



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

POSGRADO EN GEOGRAFÍA

CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO DE LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTOR EN GEOGRAFÍA

P R E S E N T A

ALEJANDRO ISMAEL MONTERROSO RIVAS

DIRECTORA DE TESIS: Dra. CECILIA CONDE ÁLVAREZ

Abril de 2012





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

A G R A D E C I M I E N T O S

Dejo asentado mi amplio agradecimiento a todos los siguientes, quienes con su apoyo hicieron posible llegar al término de la presente:

A **DIOS**, por haberme dado la vida, colocarme en la familia adecuada y darme la oportunidad de construir mi propia familia. Gracias PADRE por acompañarme y guiarme cada uno de mis días.

A todo el **pueblo de México**, quienes a través de sus contribuciones han permitido que pueda realizar mis estudios en instituciones públicas de inigualable prestigio.

A la **Universidad Nacional Autónoma de México** y a la **Universidad Autónoma Chapingo**, por darme la oportunidad de superarme.

A los **Catedráticos** de la Universidad Nacional Autónoma de México y de la Universidad Autónoma Chapingo, por compartir conmigo sus conocimientos y así favorecer mi formación.

A la **Dra. Cecilia Conde**, excelente persona y destacada catedrática e investigadora del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, por dirigir el trabajo de investigación con incansable paciencia, por la confianza recibida, por compartir conmigo sus amplios conocimientos y sobre todo por su amistad.

Al **Dr. Carlos Gay**, destacado investigador y catedrático del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, por sus atinados aportes y comentarios que enriquecieron el contenido del trabajo de investigación.

Al **Dr. José López**, distinguido investigador y catedrático del Instituto de Geografía de la UNAM, por sus pertinaces aportes y sugerencias que mejoraron y enriquecieron en mucho el trabajo.

A la **Dra. María Engracia Hernández Cerda**, distinguida investigadora y catedrática del Instituto de Geografía de la UNAM, por sus aportes y sugerencias para enriquecer el trabajo de investigación.

A la **Dra. Rebeca Granados Ramírez**, destacada investigadora y catedrática del Instituto de Geografía de la UNAM, por sus aportes y sugerencias para enriquecer el trabajo de investigación.

Y a todos aquellos productores y gente del campo que son más que un ejemplo a seguir, quienes continúan incansablemente trabajando y haciendo producir la tierra, a pesar de las inclemencias y los embistes a los que son sujetos por aquellos en el poder.

D E D I C A T O R I A

Dedico el presente trabajo

A **DIOS,**

por permitirme alcanzar un objetivo más en la vida.

A mis **PADRES,**

Angélica y Neptalí, por todos sus sacrificios, su amor y apoyo que siempre me han otorgado en cada momento de mi vida. Gracias por darme la mejor herencia que se puede tener..

A mis **HERMANOS,**

quienes me han impulsado con su ejemplo y sabiduría por los caminos académicos y de la vida misma, en especial a vos Pablo, por ser como sos.

A **DIEGO y PAVEL,**

mi par de amados hijos, que sus travesuras cada día me alegran e inspiran a esforzarme más.

A **ALMA,**

mi amada cómplice en la vida, quien ha sido mi incansable apoyo en tiempos difíciles y mi entusiasta aliento en los mejores, caminemos juntos sin tropiezo el sendero de la vida hasta que nuestro PADRE nos llame a su regazo.

A **LIDIA y CARLOS,**

más que mis cuñados son mis hermanos, agradezco el tropiezo de la vida por haberlos conocido, seguir su ejemplo y aprender siempre de ustedes.

A **Jesús David Gómez Díaz,**

mi amigo y maestro, quien me ha abierto sus brazos y las puertas de su familia, de quien he aprendido invaluable lecciones, pero sobre todo, el valor de la amistad.

CONTRIBUCIÓN AL ESTUDIO DE LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO EN MÉXICO

