidad del mismo (Mallari, 2016). La información generada en esta investigación permitirá determinar estrategias de adaptación ante el cambio climático en este sector.

El presente documento está estructurado de la siguiente manera: el capítulo I comprende los antecedentes (cambio climático y sus impactos, la vulnerabilidad al cambio climático en México y la agricultura ante este escenario), además de la justificación, hipótesis y los objetivos del trabajo de tesis. El capítulo II corresponde el trabajo realizado: Vulnerabilidad del sector agrícola ante los efectos del cambio climático en el municipio de Palenque, Chiapas.

## **CAPITULO I. ANTECEDENTES**

### **Cambio climático y sus impactos**

A lo largo de la historia, el clima en la Tierra nunca ha sido constante. El sistema climático cambia en el tiempo bajo la influencia ya sea por su propia dinámica interna, por forzamientos externos como las erupciones volcánicas, las variaciones solares o por forzamientos inducidos como el ser humano, los cambios en la composición de la atmósfera y los cambios en el uso de la tierra (Benavides & León, 2007). Respecto a este último, los cambios generados por las actividades humanas como los asociados a la generación de gases de efecto invernadero (GEI), la quema de los combustibles fósiles, la agricultura, la ganadería, la deforestación, algunos procesos industriales y los depósitos de residuos urbanos han provocado el aumento en las concentraciones de estos gases con efecto invernadero en la atmósfera.

Esta variación en el balance energético (de absorción y emisión) puede causar graves daños a la estabilidad para la vida actual, así como cambios en la composición y aumento de la capacidad de la atmósfera de retener parte de la energía reflejada por la Tierra, lo cual produce finalmente el calentamiento global (PNUMA, 2005).

Es así que, el cambio climático estudiado por los expertos actualmente, “es un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observado durante periodos de tiempo comparables” (CMNUCC, 1992). Según el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), la superficie de la Tierra ha sido más cálida en las últimas tres décadas que en cualquier década anterior desde 1850 en que se inició el registro.

Se espera que al final del siglo XXI, la temperatura media global sea mayor en un rango de 0.3 °C a 4.8 °C, respecto al periodo base de 1986-2005. Además, de continuar con las emisiones de gases de efecto invernadero, tales como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) o los óxidos de nitrógenos (N<sub>2</sub>N), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>), entre otros, se causará un mayor calentamiento y cambios en todos los componentes del sistema climático (IPCC, 2013).

En el informe especial del IPCC (2018), se señala que las actividades humanas causaron aproximadamente 1 °C (con rango probable de 0.8 °C a 1.2 °C) del calentamiento global por encima de los niveles preindustriales. Además, mencionan que el calentamiento global antropogénico estimado actualmente aumenta a 0.2 °C por década debido a las emisiones pasadas y actuales. Por otro lado, señalan que con el aumento de la temperatura global a 1.5 °C, se proyecta que los riesgos relacionados con el clima aumenten para la salud, los medios de vida, la seguridad alimentaria, el suministro de agua, la seguridad humana y el crecimiento económico. Los grupos humanos más afectados serán las poblaciones vulnerables, como los pueblos indígenas y las comunidades locales que dependen de los medios de vida agrícolas o costeros. En cuanto a las regiones en más riesgo, serán los ecosistemas árticos, regiones áridas, los pequeños estados insulares y los países en desarrollo.

En general aumentaría el número de personas amenazadas por el hambre. Los cambios en los regímenes de precipitación y la desaparición de los glaciares afectarían notablemente la disponibilidad de agua para consumo humano, agrícola e hidroeléctrico (IPCC, 2007). Se entiende entonces que, los impactos y las vulnerabilidades del cambio climático serán diferentes entre los países, regiones y sectores.

En este contexto, la población necesita estrategias para adaptarse urgentemente a cierto grado de cambio climático (Ahumada-Cervantes *et al.*, 2017). Para ello el primer proceso es la evaluación de la vulnerabilidad.

## **Estudios de vulnerabilidad al cambio climático**

La vulnerabilidad de un sistema al cambio climático está dada en función de la exposición, de la sensibilidad y la capacidad adaptativa, éste último, puede reducir la sensibilidad al cambio climático, entretanto que la mitigación reduce la exposición a él, particularmente su rapidez y extensión (IPCC, 2007).

El IPCC (2007), define la vulnerabilidad como: el “grado de susceptibilidad o de incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del cambio climático y, en particular, a la variabilidad del clima y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad dependerá del carácter, la magnitud y la rapidez del cambio climático a que esté expuesto un sistema, y de su sensibilidad y capacidad de adaptación”. Subsecuentemente, la sensibilidad es el “grado en que un sistema resulta afectado, positiva o negativamente por el cambio climático (IPCC, 2007). En otras palabras, la posibilidad al daño de los activos y los medios de vida se verán expuestos por el cambio climático (Heltberg & Bonch-Osmolovski, 2011).

El componente exposición, definida como “la presencia de personas, medios de subsistencia, especies o ecosistemas, funciones, servicios y recursos ambientales, infraestructura o activos económicos, sociales o culturales en lugares y entornos que podrían verse afectados negativamente” (IPCC, 2014). La exposición se relaciona con el grado de estrés climático sobre una unidad particular de análisis, que puede representarse como cambios a largo plazo en las condiciones climáticas o por cambios en la variabilidad climática, incluida la magnitud y frecuencia de eventos extremos (o'Brien *et al.*, 2004).

Estos dos componentes juntos describen el impacto que puede llegar a tener el cambio climático sobre un sistema, aunque el resultado sea altamente expuesto o sensible no precisamente significa que sea vulnerable, pues la vulnerabilidad es el resultado neto de los tres componentes (Fellmann, 2012).

Finalmente, la capacidad de adaptación es definida por el IPCC (2014) como: la “capacidad de los sistemas, las instituciones, los seres humanos y otros organismos para adaptarse ante posibles daños, aprovechar las oportunidades o afrontar las consecuencias”. Por ejemplo,

sembrar variedades más resistentes a la sequía o cambiar a otro tipo de cultivo (Fellmann, 2012).

La vulnerabilidad del sector agrícola ante los efectos del cambio climático, se describe como la exposición a temperaturas elevadas, la sensibilidad de los rendimientos de los cultivos a la temperatura elevada y la capacidad de adaptación de los agricultores ante los efectos de la exposición y de la sensibilidad (Fellmann, 2012). Por lo tanto, la vulnerabilidad está en una función de los tres componentes (Adger *et al.*, 2007), y se necesitan estudios para establecer cómo funcionan estos componentes en diferentes escalas (Monterroso *et al.*, 2014). Sin embargo, no hay una medición única que sea capaz de describir adecuadamente la diversidad de vulnerabilidades clave o su escala de gravedad (IPCC, 2007), ya que es multidimensional, compleja y no directamente relacionada a los fenómenos observados (Downing *et al.*, 2001). Por ello, los estudios se han abordado desde distintos enfoques para una evaluación adecuada, se han centrado por ejemplo en la vulnerabilidad a un factor estresante particular, como el aumento del nivel del mar (Nicholls, 2002; Pelling, 1999; Wu *et al.*, 2002), la sequía (Fowler *et al.*, 2003; Krol *et al.*, 2001) y tormentas tropicales (Connor & Hiroki, 2005; Kelly & Adger, 2000; Schreider *et al.*, 2000). Así mismo, se han centrado en un sector, como en el turismo (Moreno & Becken, 2009), la agricultura (Ojeda *et al.*, 2010; Bele *et al.*, 2013; Monterroso *et al.*, 2014), y la salud (Malik *et al.*, 2012). En términos de vulnerabilidad social (Adger & Kelly, 1999; Brooks *et al.*, 2005; Cutter *et al.*, 2009; Cutter *et al.*, 2003; Dwyer *et al.*, 2004; Guillaumont & Simonet, 2011; Sullivan & Meigh, 2005), vulnerabilidad institucional (Aall & Norland, 2005), vulnerabilidad y gobierno (Davis *et al.*, 2010) y vulnerabilidad centrada en la adaptación (DEFRA, 2010; Harley *et al.*, 2008; Mitchell *et al.*, 2010; Natural-England, 2010; UNEP, 2009). O evaluaciones de índices de vulnerabilidad a los riesgos climáticos (Pandey & Kumar, 2012; Collins *et al.*, 2013; Hung & Chen, 2013).

Estas evaluaciones, además, se realizan a distintas escalas con la finalidad de dar a conocer sobre opciones de mitigación y explotar cuantitativamente quién se está adaptando, cómo y por qué lo hacen (Below *et al.*, 2012; Smit, 2006). Las escalas espaciales pueden ser a nivel país, región, municipio o comunidad.

En cuanto al sector agrícola, se pueden citar algunos ejemplos de escalas utilizadas como el de Ravindranath *et al.*, (2011) que trabajó a nivel de distrito en la India; Amoako & Hutton (2014) en los niveles de cuencas y subdistritos en India y Bhután; Bele *et al.*, (2013) a nivel

comunitario en Camerún; Monterroso *et al.*, (2014) a escala nacional y municipal y particularmente el trabajo de Ahumada-Cervantes *et al.*, (2017) a nivel local a escala de Área Geo Estadística Básica (AGEB); estos dos últimos en México.

La mayoría de las evaluaciones mencionadas se han desarrollado con base en variables socioeconómicas y biofísicas traducidas en los componentes de la vulnerabilidad (Monterroso *et al.*, 2014; Ahumada-Cervantes *et al.*, 2017).

Comprender la vulnerabilidad desde un sector y su distribución espacial conducirá las políticas hacia un área geográfica o grupo de población con necesidades urgentes (PNUMA, 2005). Por ello hoy en día los estudios se enfocan en el nivel local utilizando una escala espacial fina para el diseño de estrategias de adaptación más dirigidas a las áreas más vulnerables y los grupos sociales (Ahumada-Cervantes *et al.*, 2017).

La adopción de estrategias de adaptación a nivel regional y local es mucho más factible para reducir la vulnerabilidad al cambio climático y así mejorar la calidad de vida de la población local (Salazar & Masera, 2010) ya que se sabe que las poblaciones más pobres están en las zonas rurales, y son amenazados por las reducciones de los rendimientos de los cultivos (IPCC, 2014). Ahumada-Cervantes *et al.*, (2017) mencionan que poco se ha investigado a escalas finas en zonas rurales para enfatizar la vulnerabilidad de la agricultura local; por ello, su trabajo es uno de los primeros intentos en tratar de identificar a los grupos de poblaciones más vulnerables a nivel local, determinar los factores importantes que contribuyen a los índices de vulnerabilidad e identificar acciones concretas que mejoren y mantengan la sostenibilidad de la agricultura local.

### **Vulnerabilidad al cambio climático en México**

México se encuentra entre los países más vulnerables ante los efectos del cambio climático por sus características geográficas, las condiciones socioeconómicas y por la falta de capacidad para hacer frente sus impactos. Según el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2018), desde la década de 1960 México es más cálido, a nivel nacional aumentó a 0.85 °C la temperatura media y las temperaturas invernales a 1.3 °C en promedio. Además, las proyecciones para el año 2100 pronostican que en la mayor parte del país la temperatura aumente entre 2.5 °C y 3.5 °C, y la precipitación disminuya en promedio entre un 5% y 10%. El escenario para la agricultura en la década de 2050, proyecta la disminución



de la productividad del maíz, la pérdida de fertilidad de los suelos por lo que los cultivos serán menos adecuados para la producción (INECC, 2018).

Por ello, se han realizado esfuerzos para llevar a cabo trabajos que den cuenta de la vulnerabilidad y estrategias de adaptación en el país, como la Estrategia Nacional de Adaptación al Cambio Climático (INECC, 2013a); el estudio de Vulnerabilidad y Adaptación a los efectos del Cambio Climático en México (Gay-García & Conde-Álvarez, 2013) y así como los métodos para evaluar dicha vulnerabilidad como el reportado por Monterroso *et al.*, (2014) en dos métodos para evaluar la vulnerabilidad al cambio climático en el sector agrícola mexicano. Además, han generado un Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático (Martínez-Austria & Patiño-Gómez, 2010), Mapas de índices de riesgo a escala municipal por fenómenos hidrometeorológicos (CENAPRED, 2013), vulnerabilidad municipal al cambio climático y eventos relacionados con el clima en México, más específicamente, se trata de un índice de vulnerabilidad al cambio climático en la agricultura a nivel municipal en el país (Borja-Vega & De la Fuente (2013).