Contenido

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS	9
INTRODUCCIÓN.....	10
CAPÍTULO 1 – VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO	12
1. EL TÉRMINO VULNERABILIDAD.....	13
<i>Definición de Vulnerabilidad.....</i>	<i>13</i>
<i>Enfoques para el estudio de la Vulnerabilidad.....</i>	<i>13</i>
<i>Marcos conceptuales para evaluar la Vulnerabilidad.....</i>	<i>14</i>
<i>Componentes de Vulnerabilidad.....</i>	<i>15</i>
<i>Evaluación de la Vulnerabilidad.....</i>	<i>16</i>
Métodos econométricos.....	16
Método por indicadores	17
2. OBJETIVOS	18
<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>18</i>
3. LITERATURA CITADA	18
CAPÍTULO 2 - EXPOSICIÓN CLIMÁTICA EN LOS MUNICIPIOS DE MÉXICO	21
<i>Resumen</i>	<i>22</i>
1. INTRODUCCIÓN	23
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
2.1 <i>Selección y tratamiento de indicadores</i>	<i>24</i>
2.2 <i>Construcción del índice de Exposición.....</i>	<i>25</i>
2.3 <i>Mapeo de los índices de Exposición</i>	<i>27</i>
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
3.1 <i>Exposición base.....</i>	<i>28</i>
3.2 <i>Exposición futura</i>	<i>31</i>
3.2.1 <i>Modelo MPI ECHAM5</i>	<i>31</i>
3.2.2 <i>Modelo HADGEM1.....</i>	<i>33</i>
3.3 <i>Grados de Exposición en México.....</i>	<i>35</i>
4. CONCLUSIONES.....	36
5. LITERATURA CITADA	38
ANEXOS	40
<i>Anexo 1. Mapas de sub índices de Exposición.</i>	<i>40</i>
<i>Anexo 2. Información municipal y de población total según severidad en Exposición.</i>	<i>43</i>
CAPÍTULO 3 – SENSIBILIDAD ACTUAL Y AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS MUNICIPIOS DE MÉXICO	47
RESUMEN.....	48
1. INTRODUCCIÓN	49
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	49
2.1 <i>Selección de indicadores</i>	<i>50</i>

2.2 Construcción del índice de Sensibilidad	51
2.3 Mapeo de la Sensibilidad al cambio climático.....	53
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
3.1 Sensibilidad base.....	54
3.2 Sensibilidad futura	57
3.2.1 Modelo MPI ECHAM5	57
3.2.2 Modelo HADGEM1.....	59
3.3 Grados de Sensibilidad en México	61
4. CONCLUSIONES	62
5. LITERATURA CITADA.....	64
ANEXOS	66
<i>Anexo 1. Mapas de sub índices de Sensibilidad.</i>	66
<i>Anexo 2. Información municipal y de población total según severidad en Sensibilidad.</i>	69
CAPÍTULO 4 – CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN EN LOS MUNICIPIOS DE MÉXICO	73
<i>Resumen</i>	74
INTRODUCCIÓN.....	75
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	75
2.1 Selección de indicadores	76
2.2 Construcción del índice de Capacidad Adaptativa	77
2.3 Mapeo de la Capacidad Adaptativa al cambio climático	80
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	80
3.1 Capacidad Adaptativa base	80
3.2 Capacidad Adaptativa futura.....	85
3.3 Grados de Capacidad Adaptativa en México	87
4. CONCLUSIONES	88
5. LITERATURA CITADA.....	90
ANEXOS	92
<i>Anexo 1. Mapas de sub índices de Capacidad Adaptativa.</i>	92
CAPÍTULO 5 – UN MÉTODO PARA ESTIMAR LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS MUNICIPIOS DE MÉXICO	98
1. INTRODUCCIÓN	99
2. MATERIALES Y MÉTODOS	100
2.1 Búsqueda de información	101
2.2 Selección de indicadores	101
2.3 Tratamiento de los datos	104
2.4 Obtención de subíndices	104
Exposición.....	104
Sensibilidad.....	105
Capacidad adaptativa	106
2.5 Vulnerabilidad base y futura.....	107
Componentes principales	108
Pesos iguales.....	108
3. RESULTADOS	108
3.1 Vulnerabilidad base	108
3.1.1 Vulnerabilidad a partir de componentes principales.....	108
3.1.2 Vulnerabilidad a partir de mismos pesos.....	110