A partir de los tres primeros estudios antes mencionados, el INECC (2013b) construyó una propuesta para la clasificación de los municipios según su vulnerabilidad al cambio climático para todo el país. En dicho resultado, señala que son 13 entidades de la República Mexicana con mayor vulnerabilidad que suman un total de 480 municipios, concentrándose en los estados del sur y sureste. Chiapas se encuentra dentro de los estados más vulnerables, seguido el estado de Guerrero y Oaxaca.

Para el caso específico de Chiapas, 29 municipios se encuentran catalogados de muy alta vulnerabilidad y 56 en alta vulnerabilidad al cambio climático, lo que representa el 72% del total de los municipios del estado. Entre los más vulnerables se encuentran los municipios de Huehuetán, Jitotol, Palenque, Tapalapa, Acapetahua, Chiapalilla, Frontera Comalapa, Ixtapangajoyá, Montecristo de Guerrero y Mazatán (INECC, 2013b).

### **La agricultura ante el Cambio Climático en México**

La agricultura es uno de los sectores vulnerables frente al cambio climático. Ya que este sector depende de las condiciones climáticas para su desarrollo y que con el cambio climático se ve modificado dos de sus principales limitantes: la temperatura y la precipitación (Bi & Parton, 2008). Es así que el clima extremo afecta la productividad agrícola y puede elevar el

precio de los granos básicos que son primordiales para los hogares pobres (Borja-Vega & De la Fuente, 2013).

La agricultura mexicana es vulnerable (Borja-Vega & De la Fuente, 2013). Está expuesta a eventos climáticos como las sequías y las inundaciones, las heladas y el granizo, las fuertes lluvias y los deslaves (Monterroso *et al.*, 2014). Además, porque dichas actividades se realizan bajo condiciones de temporal; de acuerdo a los datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2009), de la superficie agrícola nacional (29.9 millones de hectáreas) el 82.3% corresponde a este sistema de temporal y el resto, el 17.7% a superficies que cuentan con alguna infraestructura para aplicar riego en los cultivos. Este sistema de cultivo refleja la exposición del mismo por sus requerimientos al ser de temporal.

En el país, la mayor parte de las actividades agrícolas se realiza en las áreas rurales (CONAPO, 2008), para el autoconsumo y la subsistencia (INEGI, 2010), como parte de una tradición cultural. Particularmente, la agricultura de subsistencia, como lo clasificó Gabriel (2003), es principalmente agricultura de temporal, siendo el principal cultivo el maíz junto con el frijol y la calabaza. Al alrededor de 3 millones de pequeños agricultores cultivan maíz principalmente para la subsistencia, pero lo hacen en condiciones precarias y tienen una capacidad de adaptación limitada debido a sus bajos ingresos (Borja-Vega & De la Fuente, 2013). Dicha actividad se generaliza en el sur-sureste del país, actividad típica de las comunidades indígenas y rurales.

Existe un alto consumo de maíz como alimento básico en la mayor parte de la población (Appendini & Liverman, 1994) y este cultivo de maíz de temporal se realiza prácticamente en todo el país (Conde *et al.*, 2000). Es así que, la producción de maíz de secano es fundamental para el sustento de los pobres en México (Borja-Vega & De la Fuente, 2013). Además, es uno de los cereales de gran importancia para el mundo por sus múltiples usos: insumos para la ganadería, alimento para los humanos, además de materia prima básica de la industria (ASERCA, 2018).

En cuanto a la productividad, México ocupa el séptimo lugar a nivel mundial en la producción de este grano (CIMA, 2018). El maíz de grano es preponderantemente de temporal con una producción de 14.4 millones de ton/año y el de riego con 13.4 millones de

ton/año (SIAP, 2017). Dentro del país, el estado de Chiapas se ubica dentro de las diez entidades productoras de maíz grano (ocupa el séptimo lugar), tan solo en 2017, reportó una producción de 1.3 millones de ton/año y en ese sentido el municipio de Palenque, ocupa el quinto lugar en producción de este grano (52,315.26 ton/año) dentro del estado, que corresponde a la producción de temporal (SIAP, 2017) y dicha actividad como ya se señaló es una de las más sensibles frente al cambio climático.

Cabe señalar también que, al interior de los países en desarrollo, como México, los pequeños agricultores tienen deficiencias en sus capacidades tecnológicas y financieras, insumos, información y capital económico que son limitados para implementar medidas de mitigación y adaptación (Birtal *et al.*, 2014). En este sentido, la suma de los impactos del cambio climático que causan las pérdidas agrícolas y las deficiencias de los agricultores, en términos económicos se traduce en una mayor pobreza y una amenaza a la seguridad alimentaria sobre todo en las zonas rurales dependientes de cultivos de temporal y de autoconsumo.

Tan solo en el municipio de Palenque el mayor porcentaje de la población (110,918 habitantes) se encuentra viviendo en las áreas rurales (61.3 %). Además, el 44.6 % de la población total es hablante de alguna lengua indígena de 5 años y más (INEGI, 2010) y la siembra de maíz forma parte de su sistema de subsistencia. Por ello tiene sentido comenzar a evaluar la vulnerabilidad agrícola al cambio climático.

Consecuentemente, el presente estudio se propuso evaluar la vulnerabilidad del cultivo de maíz ante escenarios de cambio climático en una zona tropical, en específico en el municipio de Palenque, Chiapas, mediante la aplicación de los indicadores propuesto por Ahumada-Cervantes *et al.* (2017).

## **JUSTIFICACIÓN**

Palenque fue una de las ciudades más importantes de la Cultura Maya (el antiguo pueblo), hoy en día su población particularmente los que habitan en las áreas rurales e indígenas mantienen sus tradiciones arraigadas, así como sus prácticas agrícolas tradicionales como la agricultura y especialmente la siembra de maíz bajo condiciones de temporal que forma parte como su sistema de subsistencia.

Actualmente, Palenque es también uno de los municipios considerados como productores de maíz de temporal, ocupando el quinto lugar en producción (SIAP, 2017).

Las prácticas agrícolas de temporal determinan su vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático, por la sensibilidad a las alteraciones en las precipitaciones estacionales (FAO-SAGARPA, 2014). Si bien los impactos del cambio climático causan pérdidas agrícolas y las deficiencias de los pequeños agricultores para hacer frente, en términos económicos se traduce en una mayor pobreza y una amenaza a la seguridad alimentaria, especialmente en las zonas rurales dependientes de cultivos de temporal y de autoconsumo.

Y el municipio que es catalogado con un alto grado de marginación (CONAPO, 2015), en donde habita el 61.3 % de su población total en áreas rurales (INEGI, 2010), practican alguna de las actividades primarias como la agricultura, se vuelve necesario y urgente realizar estudios de vulnerabilidad agrícola al cambio climático, particularmente del cultivo del maíz que es el alimento básico, para poder generar medidas de adaptación específicas en las áreas vulnerables, a nivel local.

Los estudios a nivel local, pocos se han desarrollado a esta escala o en las áreas rurales en relación a la vulnerabilidad del sector agrícola. Sin embargo, es fundamental conocer y construir una visión de abajo hacia arriba para implementar estrategias adecuadas de adaptación y reducir la vulnerabilidad, y con ello garantizar la seguridad alimentaria local y del mundo (Ahumada-Cervantes *et al.*, 2017). De por sí, la implementación de la sostenibilidad agrícola a nivel global es compleja y precisamente la adopción de estrategias a nivel regional y local tiene potencial para reducir la vulnerabilidad al cambio climático para así mejorar la calidad de vida de la población local (Salazar y Maserá, 2010). Además, la población más vulnerable, los pobres, generalmente habitan en las áreas rurales, donde precisamente los impactos del cambio climático afectan los medios de vida al causar reducciones en los rendimientos de los cultivos y aumentar los precios de los alimentos (IPCC, 2014).

Pese a ello, en México existe solo un estudio de vulnerabilidad de la agricultura al cambio climático a nivel local que fue realizado por Ahumada-Cervantes *et al.*, (2017) en una zona árida (Guasave, Sinaloa) donde proponen y usan una nueva herramienta de indicadores, la

cual fue útil para determinar dicha vulnerabilidad en áreas pequeñas, así como la identificación de los factores que más influyen en las áreas vulnerables y la propuesta de estrategias de adaptación específicas. Este trabajo busca replicar dicho trabajo, pero en una zona tropical en el municipio de Palenque, Chiapas, por lo que contribuirá al conocimiento de las vulnerabilidades locales de cultivos específicos frente a los impactos del cambio climático.

## **HIPÓTESIS**

El cultivo de maíz en el municipio de Palenque es vulnerable a los impactos del cambio climático.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Evaluar la vulnerabilidad del cultivo de maíz ante los efectos del cambio climático en el municipio de Palenque, Chiapas.

### **Particulares**

- Caracterizar las amenazas asociadas al cambio climático que se presenta en el municipio de Palenque, Chiapas.
- Identificar los cultivos agrícolas que realizan en el municipio.
- Estimar el índice de vulnerabilidad al cambio climático del cultivo de maíz en el municipio de Palenque.
- Mapear los índices de vulnerabilidad del cultivo maíz para las Áreas Geoestadísticas Básicas en el municipio.

## REFERENCIAS

- Aall, C. & Norland, I. (2005). Indicators for local-scale climate vulnerability assessments. Western Norway Research Institute, University of Oslo, Norway.
- Adger, W.N. & Kelly, P. M. (1999). Social vulnerability to climate change and the architecture of entitlements. *Mitig Adapt Strateg Glob Chang* 4:253–266.
- Adger, W.N., Agrawala, S., Mirza, M.M.Q., Conde, C., o'Brien K.; Pulhin, J., Pulwarty, R., Smit, B. & Takahashi, K. (2007). Assessment of adaptation practices, options, constraints and capacity. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 717-743.
- Ahumada-Cervantes, R., Velázquez - Angulo, G., Rodríguez - Gallegos, H. B., Flores-Tavizón, E., Félix-Gastélum, R., Romero-González, J. & Granados-Olivas, A. (2017). An indicator tool for assessing local vulnerability to climate change in the Mexican agricultural sector. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 22:137–152
- Amoako, F. & Hutton, C. (2014). Dependence on agriculture and ecosystem services for livelihood in northeast India and Bhutan: vulnerability to climate change in the tropical river basins of the upper Brahmaputra. *Climatic Change*. 127:107-121.
- Appendini, K. & Liverman, D. 1994. Agricultural policy, climate change and food security in Mexico. *Food Policy* 19 (2) 149-164
- ASERCA. 2018. Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios. Maíz grano cultivo representativo de México. Recuperado el 28 de enero de 2019. Disponible en <https://www.gob.mx/aserca/es/articulos/maiz-grano-cultivo-representativo-de-mexico?idiom=es>
- Bele, M.Y., Tiani, A. M., Somorin, O.A. & Sonwa, D. J. (2013). Exploring vulnerability and adaptation to climate change of communities in the forest zone of Cameroon. *Clim Chang* 119:875–889

- 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? *Glob Environ Chang* 22:223–235
- Benavides H.O., & León, G.E., 2007. *Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Nota técnica del IDEAM. Bogotá DC.
- Bi, P. & Parton, K. A. (2008). Effect of Climate Change on Australian Rural and Remote Regions: What Do We Know and What Do We Need To Know? *Australian Journal of Rural Health* 16(1):2–4 <https://doi.org/10.1111/j.1440-1584.2007.00945.x>
- Birthal, P., Khan, Md, Negi, D. & Agarwal, S. (2014). Impact of Climate Change on Yields of Major Good Grain Crops in India: Implications of Food Security. *Agri. Econ. Res. Rev.*, 27(2): 145- 155
- Borja-Vega, C. & De la Fuente A. (2013). Municipal Vulnerability to Climate Change and Climate Related Events in Mexico. Policy Research Working Paper #6417. The World Bank, Social Development Department, Sustainable Development Network. Washington, DC.
- Brooks, N., Adger, W.N. & Kelly, P. M. (2005). The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and implications for adaptation. *Global Environ. Change*, 15, 151-163
- CENAPRED. (2013). Mapas de índices de riesgo a escala municipal por fenómenos hidrometeorológicos. Centro Nacional de Prevención de Desastres, México, D.F
- CIMA. 2018. Centro de Información de Mercados Agroalimentarios. Mercado Internacional-Maiz diciembre 2018. Recuperado el 28 de enero de 2019. Disponible en <https://www.gob.mx/aserca/articulos/centro-de-informacion-de-mercados-agropecuarios-cima>
- CMNUCC. (1992). Convención marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Naciones Unidas.
- Collins, T., Grineski, S., Ford, P., Aldouri, R., Romo, M., Velázquez-Angulo, G., Fitzgerald, R. & Lu, D. (2013). Mapping vulnerability to climate change-related hazards: children at risk in a US–Mexico border metropolis. *Population and Environment*, 34: 313–337.

- CONAPO. (2008). Perfil sociodemográfico de la población ocupada en el sector primario y su distribución territorial. En *La Situación demográfica de México*. Consejo Nacional de Población, México. Disponible en: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/233092/SDM\\_2008.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/233092/SDM_2008.pdf)
- CONAPO. (2015). *Datos abiertos del índice de marginación. Índice de marginación por municipio, 1990-2015*. Revisado el 21 de febrero del 2019. Disponible en: [http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Datos\\_Abiertos\\_del\\_Indice\\_de\\_Marginacion](http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Datos_Abiertos_del_Indice_de_Marginacion)
- Conde, C., Ferrer, R. M., & Liverman, D. (2000). Estudio de la vulnerabilidad de la agricultura de maíz de temporal mediante el modelo CERES-Maize. *Gay García Carlos (Compiler). México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. US Country Studies Program. México*, 93-110.
- Connor, R.F & Hiroki, K. (2005). Development of a method for assessing flood, vulnerability. *Water Sci Technol* 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
- Cutter, S.L., Boruff, B.J. & Shirley, W.L. (2003) Social vulnerability to environmental hazards. *Soc Sci Q* 84:242–261
- Davis, K., Kingsbury, B. & Merry, S. (2010). Indicators as technology of global governance. *Global Administration Law Series. IILI Working Paper*
- DEFRA. (2010). *Measuring adaptation to climate change: a proposed approach*. Department for Environment, Food and Rural Affairs, UK
- 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*. Policy Series 3. United Nations Environment Programme.
- Dwyer, A., Zoppou, C., Nielsen, O., Day, S. & Roberts, S. (2004). *Quantifying Social Vulnerability: A methodology for identifying those at risk to natural hazards*. Geoscience Australia, Australia.
- FAO- SAGARPA. (2014). *México: el sector agropecuario ante el desafío del Cambio Climático*. Ciudad de México. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i4093s.pdf>



- Fellmann, T. (2012). The assessment of climate change-related vulnerability in the agricultural sector: reviewing conceptual frameworks. pp.37-61, *In Building resilience for adaptation to climate change in the agriculture sector*. Proceedings of a Joint FAO/OECD Workshop, FAO Rome.
- 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 Resour Res* 39:1222–1224
- Gabriel, J. (2003). *Tipología socioeconómica de las actividades agrícolas. Una herramienta de síntesis para el ordenamiento ecológico*. Instituto Nacional de Ecología, México. 51pp.
- Gay-García, C. & Conde-Álvarez, C. (2013). Vulnerabilidad y adaptación a los efectos del cambio climático en México. Fondo ambiental público del Gobierno del Distrito Federal, Conferencia Nacional de Gobernadores y Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. Disponible en: <http://atlasclimatico.unam.mx/VulnerabilidadalCC/Vulnerabilidad/>
- 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.
- Harley, M., Horrocks, L. & Hodgson, N. (2008). Climate change vulnerability and adaptation indicators. European Topic Centre on Air and Climate Change
- Heltberg, R., & Bonch-Osmolovskiy, M. (2011). Mapping vulnerability to climate change. *World Bank policy research working paper* (5554). <https://ssrn.com/abstract=1754347>
- Hung, H. & Chen, L. (2013). Incorporating stakeholders' knowledge into assessing vulnerability to climatic hazards: application to the river basin management in Taiwan. *Climatic Change*. 120:491-507.
- INECC. (2013a). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Desarrollo de la Estrategia Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Gestión de Riesgos ante el Cambio Climático y Diagnóstico de Vulnerabilidad. Resumen Ejecutivo y Anexo Metodológico. INECCqbic-Global Green Growth Institute.

- INECC. (2013b). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Boletín de Vulnerabilidad al cambio climático en los municipios de México.
- INECC. (2018). Instituto Nacional de Ecología y Cambio climático. Efectos del cambio climático. Recuperado el 27 de octubre de 2018 en <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/efectos-del-cambio-climatico>
- INEGI. (2009). Censo agropecuario 2007. VIII Censo Agrícola, ganadero y forestal. Aguascalientes, Aguascalientes, México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (2010). Censo de población y vivienda 2010. Principales resultados por localidad (ITER).
- IPCC. (2007). *Cambio climático. Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación). IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.
- IPCC. (2013). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Eds. Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC. (2014). Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Equipo principal de redacción, R.K. Pachauri y L.A. Meyer (eds.). IPCC, Ginebra, Suiza, 157 págs.
- IPCC. (2018). Summary for Policymakers. *In Global warming of 1.5°C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Eds. Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H. O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P.R., Pirani, A., Moufouma-Okia, W., Péan, C., Pidcock, R., Connors, S., Matthews, J. B. R., Chen, Y., Zhou, X., Gomis, M. I., Lonnoy, E., Maycock, T., Tignor, M. & Waterfield, T. In Press.

- Kelly, P.M. & Adger, W.N. (2000). Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation. *Clim Chang* 47:325–352
- Krol, M., Jaeger, A., Bronstert, A. & Krywkow, J. (2001). The semi-arid integrated model a regional integrated model assessing water availability, vulnerability and society in NE-Brazil. *Phys Chem Earth* 26:529–533. [https://doi.org/10.1016/S1464-1909\(01\)00045-4](https://doi.org/10.1016/S1464-1909(01)00045-4)
- Magaña Rueda, V.O., & Gay García, C. (2002). Vulnerabilidad y adaptación regional ante el cambio climático y sus impactos ambientales, sociales y económicos. *Gaceta Ecológica*, (65),7-23. ISSN: 1405-2849. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53906501>
- Malik, S.M., Awan, H. & Khan, N. (2012). Mapping vulnerability to climate change and its repercussions on human health in Pakistan. *Globalization and Health*. 8:31.
- Mallari, A. E. (2016). Climate Change Vulnerability Assessment in the Agriculture Sector: Typhoon Santi Experience. *Procedia Social and Behavioral Sciences*. 216: 440-451
- Martínez-Austria, P.F. & Patiño-Gómez, C. (2010). Efectos del Cambio Climático en los Recursos Hídricos de México, Volumen III: *Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, Morelos, México, 162 pp.
- Mitchell, T., Aalst, Mv. & Villanueva, P. (2010). Assessing Progress on Integrating Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation in Development Processes. *Strengthening Climate Resilience*.
- Monterroso, A.; Conde, C.; Gay, C.; Gómez, D. & López, J. (2014). Two methods to assess vulnerability to climate change in the Mexican agricultural sector. *Mitig Adapt Strateg Glob Chang* 19(4):445–461 DOI 10.1007/s11027-012-9442-y
- Moreno, A. & Becken, S. (2009). A climate change vulnerability assessment methodology for coastal tourism. *Journal of Sustainable Tourism*. 17(4):473–488. <https://doi.org/10.1080/09669580802651681>.
- Natural-England. (2010). Climate Change adaptation indicators for the natural environment. Natural England Commissioned Report. London UK
- Nicholls, R. (2002). Analysis of global impacts of sea-level rise: a case study of flooding. *Phys Chem Earth* 27:1455–1466

- o'Brien, K., Leichenko, R., Kelkar, U., Venema, H., Aandahl, G., Tompkins, H., Javed, A., Bhadwal, S., Barg, S., & Nygaard, L. (2004). Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization in India. *Global environmental change*, 14(4), 303-313. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.01.001](https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.01.001)
- Ojeda, W., Iñiguez, M. & González, J.M. (2010). Vulnerabilidad de la agricultura de riego de México ante el Cambio Climático. In: Patiño C, Martínez P (eds) Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático. Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México, vol. III. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 115-142
- Ojeda, W., Sifuentes, E., Rojano, A. & Iñiguez, M. 2012. Adaptación de la agricultura de riego ante el cambio climático. En: *Efectos del cambio climático en los recursos hídricos en México, volumen IV. Adaptación al cambio climático*. 65-113 pp. México.
- Pandey, R. & Kumar, S. (2012). Climate vulnerability index—measure of climate change vulnerability to communities: a case of rural Lower Himalaya, India. *Mitig Adapt Strateg Glob Chang* 17(5):487–506
- Parry, M., Arnell, N., McMichael, T., Nicholls, R., Martens, P., Kovats, S., Livermore, M., Rosenzweig, C., Iglesias, A. & Fischer, G. (2001). Millions at risk: Defining critical climate change threats and targets. *Global Environmental Change* 11: 181-183.
- Pelling M. (1999). The political ecology of flood hazard in urban Guyana. *Geoforum* 30, 249–261. [https://doi.org/10.1016/S0016-7185\(99\)00015-9](https://doi.org/10.1016/S0016-7185(99)00015-9)
- PNUMA. (2005). *Cambio climático: Manual de ciudadanía ambiental global*. México. PNUMA/ORPALC.
- Ravindranath, N.H., Rao, S., Sharma, N., Nair, M., Gopalakrishnan, R., Rao, A.S., Malaviya, S., Tiwari, R., Sagadevan, A., Munsri, M., Krishna, N. & Bala, G. (2011). Climate change vulnerability profiles for North East India. *Curr Sci* 101(3):384–394
- Salazar, A. & Masera, O. (2010). México ante el cambio climático. *Resolviendo necesidades locales con impactos globales*. Documento de trabajo. Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad, A.C., México. 43 págs.
- Schreider, S., Smith, D. & Jakeman, J. (2000). Climate change impacts on urban flooding. *Clim Chang* 47:91–115. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1005621523177>

- SIAP. (2017). (Sistema Agroalimentario y Pesquero). Estadística de producción agrícola. Disponible en: <http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos.php>
- Smit, B. (2006). Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Glob Environ Chang* 16:282–292
- Sullivan, C. & Meigh, J. (2005). Targeting attention on local vulnerabilities using an integrated index approach: the example of the climate vulnerability index. *Water Sci Technol* 51:69–78
- UNEP. (2009). IEA Training manual, Volume II. Vulnerability and impact assessments for adaptation to climate change. UNEP
- Wu, S., Yarnal, B. & Fisher, A. (2002). Vulnerability of coastal communities to sea-level rise: a case study of Cape May County, New Jersey, USA. *Clim Res* 22:255–270

## **CAPITULO II. VULNERABILIDAD DEL SECTOR AGRÍCOLA ANTE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL MUNICIPIO DE PALENQUE, CHIAPAS**

### **RESUMEN**

Los efectos del cambio climático son cada vez más evidentes. El sector agrícola se ha señalado particularmente como vulnerable ante impactos negativos por eventos de sequías e inundaciones; se prevé que a medida que aumente la variabilidad climática aumentará la pérdida de cultivos. La vulnerabilidad es una función de tres componentes: exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa; conocerla para una localidad o región hace necesarios estudios que permitan establecer cómo funcionan estos componentes en diferentes escalas. Los estudios a escala fina contribuyen a llevar a cabo estrategias de adaptación más puntuales que reduzcan la vulnerabilidad, esta visión conocida como bottom-up (de abajo hacia arriba) posibilita generar alternativas de sustento a la seguridad alimentaria, especialmente porque las poblaciones más vulnerables están en zonas rurales. En el presente estudio se evaluó el índice de vulnerabilidad del cultivo de maíz ante escenarios de cambio climático en el municipio de Palenque, Chiapas. El estudio se realizó a nivel de AGEB siguiendo la propuesta metodológica de Ahumada-Cervantes *et al.*, (2017), y considerando su aplicabilidad en zonas tropicales. El índice de vulnerabilidad se calculó para las 30 AGEBs del municipio y quedó distribuida como sigue: cinco mostraron muy alta vulnerabilidad, nueve tenían alta vulnerabilidad; diez con vulnerabilidad media, cuatro con baja vulnerabilidad y dos exhibieron muy baja vulnerabilidad. La aplicación y adaptación de esta metodología aporte de información para la región, como una herramienta que permite identificar la vulnerabilidad al interior del municipio y que permita proponer estrategias de adaptación al cambio climático.