3.1.2.1 Exposición, Sensibilidad y Capacidad Adaptativa.....	110
3.1.2.2 Índice de Vulnerabilidad	112
3.1.3 Comparación de métodos.....	114
3.2 Índices de Vulnerabilidad futura en México.....	115
3.2.1 Índice de Vulnerabilidad futura: MPI ECHAM5.....	115
3.2.2 Índice de Vulnerabilidad futura: HADGEM1	118
3.3 Grados de Vulnerabilidad en México	120
3.4 Vulnerabilidad en el sector agrícola de México	122
3.5 Identificando oportunidades de acción.....	124
4. CONCLUSIONES.....	126
5. LITERATURA CITADA	128
CAPÍTULO 6 - CONCLUSIONES	135
ANEXOS	138
<i>Anexo 1. Resumen de algunas publicaciones sobre vulnerabilidad y sus enfoques.....</i>	<i>138</i>
<i>Anexo 2. Dispersión y participación de indicadores de exposición dentro del índice de vulnerabilidad ...</i>	<i>141</i>
<i>Anexo 3. Dispersión y participación de indicadores de sensibilidad en el índice de vulnerabilidad.....</i>	<i>142</i>
<i>Anexo 4. Dispersión y participación de indicadores de capacidad adaptativa dentro de índice de vulnerabilidad</i>	<i>143</i>
<i>Anexo 5. Coeficientes de correlación y error por y componente de Vulnerabilidad.....</i>	<i>144</i>
<i>Anexo 6. Comunalidades y puntuaciones (pesos) de los indicadores obtenidos por análisis de componentes principales (primera componente), para la definición del índice de Vulnerabilidad por el método de análisis factorial</i>	<i>145</i>
<i>Anexo 7. Total de municipios (izquierda) y población por estado (derecha), según grado de vulnerabilidad en escenario base.....</i>	<i>146</i>
<i>Anexo 8. Total de municipios (izquierda) y población por estado (derecha), según grado de vulnerabilidad en escenario HADGEM1.</i>	<i>147</i>
<i>Anexo 9. Total de municipios (izquierda) y población por estado (derecha), según grado de vulnerabilidad en escenario MPI ECHAM5.....</i>	<i>148</i>
BIBLIOGRAFÍA GENERAL	149

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Capítulo 2:	
CUADRO 2-1. INDICADORES UTILIZADOS PARA CONSTRUIR EL ÍNDICE DE EXPOSICIÓN -----	26
CUADRO 2-2. VALORES ESTADÍSTICOS DE LOS INDICADORES DE EXPOSICIÓN -----	27
CUADRO 2-3. CRITERIOS APLICADOS PARA LA SEVERIDAD DE EXPOSICIÓN CLIMÁTICA EN MUNICIPIOS DE MÉXICO -----	27
CUADRO 2-4. PARTICIPACIÓN PROMEDIO DE CADA INDICADOR DE EVENTOS EXTREMOS, SEGÚN GRADO DE EXPOSICIÓN BASE. -----	28
CUADRO 2-5. PARTICIPACIÓN PROMEDIO DE CADA INDICADOR DE PROBLEMÁTICA AMBIENTAL, SEGÚN GRADO DE EXPOSICIÓN BASE. -----	29
CUADRO 2-6. PARTICIPACIÓN PROMEDIO DE CADA INDICADOR CLIMÁTICO, SEGÚN GRADO DE EXPOSICIÓN. ---	30
CUADRO 2-7. EXPOSICIÓN EN LOS 15 MUNICIPIOS MENOS Y MÁS EXPUESTOS, ASÍ COMO POBLACIÓN AL AÑO 2005. -----	31
CUADRO 2-8. POBLACIÓN TOTAL AL 2030 SEGÚN GRADO DE EXPOSICIÓN BASE Y FUTURA (MPI ECHAM5)---	33
CUADRO 2-9. POBLACIÓN TOTAL AL 2030 SEGÚN GRADO DE EXPOSICIÓN BASE Y FUTURA (HADGEM1) -----	34
Capítulo 3:	
CUADRO 3-1. INDICADORES SELECCIONADOS PARA SENSIBILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO. -----	52
CUADRO 3-2. VALORES ESTADÍSTICOS DE LOS INDICADORES DE SENSIBILIDAD -----	53
CUADRO 3-3. CRITERIOS APLICADOS PARA SENSIBILIDAD EN LOS MUNICIPIOS DE MÉXICO-----	54
CUADRO 3-4. PARTICIPACIÓN PROMEDIO DE CADA INDICADOR DE POBLACIÓN SEGÚN GRADO DE SENSIBILIDAD BASE. -----	55
CUADRO 3-5. PARTICIPACIÓN PROMEDIO DE CADA INDICADOR DE SALUD SEGÚN GRADO DE SENSIBILIDAD BASE. -----	55
CUADRO 3-6. PARTICIPACIÓN PROMEDIO DE CADA INDICADOR AGRÍCOLA SEGÚN GRADO DE SENSIBILIDAD BASE. -----	56
CUADRO 3-7. SENSIBILIDAD EN LOS 15 MUNICIPIOS MENOS Y MAS SENSIBLES ASÍ COMO POBLACIÓN (2005)---	57
CUADRO 3-8. POBLACIÓN TOTAL AL 2030 SEGÚN GRADO DE SENSIBILIDAD BASE Y FUTURA (MPI ECHAM5)	59
CUADRO 3-9. POBLACIÓN TOTAL AL 2030 SEGÚN GRADO DE SENSIBILIDAD BASE Y FUTURA (HADGEM1) ----	61
Capítulo 4:	
CUADRO 4-1. INDICADORES SELECCIONADOS PARA EVALUAR LA CAPACIDAD ADAPTATIVA FRENTE A CAMBIO CLIMÁTICO -----	78
CUADRO 4-2. VALORES ESTADÍSTICOS DE LOS INDICADORES DE CAPACIDAD ADAPTATIVA-----	80
CUADRO 4-3. CRITERIOS APLICADOS PARA LA MAGNITUD DE LA CAPACIDAD ADAPTATIVA. -----	80
CUADRO 4-4. PARTICIPACIÓN PROMEDIO DE INDICADORES DE CAPITAL HUMANO SEGÚN GRADO DE CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN -----	82
CUADRO 4-5. PARTICIPACIÓN PROMEDIO DE INDICADORES DE CAPITAL SOCIAL SEGÚN GRADO DE CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN -----	83
CUADRO 4-6. PARTICIPACIÓN PROMEDIO DE INDICADORES DE CAPITAL FINANCIERO SEGÚN GRADO DE CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN -----	83
CUADRO 4-7. PARTICIPACIÓN PROMEDIO DE INDICADORES DE CAPITAL NATURAL SEGÚN GRADO DE CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN -----	83
CUADRO 4-8. CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN EN LOS MUNICIPIOS CON MENOR Y MAYOR PUNTAJE, ASÍ COMO POBLACIÓN AL 2005. -----	85
CUADRO 4-9. POBLACIÓN TOTAL AL 2030 SEGÚN GRADO DE CAPACIDAD ADAPTATIVA BASE Y FUTURA. -----	87