## INTRODUCCIÓN

Los efectos del cambio climático se han venido manifestando con mayor frecuencia y magnitud, y uno de los sectores gravemente afectado es la agricultura. El sector agrícola es más sensible a las condiciones climáticas cambiantes (Menike & Arachchi, 2016); debido a la alta dependencia para su desarrollo en variables climáticas como la temperatura, radiación, precipitación, presión de vapor de agua en el aire y velocidad del viento. Se espera que el cambio climático aumente los brotes de plagas y enfermedades, incremente la frecuencia de eventos extremos como las sequías e inundaciones y, a medida que aumente la variabilidad climática aumentara la pérdida de las cosechas y la mortalidad del ganado (Harvey *et al.*, 2014).

Según las proyecciones del IPCC (2007), la productividad de importantes cultivos disminuiría, al igual que la productividad pecuaria y, en consecuencia, se verá comprometida la seguridad alimentaria. Esto podría ocasionar un incremento en el número de personas amenazadas por hambre, asociado al continuo crecimiento poblacional, por lo que la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) considera necesario que para el año 2050 se aumente un 60 % la producción agrícola para satisfacer la demanda de alimentos y de forrajes (Conforti, 2011).

Los países en desarrollo son los más vulnerables al cambio climático, esto debido a su dependencia económica en la agricultura, bajo capital para la creación de medidas de adaptación y por la exposición a los eventos extremos (Parry *et al.*, 2001). Al verse afectada la producción agrícola, afectará a las comunidades que dependen de ella; esto por la estrecha relación que existe entre la producción agrícola y los ingresos familiares de los pequeños agricultores. Así, el impacto negativo del cambio climático en el rendimiento de los cultivos aumenta la vulnerabilidad de los agricultores (Jamshidi *et al.*, 2019). Además, los pequeños agricultores son aún más vulnerables a una serie de factores de estrés social y ambiental (Easterling *et al.*, 2007), Como se observa, el cambio climático no solo tiene impacto en la producción agrícola, sino que además pone en riesgo el bienestar de los hogares y la seguridad alimentaria (Alam *et al.*, 2017).

En este sentido, la vulnerabilidad al cambio climático depende tanto de la exposición como del contexto de los sistemas productivos (Brooks *et al.*, 2005). Por ello, es pertinente conocer

la vulnerabilidad de cada sistema al cambio climático para generar medidas de adaptación adecuadas (Monterroso *et al.*, 2014).

El concepto de vulnerabilidad es multidimensional (Thornton *et al.*, 2006), varía entre el tiempo y en el espacio, depende de factores económicos, sociales, geográficos, demográficos, culturales, institucionales, de gobernanza y ambientales (Jamshidi *et al.*, 2019); además, es compleja y no está directamente relacionada a los fenómenos observados (Downing *et al.*, 2001). El IPCC (2007) ha definido la vulnerabilidad como: el “grado de susceptibilidad o de incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del cambio climático y, en particular, la variabilidad del clima y los fenómenos extremos. La vulnerabilidad dependerá del carácter, la magnitud y la rapidez del cambio climático a que esté expuesto un sistema, y de su sensibilidad y capacidad de adaptación”. Por lo tanto, la vulnerabilidad, al ser una función de los tres componentes: sensibilidad, capacidad de adaptación y exposición (Adger *et al.*, 2007), hace necesarios estudios que permitan establecer cómo funcionan estos componentes en diferentes escalas (Monterroso *et al.*, 2014). Subsecuentemente, la sensibilidad es el “grado en que un sistema resulta afectado, positiva o negativamente, por el cambio climático (IPCC, 2007). En otras palabras, la posibilidad al daño de los activos y los medios de vida se verán expuestos por el cambio climático (Heltberg & Bonch-Osmolovskiy, 2011). La exposición se relaciona con el grado de estrés climático sobre una unidad particular de análisis; ésta representa como cambios a largo plazo en las condiciones climáticas o por cambios en la variabilidad climática, incluida la magnitud y frecuencia de eventos extremos (o’Brien *et al.*, 2004). Finalmente, el IPCC (2014) define la capacidad de adaptación como: la “capacidad de los sistemas, las instituciones, los seres humanos y otros organismos para adaptarse ante posibles daños, aprovechar las oportunidades o afrontar las consecuencias”.

Sin embargo, no hay una medición única que sea capaz de describir adecuadamente la diversidad de vulnerabilidades clave o su escala de gravedad (IPCC, 2007). Por ello, para su adecuado estudio se ha abordado distintos enfoques como, por ejemplo, sobre un estrés en particular (aumento del nivel del mar, tormentas tropicales); centrados en un sector (turismo, agricultura, salud); o evaluando a su vez a distintas escalas y niveles. Éste último, particularmente, los estudios a escala fina, contribuyen a llevar a cabo estrategias adecuadas de adaptación más puntuales que reduzcan la vulnerabilidad, esta visión conocida como



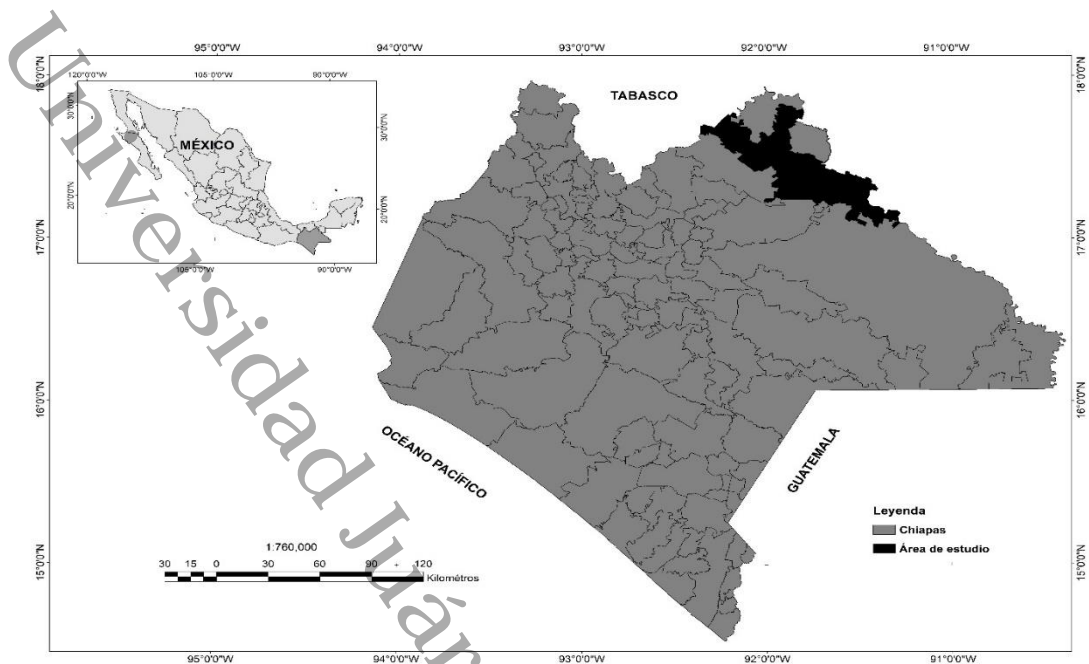
bottom-up o de abajo hacia arriba posibilita generar alternativas de sustento a la seguridad alimentaria (Ahumada-Cervantes *et al.*, 2017), particularmente porque las poblaciones más vulnerables están a nivel local, en las áreas agrícolas.

El presente estudio evaluó la vulnerabilidad en el municipio de Palenque, Chiapas, el cual está catalogado con alta vulnerabilidad al cambio climático por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC, 2013). Se calculó el índice de vulnerabilidad a escala local, a nivel de AGEB siguiendo la propuesta metodológica de Ahumada-Cervantes *et al.*, (2017). Dicha metodología solo ha sido aplicada en el municipio de Guasave, Sinaloa que corresponde a un clima más árido. El objetivo fue evaluar el índice de vulnerabilidad del cultivo de maíz ante escenarios de cambio climático y considerar su aplicabilidad en zonas tropicales. Conocer la distribución espacial de la vulnerabilidad del cultivo a los impactos del cambio climático, permitirá buscar estrategias de adaptación adecuadas en este contexto.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Delimitación y descripción del área de estudio**

El área de estudio es el municipio de Palenque, Chiapas, conocido por albergar a una de las principales ciudades mayas y ser un sitio arqueológico importante del sureste mexicano. Se encuentra entre las coordenadas 17°03' y 17°51' de latitud norte; y el meridiano 91°15' y 92°22' de longitud oeste; su altitud va de 0 y 900 msnm. Colinda al norte con los municipios de Catazajá y La Libertad; al sur con Chilón; al sureste con Ocosingo; al suroeste con Salto de Agua; al noreste con Tenosique; al noroeste con Macuspana, y al norte con Emiliano Zapata, los últimos tres municipios corresponden al estado de Tabasco (INEGI, 2005) (Figura 1).



**Figura 1. Mapa de ubicación del municipio de Palenque, Chiapas.**

**Fuente: elaboración propia.**

Con clima predominantemente cálido húmedo, tiene un rango de temperatura de 22°C a 28°C y precipitaciones en rangos de 1500 a 4500 mm. En el censo de Población y vivienda de 2010 del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) se registraron 694 localidades, de las cuales 693 son del ámbito rural. Su población total es de 110, 918 habitantes, el 61.3% corresponde a la población rural. Además, el 44.6 % de la población total es hablante de alguna lengua indígena (de 5 años y más). En relación al dato de población ocupada (35, 533 habitantes), el 48.8% se dedicaba a las actividades primarias como la agricultura, ganadería, aprovechamiento forestal, pesca y caza (INEGI, 2010) con un alto grado de marginación (CONAPO, 2015).

Según el Marco Geoestadístico Nacional del INEGI (2018), el municipio de Palenque cuenta con 31 AGEB. Los AGEB, son la extensión territorial que corresponde a la subdivisión de las áreas Geoestadísticas Municipales, y se constituye como la unidad básica del Marco Geoestadístico Nacional, que según sea sus características puede ser de dos tipos: AGEB urbana y AGEB rural. El presente estudio, se enfocó solo al AGEB de tipo rural, cuya extensión territorial es variable y se caracteriza por el uso del suelo de tipo agropecuario o forestal. La clasificación refleja localidades rurales y extensiones naturales como pantanos,

lagos, desiertos y otros, delimitada por lo general por rasgos naturales (ríos, arroyos, barrancas, etcétera) y culturales.

El municipio de Palenque tiene una extensión territorial de 2,886.85 km<sup>2</sup>. Según en el censo agropecuario de 2007 (INEGI, 2009), el municipio comprende 30 AGEBs rurales con algunas actividades agrícolas y que cuya extensión territorial va desde los 30.12 a los 339.92 km<sup>2</sup>. Estos AGEBs ocupan una superficie de 2,870.22 km<sup>2</sup> de las cuales 853.12 km<sup>2</sup> tienen actividad agrícola y de éstos el 99.84 % corresponden a superficies agrícolas de temporal.

El municipio cuenta con 9,216 unidades de producción (UP) dentro de los 30 AGEBs (las UP, que para el INEGI son áreas con o sin actividad agrícola o forestal, pertenecientes al mismo municipio, que se han gestionado bajo una administración familiar o comercial), de las cuales 7,454 unidades de producción realizan actividades agrícolas (UPA); de éstos el 89.6 % corresponde a los cultivos de maíz principalmente. El resto de las UPA están distribuidos en cultivos de frijol (*Phaseolus vulgaris*), chile (*Capsicum annum*), calabaza (*Cucurbita moschata*), algodón (*Gossypium hirsutum*), arroz (*Oryza sativa*), tomate (*Solanum lycopersicum*) y trigo (*Triticum spp*), además de otros cultivos perennes como pastos, café, naranja, cacao, plátano, aguacate, limón, mango y caña de azúcar (INEGI, 2009). De los ingresos de los productores, el 74.78% está relacionado con la actividad agrícola; el 99% de las UP no cuentan con cobertura de crédito y seguro, así como de mecanización agrícola.