Capítulo 5:	
CUADRO 5-1. INDICADORES DE VULNERABILIDAD, VARIABLES Y FUENTE DE INFORMACIÓN. -----	102
CUADRO 5-2. CRITERIOS APLICADOS PARA DEFINIR LA VULNERABILIDAD EN LOS MUNICIPIOS DE MÉXICO---	108
CUADRO 5-3. PARTICIPACIÓN PROMEDIO DE ÍNDICES DE EXPOSICIÓN, SENSIBILIDAD Y CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN SEGÚN GRADO DE VULNERABILIDAD BASE. -----	111
CUADRO 5-4. MUNICIPIOS CON MENOR Y MAYOR VULNERABILIDAD, ASÍ COMO SU POBLACIÓN AL AÑO 2005.	113
CUADRO 5-5. PARTICIPACIÓN PROMEDIO DE ÍNDICES DE EXPOSICIÓN, SENSIBILIDAD Y CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN SEGÚN GRADO DE VULNERABILIDAD FUTURA. -----	116
CUADRO 5-6. POBLACIÓN TOTAL AL 2030 SEGÚN GRADO DE VULNERABILIDAD BASE Y FUTURA. -----	117
CUADRO 5-7. MUNICIPIOS CON MENOR Y MAYOR VULNERABILIDAD (MPI ECHAM5), ASÍ COMO SU POBLACIÓN AL AÑO 2030. -----	118
CUADRO 5-8. POBLACIÓN TOTAL AL 2030 SEGÚN GRADO DE VULNERABILIDAD BASE Y FUTURA. -----	119
CUADRO 5-9. MUNICIPIOS CON MENOR Y MAYOR VULNERABILIDAD (HADGEM1), ASÍ COMO SU POBLACIÓN AL AÑO 2030. -----	120
CUADRO 5-10. PORCENTAJE DE POBLACIÓN DEL PAÍS POR GRADO DE VULNERABILIDAD-----	125