### **Proceso de la evaluación del Índice de vulnerabilidad**

Para evaluar el índice de vulnerabilidad del cultivo de maíz ante escenarios de cambio climático, se identificaron y cuantificaron las variables de los tres componentes de vulnerabilidad que requiere el índice: exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa. La evaluación del índice de vulnerabilidad incluyó las siguientes etapas: 1) recolección de información, 2) estimación de la vulnerabilidad, 3) procesamiento de los datos, 4) correlación y significancia, 5) mapeo de la vulnerabilidad.

#### 1) Recolección de información

De acuerdo al índice de vulnerabilidad desarrollado por Ahumada-Cervantes *et al.* (2017), a partir de las variables de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación (Tabla 1) para evaluar la vulnerabilidad del sector agrícola a nivel local, las variables se cuantificaron en

función de la información disponibles en Centros de investigación: el Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE), para los datos climatológicos de los compuestos diarios en malla del CLICOM para el periodo base 1981-2008 (CICESE, 2019) y la Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales (UNIATMOS, 2019) de la Universidad Nacional Autónoma de México (proyecciones de cambio climático para la temperatura y la precipitación de los modelos HADGEM2-ES en el escenario RCP 8.5, período 2015–2039 y MPI-ESM-LR en el escenario RCP 8.5, período 2015–2039). También se usaron datos de las dependencias gubernamentales: el Centro Nacional para la Prevención de Desastres (CENAPRED) (ocurrencia de inundaciones y ciclones), el INEGI (el Censo Agrícola, Ganadero y Forestal de 2007 y el Censo de Población y Vivienda de 2010), el Servicio de Información de Alimentos y Pesca (SIAP) (rendimiento de los cultivos del periodo 2007-2011) y el Ayuntamiento de Palenque (el número de basureros clandestinos y la presencia de cuerpos de agua contaminados).

Todos los datos recabados se capturaron en el programa *Microsoft Excel* para ordenar, clasificar e identificar las variables de cada componente de la vulnerabilidad.

Cabe señalar que para este proceso se utilizaron los datos del censo de población y vivienda, 2010 que estaban disponibles al inicio de la investigación. Sin embargo, se realizó una revisión de los resultados que el INEGI ha compartido en el micrositio (censo 2020), los cuales no son específicos por nombre de localidad hasta el momento. No obstante, la metodología permite que la información pudiera ser actualizada conforme esté disponible con los datos del censo de población y vivienda 2020 del INEGI o el Censo Agrícola.

## 2) Estimación de la vulnerabilidad

La vulnerabilidad se determina a partir de factores sociales, económicos y ambientales que involucraban la producción agrícola en cualquier región, además dicha herramienta de indicadores puede ser aplicada en cualquier país a escala espacial parecida (Ahumada-Cervantes *et al.*, 2017). Las variables fueron agrupadas en tres dimensiones que componen la vulnerabilidad: la exposición, con 13 variables clasificadas en tres categorías (eventos extremos, problemas ambientales y clima); la sensibilidad, con 13 variables agrupadas en 4 categorías (población, servicios y salud, agricultura y economía) y la capacidad adaptativa

con 11 variables agrupadas en cuatro categorías (capital humano, capital financiero, infraestructura y agricultura) (tabla 1).

Tabla 1. Lista de variables agrupadas por subíndice de la vulnerabilidad y categoría.

Subíndice	Categoría	Código	Definición de variable
Exposición	Eventos extremos	E <sub>1</sub>	Frecuencia de los meses extremadamente secos, 1981–2010*.
		E <sub>2</sub>	Grado potencial de inundación.
		E <sub>3</sub>	Frecuencia de días con temperatura mínima por debajo de 5 °C, 1981–2010*.
		E <sub>4</sub>	Grado potencial de ocurrencia de ciclones.
	Problemas ambientales	E <sub>5</sub>	Presencia de dos problemas ambientales (vertido ilegal y contaminación del agua)*.
		E <sub>6</sub>	Unidades de producción (UP) con pérdidas debidas a un factor climático (%).
		E <sub>7</sub>	UP con pérdida de fertilidad del suelo (%).
	Clima	E <sub>8</sub>	Desviación estándar de la temperatura promedio en el mes, 1981–2010*.
		E <sub>9</sub>	Desviación estándar de la precipitación total en el mes, 1981–2010*.
		E <sub>10</sub>	Anomalía proyectada (°C) de la temperatura promedio para el modelo HADGEM2-ES en el escenario RCP 8.5, período 2015–2039.
		E <sub>11</sub>	Anomalía proyectada (°C) de la temperatura promedio para el modelo MPI-ESM-LR en el escenario RCP 8.5, período 2015–2039.
		E <sub>12</sub>	Disminución de la precipitación anual para el modelo HADGEM2-ES en el escenario RCP 8.5, período 2015–2039 (%).
		E <sub>13</sub>	Disminución de la precipitación anual para el modelo MPI-ESM-LR en el escenario RCP 8.5, período 2015–2039 (%).
Sensibilidad	Población	S <sub>1</sub>	Hogares encabezados por mujeres (%).
		S <sub>2</sub>	Población en hogares indígenas (%).
		S <sub>3</sub>	Población menor de 6 años (%).
		S <sub>4</sub>	Densidad poblacional rural.
	Servicios y salud	S <sub>5</sub>	Hogares que no cuentan con ninguno de los siguientes servicios: agua, electricidad, servicios y acceso a alcantarillas o sistemas sépticos %.
		S <sub>6</sub>	Población sin acceso a servicios de salud (%).
	Agricultura	S <sub>7</sub>	UP con agricultura (UPA) (%).
		S <sub>8</sub>	UPA productor de maíz (%).
		S <sub>9</sub>	Rendimiento promedio del maíz en el período 2007–2011 (ton/ha).
		S <sub>10</sub>	Área agrícola del AGEB (%).
		S <sub>11</sub>	Área agrícola sin acceso a riego (%).

	Económico	S <sub>12</sub>	Número de dependientes económicos por productor agrícola.
		S <sub>13</sub>	Ingresos del productor relacionados con la agricultura (%).
Capacidad adaptativa	Capital humano	A <sub>1</sub>	Población de 15 años y más que puede leer o escribir (%).
		A <sub>2</sub>	Asistencia escolar por personas de 6 a 14 años (%).
	Capital financiero	A <sub>3</sub>	UPA con acceso a algún tipo de soporte (%).
		A <sub>4</sub>	UPA con cobertura de crédito y seguro (%).
		A <sub>5</sub>	Apoyo gubernamental promedio de UPA.
		A <sub>6</sub>	UPA que recibe ingresos no relacionados con la agricultura (%).
	Infraestructura	A <sub>7</sub>	Infraestructura de riego**.
		A <sub>8</sub>	UPA con mecanización agrícola (%).
		A <sub>9</sub>	Densidad de la red de carreteras (km/km <sup>2</sup> ).
	Agricultura	A <sub>10</sub>	UPA con uso de fertilizante (%).
		A <sub>11</sub>	Índice de diversidad de cultivos.

Fuente: Ahumada-Cervantes *et al.*, 2017. \* Variable modificada. \*\* Eliminada por ausencia de información.

En esta investigación se aplicó el conjunto de indicadores como la proponen Ahumada-Cervantes *et al.*, (2017), a excepción de las siguientes variables que fueron modificadas: Frecuencia de días con temperatura mínima por debajo de 5 °C, 1981–2010 (E<sub>3</sub>) por Frecuencia de días con temperatura máxima de 30 °C, 1981–2008, ya que en el municipio no presenta temperaturas extremas por debajo de 5°C. Presencia de dos problemas ambientales (vertido ilegal y contaminación del agua) (E<sub>5</sub>) por Presencia de basureros clandestinos, la contaminación de cuerpos de agua no está registrado en el municipio; la variable Infraestructura de riego (A<sub>7</sub>) fue eliminada por que dicha infraestructura no existe en el municipio y la información utilizada en las variables de E<sub>1</sub>, E<sub>3</sub>, E<sub>8</sub>, E<sub>9</sub> corresponde a los años de 1981-2008 que fue la información disponible.

### 3) Procesamiento de los datos

Todas las variables se estandarizaron de acuerdo con la siguiente ecuación de una transformación lineal:

$$X_s = \frac{X - \min X}{\max X - \min X}$$

Donde X<sub>s</sub>, es el valor estandarizado de s y mínimo X y máximo X, se obtienen del conjunto de valores de todas las AGEBS.

Para la agregación de las variables a los subíndices se utilizaron los promedios simples, donde asumen que todas las variables tienen el mismo peso. Luego se procedió al cálculo de cada subíndice agregando algebraicamente las variables estandarizadas por categoría y luego las categorías en cada subíndice. La exposición (E), la sensibilidad (S) y la capacidad adaptativa (AC) se obtienen con las siguientes ecuaciones de acuerdo con los códigos asignados a cada variable para cada componente:

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

$$S = \frac{\frac{S_1 + S_2 + S_3 + S_4}{4} + \frac{S_5 + S_6}{2} + \frac{S_7 + S_8 + S_9 + S_{10} + S_{11}}{5} + \frac{S_{12} + S_{13}}{2}}{4}$$

$$AC = \frac{\frac{A_1 + A_2}{2} + \frac{A_3 + A_4 + A_5 + A_6}{4} + \frac{A_7 + A_8 + A_9}{3} + \frac{A_{10} + A_{11}}{2}}{4}$$

De acuerdo a la metodología de propuesta por Heltberg & Bonch-Osmolovskiy (2011), el índice de la vulnerabilidad se obtiene al tomar el promedio aritmético no ponderado de los tres subíndices, como el método más simple y menos arbitrario disponible; esto se hace para evitar el arbitraje en la determinación de los pesos y evitar cualquier elemento de subjetividad en la elección de los pesos respectivos. El índice de vulnerabilidad se obtiene con la siguiente ecuación:

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

Así, un mayor grado de exposición y sensibilidad conduce a una mayor vulnerabilidad, mientras que un mayor grado de capacidad de adaptación representa una menor vulnerabilidad. La capacidad de adaptación se resta del valor estandarizado de 1 en la ecuación VI para reflejar la proporcionalidad inversa entre vulnerabilidad y capacidad de adaptación.

#### 4) Correlación y significación

Se aplicó el *coeficiente de correlación lineal de Pearson* con la finalidad de determinar la relación que guardan: 1) Los subíndices con la vulnerabilidad y 2) Las categorías y los indicadores individuales con la vulnerabilidad. De esta manera, se identificó el aporte de cada uno de los subíndices a la vulnerabilidad, así como las categorías e indicadores que mejor explican cada uno de estos parámetros.

### 5) Mapeo de la vulnerabilidad

La distribución espacial de la vulnerabilidad agrícola al cambio climático en el municipio de estudio fue mapeada, para ello, se normalizaron los valores para obtener valores finales en una escala de 0 a 5, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$V_{normalizado} = 5 \times \frac{V - V_{min}}{V_{max} - V_{min}}$$

Donde  $V_{normalizado}$  es el valor normalizado de vulnerabilidad para un AGEB dado,  $V$  es el valor de vulnerabilidad para un AGEB dado,  $V_{min}$  es el valor mínimo del conjunto de valores ( $v$ ) y  $V_{max}$  es el valor máximo del mismo conjunto de valores ( $v$ ).