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Capítulo 2:	
FIGURA 2-1. DISPERSIÓN Y CORRELACIÓN PARA SUB ÍNDICES DE FENÓMENOS EXTREMOS, PROBLEMÁTICA AMBIENTAL Y CLIMATOLOGÍA, RESPECTIVAMENTE, DENTRO DEL ÍNDICE DE EXPOSICIÓN BASE. ---	28
FIGURA 2-2. COMPORTAMIENTO DEL ÍNDICE DE EXPOSICIÓN (BASE) Y SUBÍNDICES CONSIDERADOS. -----	30
FIGURA 2-3. ÍNDICE DE EXPOSICIÓN (BASE)-----	32
FIGURA 2-4. ÍNDICE DE EXPOSICIÓN BASE VS FUTUROS-----	32
FIGURA 2-5. ÍNDICE DE EXPOSICIÓN FUTURA (MPI ECHAM5)-----	34
FIGURA 2-6. ÍNDICE DE EXPOSICIÓN FUTURA (HADGEM1).-----	35
 Capítulo 3	
FIGURA 3-1. DISPERSIÓN Y CORRELACIÓN PARA SUB ÍNDICES DE POBLACIÓN, SALUD Y AGRÍCOLA, DENTRO DEL ÍNDICE DE SENSIBILIDAD BASE. -----	54
FIGURA 3-2. COMPORTAMIENTO DEL ÍNDICE DE SENSIBILIDAD (BASE) Y SUBÍNDICES CONSIDERADOS. -----	56
FIGURA 3-3. ÍNDICE DE SENSIBILIDAD (BASE)-----	58
FIGURA 3-4. ÍNDICE DE SENSIBILIDAD BASE VS FUTUROS -----	58
FIGURA 3-5. ÍNDICE DE SENSIBILIDAD FUTURA (MPI ECHAM5)-----	59
FIGURA 3-6. ÍNDICE DE SENSIBILIDAD FUTURA (HADGEM1). -----	60
 Capítulo 4	
FIGURA 4-1. DISPERSIÓN Y CORRELACIÓN PARA SUB ÍNDICES DE CAPITAL HUMANO, SOCIAL, FINANCIERO Y NATURAL, DENTRO DEL ÍNDICE DE CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN. -----	81
FIGURA 4-2. COMPORTAMIENTO DEL ÍNDICE DE CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN (BASE) Y SUBÍNDICES CONSIDERADOS. -----	84
FIGURA 4-3. ÍNDICE DE CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN (BASE)-----	85
FIGURA 4-4. ÍNDICE DE CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN BASE VS FUTURA -----	86
FIGURA 4-5. ÍNDICE DE CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN (FUTURA) -----	87
 Capítulo 5	
FIGURA 5-1. MARCO GENERAL DE CONSTRUCCIÓN DE ÍNDICES DE VULNERABILIDAD ACTUAL Y FUTUROS. ---	100
FIGURA 5-2. INDICADORES Y SECUENCIA DE CREACIÓN DE SUBÍNDICES DE EXPOSICIÓN.-----	105
FIGURA 5-3. INDICADORES Y SECUENCIA DE CREACIÓN DE SUBÍNDICES DE SENSIBILIDAD. -----	106
FIGURA 5-4. INDICADORES Y SECUENCIA DE CREACIÓN DE SUBÍNDICES DE CAPACIDAD ADAPTATIVA. -----	107
FIGURA 5-5. INDICADORES Y MARCO GENERAL DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD BASE Y FUTURA.-	109
FIGURA 5-6. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD POR COMPONENTES PRINCIPALES (BASE) -----	110
FIGURA 5-7. DISPERSIÓN Y CORRELACIÓN PARA ÍNDICES DE EXPOSICIÓN, SENSIBILIDAD Y CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN, DENTRO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD. -----	111
FIGURA 5-8. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD (BASE)-----	113
FIGURA 5-9. COMPARACIÓN DE LOS DOS MÉTODOS UTILIZADOS PARA DEFINIR LA VULNERABILIDAD BASE --	114
FIGURA 5-10. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD FUTURA (MPI ECHAM5) -----	117
FIGURA 5-11. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD FUTURA (HADGEM1)-----	119
FIGURA 5-12. MATRICES DE ACCIÓN PROPUESTAS, AL CONTRASTAR EXPOSICIÓN Y CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN (IZQUIERDA) Y AL CONTRASTAR SENSIBILIDAD Y CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN (DERECHA). -----	126

INTRODUCCIÓN

En los últimos años uno de los retos que la geografía moderna ha enfrentado es el relacionado a los cambios globales y en específico, al denominado cambio climático. El cambio climático no es un tema nuevo de reciente aparición, más bien es porque sabemos más de sus impactos y consecuencias que el ser humano lo ha tomado más en consideración. Es pues un problema ambiental de carácter mundial, pero con consecuencias regionales y locales. Su estudio y comprensión va a definir, en gran manera, las diversas formas de aprovechamiento futuro que hagamos de los recursos naturales con que contamos. Cabe recordar que en el pasado los cambios en el clima han sido determinantes en las actividades humanas.

En este contexto, el interés del proyecto de investigación que aquí se presenta es contribuir al estudio de la vulnerabilidad al cambio climático en México, es decir, estudiar el grado en que puede verse afectado nuestro país, por motivo de cambios en el clima. Sin embargo, como se imaginará el lector, son muy diversos los ejes de estudio de esa posible ‘afectación’, por lo que se decidió enmarcarlo en el sector agrícola, como el sistema de interés a ser evaluado. No está por demás señalar entonces que el objetivo planteado al inicio de la investigación fue proponer un método que permita evaluar la vulnerabilidad del sector agrícola ante escenarios de cambio climático. Lo que se buscó fue contribuir en el estudio de la vulnerabilidad para contar con mayores elementos de decisión en la formulación de estrategias y políticas de adaptación en el sector agrícola.

De acuerdo con la revisión bibliográfica en materia de cambio climático, la comunidad científica considera que la vulnerabilidad está determinada por un componente externo llamado exposición y además por un componente interno, definido por la sensibilidad y la capacidad de adaptarse a dichos cambios. Por lo anterior, los objetivos particulares que persigue el presente documento fueron seis: 1) evaluar la exposición; 2) evaluar la sensibilidad; 3) evaluar la capacidad adaptativa; 4) aplicar un método de evaluación de la vulnerabilidad; 5) obtener un índice que muestre el grado de vulnerabilidad del sector agrícola del país y 6) regionalizar al país de acuerdo con los resultados de la evaluación integrada de la vulnerabilidad, para finalmente poder determinar cartográfica y espacialmente los diferentes grados de vulnerabilidad en el sector estudiado.

Así pues, la tesis se encuentra dividida en seis capítulos que aluden a los objetivos antes señalados. En el primer capítulo se presenta una revisión bibliográfica del concepto vulnerabilidad, donde se subrayan los enfoques y métodos de estudio que es posible encontrar en la actualidad. En este momento es importante resaltar que el término vulnerabilidad es manejado y entendido de diversas formas, según el campo de conocimiento que la estudia. Quizá la mayor diferencia que se observa es entre el concepto presentado por la gestión de riesgos con aquél que propone cambio climático. La literatura acerca de gestión de riesgos señala que el riesgo es una función de la amenaza y su vulnerabilidad. De esta forma, comienza con la evaluación de las amenazas –el peligro o el evento con potencial de hacer daño–, y termina caracterizando la vulnerabilidad –entendida como la exposición a dicha amenaza, como consecuencia del estado de desarrollo–. Por su parte, en materia de cambio climático, la vulnerabilidad se define como una función de la exposición, la sensibilidad y la capacidad de adaptarse a los cambios previstos. Entonces, para definir la vulnerabilidad se inicia estudiando la exposición –o el grado de estrés climático–, se continúa evaluando la sensibilidad –o el grado de respuesta del sistema– y finalmente la capacidad de adaptación se caracteriza –o la habilidad de enfrentar los cambios y ajustarse a las condiciones futuras–. Debido a que en este documento está centrado el interés fundamentalmente en el lado del cambio climático y no en la gestión de riesgos, es adoptado de aquí en adelante, como punto de partida, la definición más comprensiva de vulnerabilidad ofrecida por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático.

Del segundo al cuarto capítulos y a escala municipal para todo el país, se presentan los resultados de evaluar la exposición, la sensibilidad y la capacidad adaptativa. Así, el segundo capítulo presenta una evaluación de la exposición climática actual y futura. Se tomaron tres ejes de análisis: el primero, hacia caracterizar los eventos extremos históricos en el país, como medida de la naturaleza de la exposición; el segundo fue dentro de la problemática ambiental observada en los

municipios y el último eje consistió en incluir escenarios de cambio climático futuros sugeridos por dos modelos y sobre las variables temperatura y precipitación, como medida del grado de exposición futura.

En el tercer capítulo se presentan los resultados de sensibilidad al cambio climático en el sector agrícola del país. Se seleccionaron tres dimensiones o grupos de indicadores para caracterizarla: población, salud y agricultura. Es importante mencionar que una parte fundamental para el capítulo fue desarrollada en el año 2008 en el marco de un proyecto del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM para el Instituto Nacional de Ecología, como contribución a la cuarta comunicación nacional de México a la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático. De dicho estudio se retomaron los resultados de una evaluación potencial para el cultivo de maíz¹ bajo escenarios de cambio climático; los resultados de estimar el posible cambio en los coeficientes de agostadero para ganadería² y también los resultados de evaluar 16 especies forestales³ ante condiciones de cambio climático. También, un primer avance del capítulo completo fue posible adaptarlo como capítulo de un libro⁴.