Los valores de vulnerabilidad normalizados se clasificaron en cinco niveles según la siguiente escala:

- 1) Muy baja,  $0 \leq V_{normalizado} < 1$ ;
- 2) Baja,  $1 \leq V_{normalizado} < 2$ ;
- 3) Media,  $2 \leq V_{normalizado} < 3$ ;
- 4) Alta,  $3 \leq V_{normalizado} < 4$ ; y
- 5) Muy alta,  $4 \leq V_{normalizado} < 5$

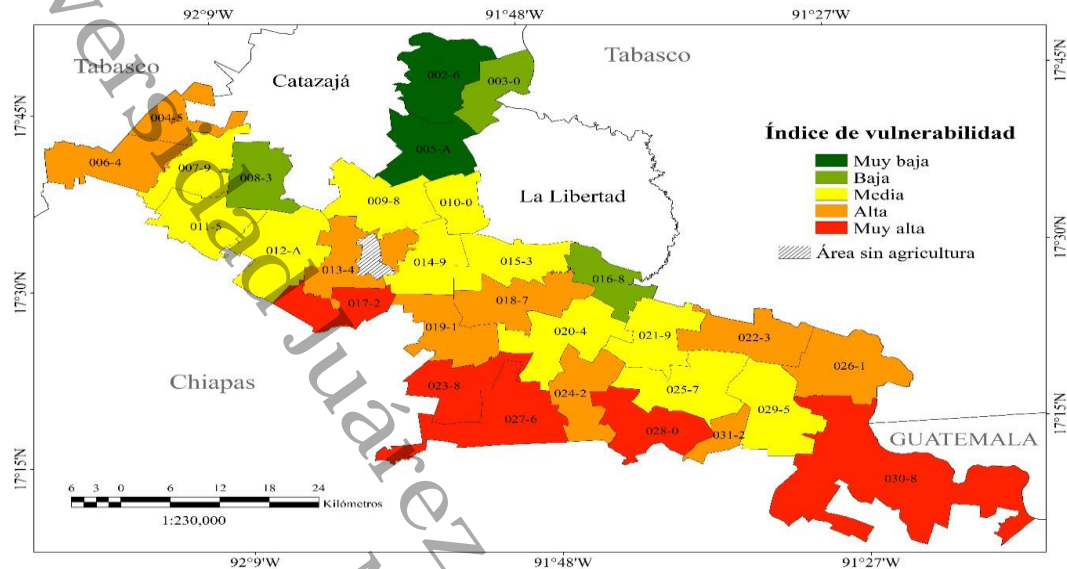
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La distribución espacial del índice de vulnerabilidad del cultivo de maíz al interior del municipio de Palenque, Chiapas se muestra en la figura 2. Visualizar esta distribución espacial es importante ya que permite la detección de las áreas más vulnerables para llevar a cabo acciones de medidas de adaptación acordes a las necesidades de cada área. Facilita la comunicación de la complejidad, que es clave para reducir la vulnerabilidad (Preston *et al.*, 2011) al cambio climático.

El trabajo a una escala local muestra una realidad diferente a escalas espaciales más grandes que puede llevar a creer que la situación sea más homogénea y dificultar la identificación de las áreas más vulnerables dentro de un municipio (Ahumada-Cervantes *et al.*, 2017). En el estudio realizado por Monterroso *et al.* (2014) para el sector agrícola mexicano a escala a nivel municipal, el municipio de Palenque está catalogado con alta vulnerabilidad al



cambio climático y en este estudio a nivel de AGEB se tiene un panorama más detallado al interior del municipio en el cual muestra que están presentes las cinco categorías de vulnerabilidad.



**Figura2. Distribución espacial del índice de vulnerabilidad del sector agrícola de Palenque ante el cambio climático, los AGEBs se muestran con sus respectivos códigos.**

Considerando los AGEBs que se encontraron en la clasificación de vulnerabilidad muy alta, alta y media, representan el 83.3 % y en cuanto a su número habitantes representa el 93.4 % del total de la población rural (datos a partir del censo del INEGI, 2010) que vive en las áreas agrícolas de maíz más vulnerables al cambio climático.

Los resultados del índice de vulnerabilidad por AGEB del cultivo de maíz en el municipio de Palenque Chiapas se explica a partir de los tres componentes de vulnerabilidad: exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa.

## Exposición

Los resultados indican que los AGEBs clasificados con muy alta exposición fueron los codificados como 023-8 y 028-0 (Tabla 2); el AGEB 023-8 su exposición se explica por tener el más alto porcentaje de UP con pérdidas de fertilidad del suelo, además de tener valor alto en cuanto a porcentajes de UP con pérdidas debidas a factores climáticos. El AGEB 028-0 se debió principalmente a la variable de UP con pérdidas debidas a factores climáticos y a variables climáticas (por la anomalía proyectada de temperatura media para el modelo HADGEM2-ES y MPI-ESM-LR) (Figura 3). De acuerdo al Censo de población y vivienda del INEGI (2010), de la población rural, el 9.3 % se encuentran en AGEBs agrícolas de muy alta exposición a los efectos del cambio climático.

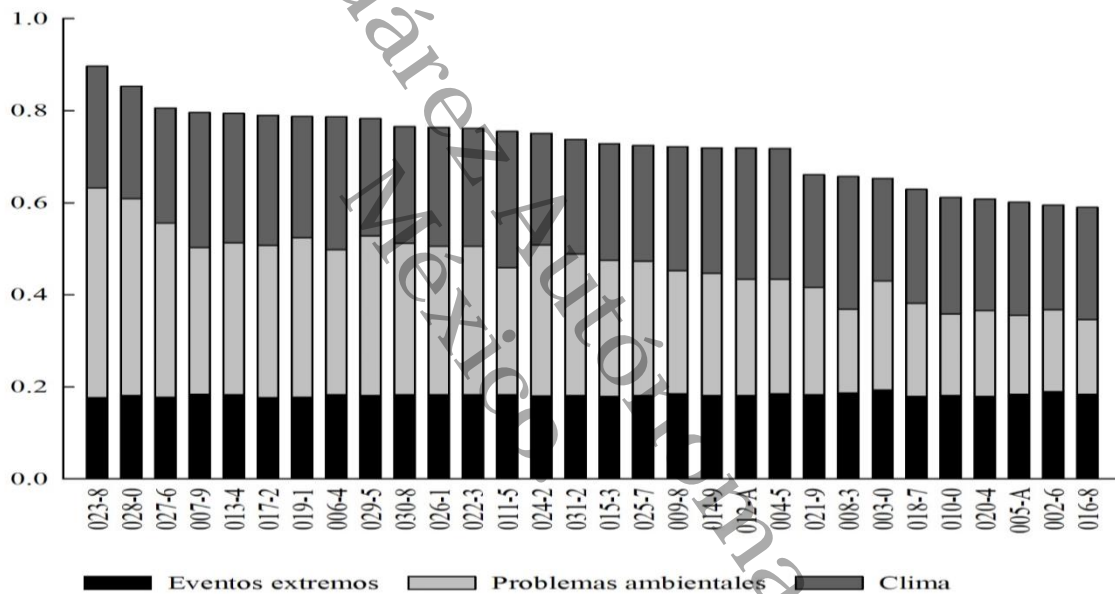
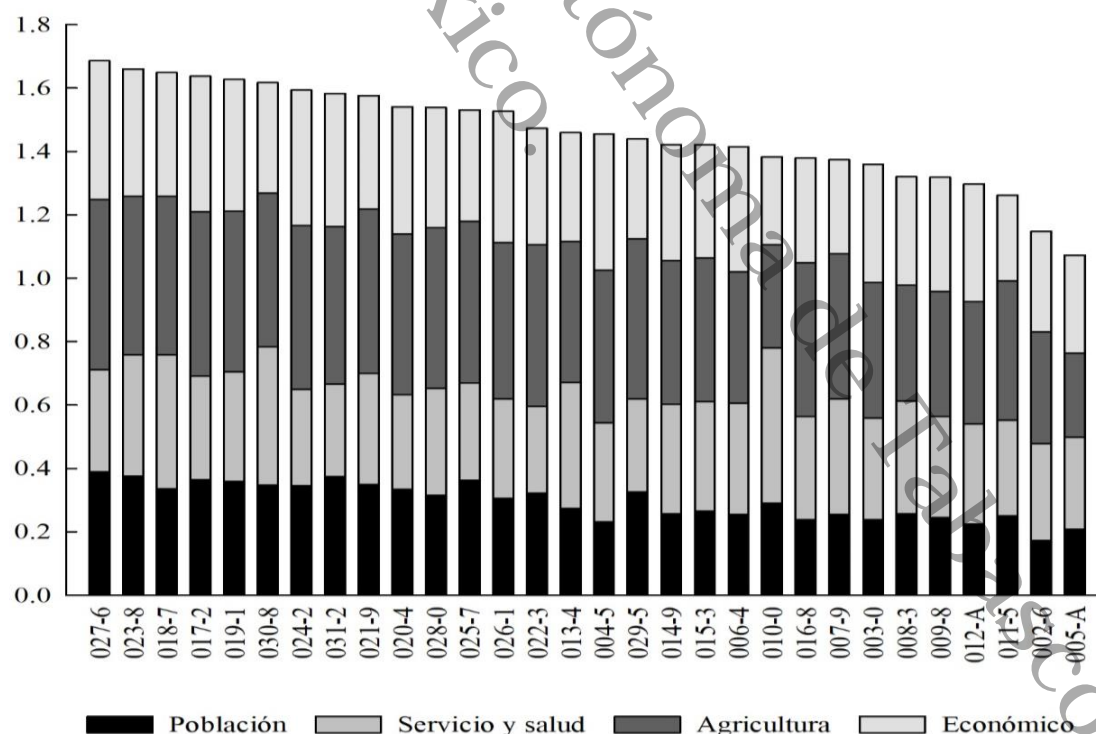


Figura 3. Subíndice de exposición

## Sensibilidad

Nueve AGEBs fueron clasificados en la categoría de muy alta sensibilidad a los efectos de cambio climático, en conjunto agrupan el 47.3% de la población rural del municipio. Esto se debió a la afectación de las siguientes variables: el porcentaje de población en hogares indígenas afectó a los AGEBs 027-6, 023-8, 017-2, 019-1, 030-8 y 031-2; la variable de población menor de 6 años al AGEB 030-8; la variable de densidad de población rural afectó a los AGEBs 023-8 y 031-2; el porcentaje de población sin acceso a servicios de salud afectó a los AGEBs 018-7, 019-1 y el 030-8; la variable de porcentajes de UPA perjudicó a los AGEBs 027-6, 017-2, 019-1, 030-8, 024-2 y 021-9; el porcentaje de UPA con siembra de maíz hizo sensibles a los AGEBs 027-6, 023-8, 018-7, 017-2, 030-8, 024-2, 031-2 y 021-9; la variable de porcentaje de área agrícola del AGEB afectó principalmente al AGEB 027-6; el porcentaje de área agrícola sin acceso a riego a los AGEBs 027-6, 023-8, 018-7, 017-2, 019-1, 030-8, 024-2, 031-2 y el 021-9; la variable de número de dependientes económicos por productor agrícola al AGEB 027-6; y finalmente la variable de porcentaje de ingresos del productor relacionados con la agricultura afectó principalmente a los AGEBs 027-6, 017-2, 019-1, 024-2 y 031-2. (Figura 4).



**Figura 4. Subíndice de sensibilidad**

## Capacidad adaptativa

Cuatro AGEBS exhibieron muy baja capacidad adaptativa: 010-0, 017-2, 026-1 y 006-4. En ellos habitan el 11.3% de la población rural del municipio. El AGEBS 010-0 obtuvo el porcentaje más bajo de asistencia escolar por personas de seis a catorce años; por valor y porcentajes bajos de las variables de infraestructura y la falta de uso de fertilizantes en las UPA. La baja capacidad adaptativa del AGEBS 017-2 se explicó por las variables con bajos valores que componen la categoría de infraestructura y agricultura. El AGEBS 026-1, se determinó su baja capacidad adaptativa por la falta de mecanización agrícola y uso de fertilizantes en las UPA. Y para el AGEBS 006-4 se debió a porcentajes bajos del capital financiero y de mecanización agrícola en las UPA (Figura 5).