Para el cuarto capítulo se trabajó en evaluar la capacidad de adaptación que se podría observar en los municipios del país. El capítulo trata de un acercamiento en la evaluación de la capacidad adaptativa de los municipios y su gente para hacer frente al cambio climático. Se seleccionaron cuatro grupos de indicadores organizados en capital humano, capital social, capital financiero y capital natural.

El quinto capítulo integra los resultados anteriores en una propuesta metodológica para la evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático. Se propone un listado de indicadores y un método que permite caracterizar la vulnerabilidad del sector agrícola ante escenarios de cambio climático, con el fin de contribuir en su estudio y así contar con mayores elementos de decisión en la formulación de estrategias y políticas de adaptación en el sector.

Finalmente, en el sexto capítulo se esbozan las conclusiones principales alcanzadas por la presente investigación.

¹ Monterroso, A.I., Conde, C., Rosales, G., Gómez, J.D. y Gay, C. (2011) Assessing current and potential rainfed maize suitability under climate change scenarios in México. *Atmósfera* 24, 53-67.

² Monterroso, A.I., Gómez, J.D., Toledo, M.L., Tinoco, J.A., Conde, C. y Gay, C. (2011) Simulated dynamics of net primary productivity (NPP) for outdoor livestock feeding coefficients driven by climate change scenarios in México. *Atmósfera* 24, 69-88.

³ Gómez, J.D., Monterroso, A.I., Tinoco, J.A., Toledo, M.L., Conde, C. y Gay, C. (2011) Assessing current and potential patterns of 16 forest species driven by climate change scenarios in México. *Atmósfera* 24, 31-52.

⁴ Monterroso A.I., Conde C., Gómez J. D., Gay C., Villers L., and Lopez J. 2011. Chapter 17: Sensitivity of Mexico's Farmers: A Sub National Assessment of Vulnerability to Climate Change. pp. 325-340. In: Blanco, Juan and Kheradmand, Houshang [eds.]. 2011. *Climate Change, Socioeconomic Effects*. Published by InTech, Croatia. 468pp.

CAPÍTULO 1 – VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO

1. EL TÉRMINO VULNERABILIDAD

La palabra vulnerabilidad tiene sus orígenes en las ciencias sociales, en particular en el campo de la Geografía sobre estudios de desastres naturales y análisis de seguridad alimentaria. En los últimos años se ha convertido en el centro de atención de científicos estudiando el cambio global y la sustentabilidad (IPCC, 2007; O'Brien et al., 2004a). De acuerdo con Liverman (1990), la vulnerabilidad es conceptualizada de diferentes formas por diferentes disciplinas, incluso se ha utilizado como sinónimo de resiliencia, riesgo, marginalidad, adaptabilidad y exposición. La diversidad de conceptualizaciones se debe al hecho de que vulnerabilidad ha sido usada en diferentes contextos políticos, refiriéndose a diferentes sistemas expuestos a diferentes fenómenos.

Las ciencias sociales han enfocado el estudio de la vulnerabilidad sobre aspectos socioeconómicos y en las estructuras y procesos políticos que hacen a la gente ser vulnerable (Kelly y Adger, 2000). La literatura económica refiere sus estudios de vulnerabilidad a aquellos sobre bienestar y pobreza (Luers et al., 2003), mientras que en ecología el término ha empezado a ser ampliamente usado. Un concepto contrario, estabilidad, es el que más ha preocupado a los ecólogos pero otros términos asociados, como resistencia, resiliencia y persistencia, son los utilizados en analizar a los sistemas vulnerables. La resiliencia ecológica, entendida como la capacidad de un sistema, sus estructuras y procesos, de recuperarse y persistir ante la presencia de un disturbio y estrés, es particularmente importante en los estudios de vulnerabilidad ante el cambio global (Carpenter et al., 2001; Folke et al., 2002). En años recientes los estudios han promovido volverse más interdisciplinarios y se ha explorado la vulnerabilidad entendiendo las relaciones que existen entre los sistemas humanos y su medio ambiente.