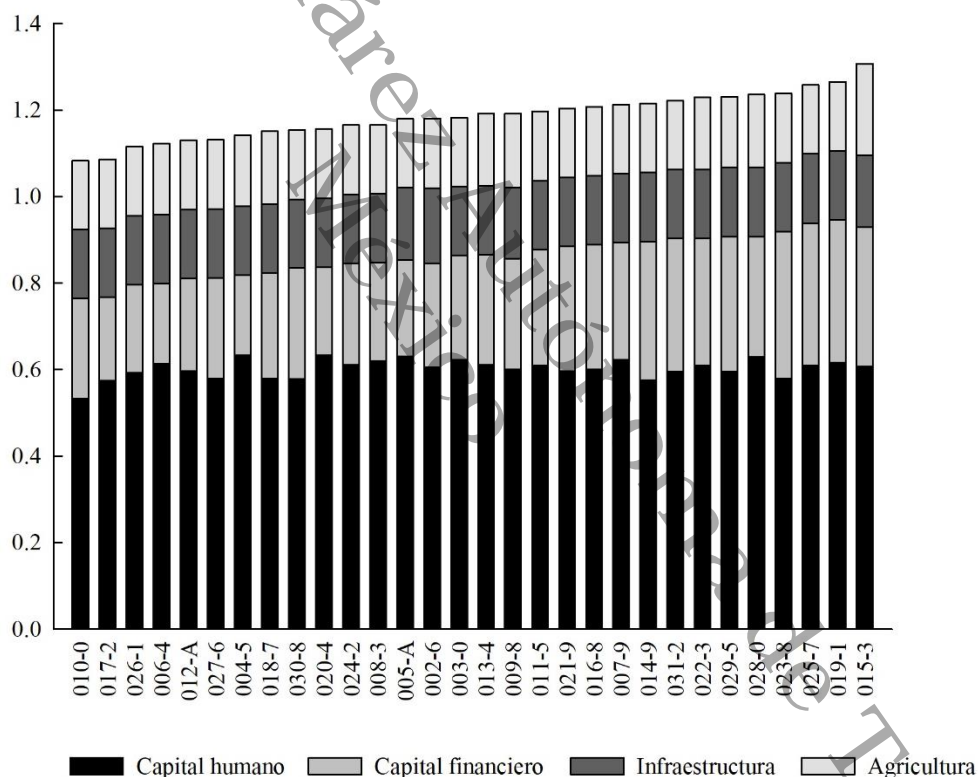


Figura 5. Subíndice de capacidad adaptativa.

### Índice de vulnerabilidad

Finalmente, al integrarse los tres componentes para obtener el índice de la vulnerabilidad para cada uno de los 30 AGEBs que corresponde el municipio, se obtuvieron los siguientes resultados: cinco AGEBs mostraron muy alta vulnerabilidad; nueve obtuvieron alta vulnerabilidad; once se clasificaron con vulnerabilidad media; tres con baja vulnerabilidad y dos exhibieron muy baja vulnerabilidad (Tabla 2).

Tabla 2. Los valores obtenidos de la exposición, la sensibilidad y la capacidad de adaptativa para cada una de los 30 AGEBs. Letras cursivas para los valores altos de la exposición y la sensibilidad y bajos para la capacidad adaptativa, respectivamente.

Clave	Exposición	Sensibilidad	Capacidad adaptativa
002-6	0.198	0.287	0.295
003-0	0.218	0.340	0.296
004-5	0.240	0.364	0.286
005-A	0.200	0.268	0.295
006-4	0.262	0.354	0.280
007-9	0.265	0.343	0.303
008-3	0.219	0.330	0.291
009-8	0.241	0.330	0.298
010-0	0.204	0.346	0.271
011-5	0.252	0.316	0.299
012-A	0.240	0.324	0.282
013-4	0.264	0.365	0.298
014-9	0.240	0.355	0.304
015-3	0.242	0.355	0.326

016-8	0.197	0.345	0.302
017-2	0.263	0.409	0.271
018-7	0.210	0.412	0.288
019-1	0.263	0.407	0.316
020-4	0.203	0.385	0.289
021-9	0.220	0.394	0.301
022-3	0.254	0.368	0.307
023-8	0.299	0.415	0.309
024-2	0.250	0.399	0.291
025-7	0.241	0.383	0.315
026-1	0.255	0.382	0.279
027-6	0.269	0.421	0.283
028-0	0.285	0.385	0.309
029-5	0.261	0.360	0.308
030-8	0.255	0.404	0.288
031-2	0.246	0.396	0.305

Fuente: elaboración propia. Los colores indican el Índice de vulnerabilidad para cada AGEB, según en la Figura 2.

### **Correlación y significancia**

La vulnerabilidad del sector agrícola en el municipio frente al cambio climático tuvo correlaciones lineales positivas (Pearson), significativa con el subíndice de la exposición (0.76), correlación fuerte con el subíndice de la sensibilidad (0.91), esto explica que a medida que aumenta la exposición o la sensibilidad también lo hace la vulnerabilidad. Por otro lado, en el caso de la capacidad adaptativa, presentó una correlación negativa (-0.13), consecuentemente, a medida que ésta aumenta la vulnerabilidad tiende a disminuir. Dicho comportamiento en los subíndices fue obtenido en trabajos como los realizados por Monterroso *et al.*, (2014), Ahumada-Cervantes *et al.*, (2017), Malik *et al.*, (2012), entre otros. En este trabajo, la correlación resultó estadísticamente significativa ( $p < 0.001$ ) para dos componentes de la vulnerabilidad: la exposición y la sensibilidad, éste último coincide con los trabajos de Ahumada-Cervantes *et al.* (2017).

Por otro lado, al observar en las categorías que están agrupadas las variables, los que explicaron mejor la vulnerabilidad en el subíndice de la exposición fueron los eventos extremos con correlación lineal moderada negativa de -0.64 y los problemas ambientales con una correlación lineal significativa de 0.79. La dirección negativa de la correlación de los eventos extremos puede deberse a los valores muy bajos obtenidos para las variables que lo integran; por ejemplo, la frecuencia de los meses extremadamente secos y con temperatura máxima de 30°C para el año base (1981-2008) oscilan entre 3 a 17 y de 0 a 3 meses respectivamente y el grado potencial de ocurrencia de ciclones en el municipio es muy baja. Esto probablemente debido a problemas de escala y la falta de información del microclima a la que se obtuvieron los datos. Así mismo, en el subíndice de la sensibilidad, el grupo de variables que se correlacionaron con el índice de la vulnerabilidad fueron las variables de población con correlación lineal fuerte de 0.81, seguido de las variables agrícolas con correlación significativa de 0.75 y el grupo de variables económicas con correlación moderada de 0.66. Finalmente, en la capacidad adaptativa el grupo de variables que mejor explican la vulnerabilidad, fue la categoría de infraestructura que tuvo una correlación lineal negativa moderada de -0.61. Todas las correlaciones fueron estadísticamente significativas ( $p < 0.001$ ).

En cuanto a las correlaciones de las variables con el índice de vulnerabilidad, las variables que integran el componente de la exposición se correlacionaron con las variables de las UP con pérdidas debidas a factores climáticos y UP con pérdidas de fertilidad del suelo (0.69 y 0.60, respectivamente). Estas variables han afectado a la agricultura local de 18 AGEBs en más del 50% de sus UP y a 7 AGEBs con más del 30% de sus UP, respectivamente. Este componente, al integrar factores climáticos y en un municipio pequeño (2,886.85 km<sup>2</sup>) hace que no sean perceptibles los cambios dentro de los AGEBs, por ello es evidente, que dicha vulnerabilidad local se explique mejor con la sensibilidad (Ahumada-Cervantes *et al.*, 2017). Cabe señalar que, las variables de disminución de la precipitación anual para los modelos HADGEM2-ES y MPI-ESM-LR ambos en el escenario RCP 8.5 y período 2015–2039, no hubo correlación; sin embargo, se espera un incremento del 16.7% y 8.6 %, respectivamente para cada modelo.

Ahora bien, las variables de la sensibilidad como población en hogares indígenas, población menor de seis años, densidad de población rural, UP con agricultura, UPA productor de maíz, área agrícola del AGEB, número de dependientes económicos por productor agrícola e ingresos del productor relacionados con la agricultura estuvieron correlacionados con la vulnerabilidad (0.74, 0.77, 0.74, 0.70, 0.69, 0.58, 0.84 y 0.64, respectivamente). A partir de esta información, de los cinco AGEBs muy vulnerables, se encontró que el 89% de su población están en hogares indígenas, tienen 16% de población menor de 6 años; su densidad de población rural es de 35 habitantes / km<sup>2</sup> lo que es muy alto respecto a la densidad promedio de los AGEBs (24 hab / km<sup>2</sup>). El 92% de sus UP tienen actividad agrícola, el 97% de sus UPA son productoras de maíz y el 39% de la superficie de los AGEB son de áreas agrícolas. El productor agrícola tiene al menos 4 dependientes económicos y el 86% de los ingresos del productor están relacionados con la actividad agrícola, lo que demuestra la alta dependencia de las poblaciones rurales a la agricultura.

El subíndice de sensibilidad es el que mejor explica la vulnerabilidad de los AGEBs al correlacionarse más las variables individuales respecto a la vulnerabilidad general. Autores como Heltberg & Bonch-Osmolovski (2011), señalan en un estudio de caso en Tajikistan, que el índice de vulnerabilidad general varía según con las condiciones socioeconómicas y el desarrollo institucional. En este sentido, enfocar acciones para la mejora de éstas



condiciones reduce la vulnerabilidad al cambio climático al reducir la sensibilidad y mejorar la capacidad de adaptación de la población (Malik *et al.*, 2012).

De las variables del subíndice de la capacidad adaptativa, la que explicó la vulnerabilidad fueron la variable de población de 15 años y más que pueden leer o escribir que se correlacionó moderadamente con -0.51. Al menos cinco AGEBS tenían en promedio 67.55% de población alfabeta. La variable de UP con mecanización agrícola que se correlacionó con -0.61. El 99.5% de los AGEBS no cuentan con mecanización agrícola; esto hace que aumente la vulnerabilidad del sector agrícola frente al cambio climático. Estudios como los de Ahumada-Cervantes *et al.*, (2017), no encontraron correlación de estas variables respecto a la vulnerabilidad general.

### **RECOMENDACIONES DE ADAPTACIÓN**

Por todo lo anterior, es necesario implementar medidas de adaptación para reducir la vulnerabilidad frente al cambio climático para el municipio de Palenque, prestar más atención en la mejora de las variables que aumenten la vulnerabilidad de los AGEBS, descrita en la Tabla 3 (solo se muestran las variables que tuvieron correlación significativa). Además, mejorar las condiciones socioeconómicas de las personas para disminuir la sensibilidad y aumentar la capacidad adaptativa, así como adoptar e introducir variedades mejoradas de cultivos resistentes a las nuevas condiciones climáticas, promover la conservación del suelo y la diversificación de los cultivos, así como la diversificación de las actividades productivas. Este último, contribuye a que el productor agrícola tenga ingresos variados y que dependan menos de la agricultura.

Por otra parte, la agricultura en el municipio, al ser de temporal y de autoconsumo, no cuenta con mecanización agrícola o acceso a cobertura de crédito y seguro, por esta razón, es necesario incrementar el uso sostenible de fertilizantes para una mayor productividad de los cultivos. Al ser un municipio con cultivos agrícolas de temporal, sería necesario adecuar los calendarios de cultivos a las nuevas condiciones climáticas. La promoción y acceso a la información acerca de los cambios en el clima es primordial, de este modo las personas estarían mejor preparadas para enfrentar las nuevas condiciones impuestas por el cambio climático.

Tabla 3. Variables que más contribuyeron a la vulnerabilidad y Áreas Geoestadísticas Básicas según su grado de vulnerabilidad.

Código	Variables que contribuyeron a la vulnerabilidad	Áreas Geoestadísticas Básicas		
		Muy alto	Alto	Medio
S2	Población en hogares indígenas (%)	027-6; 023-8; 017-2; 030-8	024-2; 019-1; 031-2	
S3	Población menor de 6 años (%)	030-8		
S4	Densidad poblacional rural	027-6; 023-8	031-2	025-7
S7	% de UPA	027-6; 017-2; 030-8	024-2; 026-1; 019-1	021-9; 029-5
S8	UPA con maíz %	027-6; 023-8; 017-2; 030-8; 028-0	024-2; 026-1; 031-2; 018-7; 022-3	021-9; 029-5; 020-4; 015-3
S10	Área agrícola del AGEB (%)	027-6		021-9; 025-7
S12	Número de dependientes económicos por productor agrícola (dep/prod)	027-6; 023-8; 017-2; 030-8	024-2; 026-1; 019-1; 031-2; 018-7; 004-5	029-5; 025-7
S13	Ingresos del productor relacionados con la agricultura (%)	027-6; 017-2	024-2; 026-1; 019-1; 031-2; 004-5	

E6	Unidades de producción (UP)	027-6; 023-8;	024-2; 026-1;	029-5; 025-7;
	con pérdidas debidas a un factor climático (%)	017-2; 030-8;	019-1; 031-2;	007-9; 014-9;
		028-0	006-4; 013-4;	009-8; 015-3
			022-3	
E7	UP con pérdida de fertilidad del suelo (%)	027-6; 023-8;		
		028-0		
A1	Población de 15 años y más que puede leer o escribir (%)	027-6; 017-2;	031-2; 018-7	
		030-8		
A8	PU con mecanización agrícola (%)	027-6; 023-8;	019-1; 031-2;	021-9; 029-5;
		017-2; 030-8;	018-7; 006-4;	025-7; 007-9;
		028-0	013-4; 004-5;	020-4; 014-9;
			012-A; 010-0;	
			022-3	011-5

Por lo anterior, las recomendaciones y acciones pueden ser apoyadas a través de programas gubernamentales como la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) o la Secretaría del Bienestar. Por consiguiente, la implementación y el desarrollo de las acciones dependerá en gran medida de las capacidades de gestión de la población y de las autoridades locales.

## CONCLUSIONES

El sector agrícola, particularmente los cultivos de maíz en el municipio de Palenque, Chiapas, es vulnerable a los impactos del cambio climático. Es una actividad preponderantemente de temporal que practican en la mayor parte en las áreas rurales del municipio, dicho sistema los hace vulnerables y aunado a la falta de capacidad para hacer frente a las nuevas condiciones impuestas por el cambio climático.

La vulnerabilidad se evaluó a partir de una herramienta de indicadores propuesta por Ahumada-Cervantes, *et al.*, (2017) que permite identificar la vulnerabilidad al interior del municipio, a escala local. Con ello se construyó y se elaboró un mapa del índice de vulnerabilidad al cambio climático del sector agrícola para el municipio.

La aplicabilidad de esta herramienta de indicadores contribuye a la identificación a escala local de las áreas más vulnerables dentro de un municipio con clima tropical. Con bases a los autores, señalan que, para la aplicación de la metodología, se deben realizar ajustes según la disponibilidad de la información.

Para el municipio de Palenque se identificó ausencia en la información que se requería, como es el caso de la falta de datos de infraestructura de riego (A<sub>7</sub>) que no se incluyó por no existir este sistema en el municipio, la falta de datos de la presencia de dos problemas ambientales (E<sub>5</sub>) que cita la metodología por lo que solo se tomó en cuenta un problema (basureros clandestinos) y se realizó una modificación de la variable de frecuencia de días con temperatura mínima de 5 °C a máxima de 30 °C (E<sub>3</sub>) al no presentarse esta variable en esta región.

Por otro lado, recorridos de campo muestran que la mayor parte de la información disponible esta desactualizada tanto para el caso del censo agrícola 2007, como para el censo de población y vivienda 2010, a más de diez años, mucho ha cambiado al interior de las localidades, por ejemplo, la variable E<sub>5</sub> (cuerpos de agua contaminados) ya que el crecimiento poblacional en las localidades ha presionado para más servicios como el drenaje o fosas sépticas, que van a caer hacia los ríos y tal información aún no se han registrado en los datos oficiales.

El municipio de Palenque es altamente vulnerable ante los efectos de cambio climático, particularmente por la sensibilidad de las áreas que tienen altos porcentajes de zonas agrícolas con maíz y sin acceso a riego, aunado a la alta dependencia de esta actividad y a sus ingresos.

Sin embargo, los resultados del estudio indican con los datos utilizados, que los esfuerzos de medidas de adaptación deben ser dirigidas urgentemente en el 80% de los AGEBs que cuenta el municipio. Si bien, el municipio está catalogado como no idóneo para el cultivo de maíz de acuerdo a los requisitos agroclimáticos y ambientales para este cultivo (Monterroso-Rivas *et al.*, 2011), cabe resaltar que la producción del mismo va más allá del comercio, ya que es una actividad tradicional y primordialmente utilizada para el autoconsumo para casi la totalidad de su población rural (91.12 %) que se encuentran en estas áreas altamente vulnerables, lo que es una grave amenaza a su seguridad alimentaria.

La aplicación y adaptación de esta metodología es un aporte a la información para la región, ya que es una herramienta que permite identificar la vulnerabilidad al interior del municipio, a escala local, y a pesar de la desactualización que tiene los datos usados para esta investigación, este proceso puede ser fácilmente actualizado cuando los resultados tanto del censo de población y vivienda 2020 del INEGI como los del Censo Agrícola estén disponibles.

## REFERENCIAS

- Adger, W. N., Agrawal, S., Mirza, M., Conde, C., o'Brien, K., Pulhin, J., Pulwarty, R., Smit, B., & Takahashi, K. (2007). *Assessment of adaptation practices, options, constraints and capacity*.
- Ahumada-Cervantes, R., Velázquez-Angulo, G., Rodríguez-Gallegos, H. B., Flores-Tavizón, E., Félix-Gastélum, R., Romero-González, J., & Granados-Olivas, A. (2017). An indicator tool for assessing local vulnerability to climate change in the Mexican agricultural sector. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 22(1), 137-152. <https://doi.org/10.1007/s11027-015-9670-z>
- Alam, M. M., Siwar, C., Talib, B. A., & Wahid, A. N. (2017). Climatic changes and vulnerability of household food accessibility. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*.
- Brooks, N., Adger, W. N., & Kelly, P. M. (2005). The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global environmental change*, 15(2), 151-163.
- CICESE (2019). Compuestos diarios en malla del CLICOM. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. Disponible en <http://clicom-mex.cicese.mx/malla> , Recuperado en enero 2019.
- CONAPO. (2015). *Datos abiertos del índice de marginación. Índice de marginación por municipio 1990-2015*. Retrieved 21 de febrero del 2019 from [http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Datos\\_Abiertos\\_del\\_Indice\\_de\\_Marginacion](http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Datos_Abiertos_del_Indice_de_Marginacion)
- Conforti, P. (2011). *Looking ahead in world food and agriculture: perspectives to 2050*. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <http://www.fao.org/3/i2280e/i2280e.pdf>
- Downing, T. E., Butterfield, R., Cohen, S., Huq, S., Moss, R., Rahman, A., Sokona, Y., & Stephen, L. (2001). Vulnerability indices: climate change impacts and adaptation. *UNEP Policy Series, UNEP, Nairobi*.
- Easterling, W. E., Aggarwal, P. K., Batima, P., Brander, K. M., Erda, L., Howden, S. M., Kirilenko, A., Morton, J., Soussana, J.-F., & Schmidhuber, J. (2007). Food, fibre and

- forest products. *Climate change*, 2007, 273-313.  
<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg2-chapter5-1.pdf>
- Harvey, C. A., Rakotobe, Z. L., Rao, N. S., Dave, R., Razafimahatratra, H., Rabarijohn, R. H., Rajaofara, H., & MacKinnon, J. L. (2014). Extreme vulnerability of smallholder farmers to agricultural risks and climate change in Madagascar. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(1639), 20130089.
- Heltberg, R., & Bonch-Osmolovskiy, M. (2011). Mapping vulnerability to climate change. *World Bank policy research working paper*(5554).  
<https://ssrn.com/abstract=1754347>
- INECC. (2013). *Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Vulnerabilidad al cambio climático en los municipios de México*. Retrieved 12 de agosto del 2019 from <http://peacc.jalisco.gob.mx/BoletinMunicipiosVulnerablesalCambioClimaticoINEC C.pdf>
- INEGI. (2005). *Marco Geo estadístico municipal. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos Palenque, Chiapas*. Retrieved [http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos\\_geograficos/07/07065 .pdf](http://www3.inegi.org.mx/contenidos/app/mexicocifras/datos_geograficos/07/07065 .pdf) from
- INEGI. (2009). Censo agropecuario 2007. VIII Censo Agrícola, ganadero y forestal. Aguascalientes, Aguascalientes, México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (2010). Principales resultados por localidad (ITER) del Censo de Población y Vivienda 2010. Disponible en [https://inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/#Datos\\_abiertos](https://inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/#Datos_abiertos)
- INEGI. (2018). *Mapas. Marco Geoestadístico*. Retrieved junio de 2018 from <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463592587>
- IPCC. (2007). “*Cambio Climático 2007: Impacto, Adaptación y Vulnerabilidad*”. Retrieved 25 de febrero del 2019 from <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2020/02/ar4-wg2-sum-vol-sp.pdf>
- IPCC. (2014). Cambio climático 2014: Informe de síntesis. *Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de*

- Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, Suiza: IPCC. Recuperado de <http://www.ipcc.ch/index.htm>.*
- Jamshidi, O., Asadi, A., Kalantari, K., Azadi, H., & Scheffran, J. (2019). Vulnerability to climate change of smallholder farmers in the Hamadan province, Iran. *Climate Risk Management*, 23, 146-159. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.crm.2018.06.002>
- Malik, S. M., Awan, H., & Khan, N. (2012). Mapping vulnerability to climate change and its repercussions on human health in Pakistan. *Globalization and Health*, 8(1), 31. <https://doi.org/10.1186/1744-8603-8-31>
- Menike, L., & Arachchi, K. K. (2016). Adaptation to climate change by smallholder farmers in rural communities: Evidence from Sri Lanka. *Procedia food science*, 6, 288-292. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.profoo.2016.02.057>
- Monterroso-Rivas, A. I., Conde-Alvarez, C., Rosales-Dorantes, G., Gómez-Díaz, J. D. & Gay-García, C. (2011). Assessing current and potential rainfed maize suitability under climate change scenarios in México. *Atmósfera*, 24(1):53-67. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-62362011000100005&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-62362011000100005&script=sci_abstract&tlng=pt)
- Monterroso, A., Conde, C., Gay, C., Gómez, D., & López, J. (2014). Two methods to assess vulnerability to climate change in the Mexican agricultural sector. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 19(4), 445-461. <https://doi.org/10.1007/s11027-012-9442-y>
- o'Brien, K., Leichenko, R., Kelkar, U., Venema, H., Aandahl, G., Tompkins, H., Javed, A., Bhadwal, S., Barg, S., & Nygaard, L. (2004). Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization in India. *Global environmental change*, 14(4), 303-313. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.01.001>
- Parry, M., Arnell, N., McMichael, T., Nicholls, R., Martens, P., Kovats, S., Livermore, M., Rosenzweig, C., Iglesias, A., & Fischer, G. (2001). Millions at risk: defining critical climate change threats and targets. *Global environmental change*, 11(3), 181-183. [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(01\)00011-5](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(01)00011-5)
- Preston, B. L., Yuen, E. J., & Westaway, R. M. (2011). Putting vulnerability to climate change on the map: a review of approaches, benefits, and risks. *Sustainability Science*, 6(2), 177-202. <https://doi.org/10.1007/s11625-011-0129-1>



- Thornton, P., Jones, P., Owiyo, T., Kruska, R., Herrero, M., Kristjanson, P., Notenbaert, A., Bekele, N., & Omolo, A. (2006). with contributions from Orindi V, Otiende B, Ochieng A, Bhadwal S, Anantram K, Nair S, Kumar V and Kulkar U (2006). *Mapping climate vulnerability and poverty in Africa. Report to the Department for International Development, ILRI, Nairobi, Kenya*, 171.
- UNIATMOS. (2019). Atlas climático digital de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en <http://uniatmos.atmosfera.unam.mx/ACDM/servmapas>. Recuperado en enero 2019.

### **CAPITULO III. CONSIDERACIONES FINALES**

El uso de la herramienta de indicadores ayudó a determinar y mapear la vulnerabilidad agrícola ante el cambio climático, obteniendo la distribución espacial de las cinco clases de vulnerabilidad. Además, fue posible determinar cuáles factores y variables son las que más influyen en la vulnerabilidad local para los AGEBs más vulnerables.

Con este análisis, el estudio contribuye al conocimiento de vulnerabilidad agrícola a nivel local y su pertinencia para la elaboración de planes de acción con una herramienta que puede ser actualizada al generarse nueva información y ser un auxiliar para proponer las medidas de adaptación a fin de que la población esté preparada para enfrentar las nuevas condiciones impuestas por el cambio climático.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.  
México.

## LISTA DE ABREVIATURAS

AGEB	Área Geoestadística Básica
ASERCA	Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios
CENAPRED	Centro Nacional de Prevención de Desastres
CLICOM	Información de Clima
CICESE	Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada
CIMA	Centro de Información de Mercados Agroalimentarios
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
CONAPO	Consejo Nacional de Población
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
GEI	Gases de Efecto Invernadero
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
IPCC	Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático
PNUMA	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente
SADER	Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SIAP	Servicio de Información de Agroalimentaria y Pesquera
UNIATMOS	Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales
UP	Unidad de Producción
UPA	Unidad de Producción Agrícola