Durante algunos años el estudio de la vulnerabilidad se limitaba al análisis de un fenómeno y su correspondiente impacto, enfocándose en examinar el sistema bajo estrés y su capacidad de respuesta (Ribot, 1995). Tiempo después, al analizar la vulnerabilidad a través de mecanismos que mejoran o disminuyen la capacidad de un sistema de enfrentar, recobrase o adaptarse a varios estresores, permitió no sólo identificar qué sistema se encuentra más en riesgo, sino también comprender por qué (Luers et al., 2003).

Definición de Vulnerabilidad

Desde las ciencias sociales la vulnerabilidad tiene historia en la literatura de análisis de riesgos a fenómenos naturales, y se entiende como “el potencial de daño o pérdida” (Mitchell et al., 1989). De esta forma se tienen dos componentes: uno externo, el fenómeno o perturbación, y otro interno, que representa la capacidad o falta de esta para responder y recobrase del estresor externo.

En materia de cambio global, se ha definido como “el grado al que un humano o sistema ambiental esta propenso a experimentar daño debido a una perturbación o estrés” (Luers et al., 2003). Más adelante, Smit (2006) considera que la vulnerabilidad “es una función de la exposición y sensibilidad de un sistema ante condiciones de daño, y la habilidad, capacidad o resiliencia del sistema, para enfrentar, adaptarse o recobrase de los efectos de esas condiciones”. Nótese como cambia la apreciación de sufrir un daño, en la primera definición se considera una posibilidad mientras que en la segunda se refiere a su ocurrencia y manifestación. Lo anterior fue considerado en la última definición adoptada por el IPCC (Parry et al., 2007), que señala que la vulnerabilidad es “el grado de susceptibilidad o incapacidad de un sistema para afrontar los efectos negativos del cambio climático”, incluyendo además la variabilidad y los fenómenos extremos. Esta definición subraya que la vulnerabilidad se encuentra en función del carácter, la dimensión y el índice de variación climática a que está expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación. En el presente documento se sigue la definición de vulnerabilidad adoptada por el IPCC.

Enfoques para el estudio de la Vulnerabilidad

La literatura especializada provee dos enfoques en cuanto a conceptualizar la vulnerabilidad. Uno ve a la vulnerabilidad como un “*punto final*” en términos de la cantidad de daño potencial causado a un sistema por un evento climático en particular. El otro enfoque considera la vulnerabilidad como un “*punto de inicio*”, como el estado que existe dentro de un sistema antes de enfrentarse a un determinado fenómeno (Kelly y Adger, 2000).

Desde la perspectiva del “*punto final*”, la vulnerabilidad es entendida como un residual de los impactos del cambio climático menos adaptación, es por tanto el impacto neto del cambio climático. Se enfatiza la dimensión física de la vulnerabilidad al analizar el estresor (por ejemplo, un huracán o el cambio climático) y su correspondiente impacto, para examinar el sistema que es estresado y su capacidad de responder (Luers et

al., 2003; Ribot, 1995). Como señalan O'Brien et al (2004a), evaluar la vulnerabilidad bajo esta idea es el punto final de una secuencia analítica que inicia con la proyección de emisiones futuras, desarrollo de escenarios climáticos y evaluación de posibles impactos biofísicos, para finalmente identificar posibles medidas de adaptación. De esta forma, el enfoque de punto final asume un fuerte conocimiento científico del cambio climático futuro, tanto en los análisis de impactos como de adaptación.

Los estudios desde la perspectiva del “*punto de inicio*” para evaluar la vulnerabilidad al cambio climático tienen sus orígenes en evaluaciones de grupos sociales hacia su seguridad alimentaria y su vulnerabilidad ante desastres naturales (Bohle et al., 1994). En este enfoque se inicia la evaluación de los diferentes factores que pueden llevar a una sociedad a ser vulnerables, tales como el grado de educación y el acceso a recursos, entre otros. La vulnerabilidad de cualquier individuo o grupo social a un fenómeno en particular es determinada primeramente por el estado de su existencia misma, la cual será su capacidad de responder a un determinado peligro, sin importar si puede o no suceder en el futuro.

En este enfoque, la vulnerabilidad es determinada por las propiedades internas del sistema y es una condición variable que depende de las condiciones socioeconómicas y ambientales del sistema mismo, incluyendo al cambio climático. Los factores que hacen que un sistema sea vulnerable a un determinado peligro o amenaza dependen entonces de la naturaleza del peligro y del sistema mismo. Así, desde la perspectiva de evaluar la vulnerabilidad desde un punto de inicio, se diagnostican los procesos sociales y económicos como una causante de vulnerabilidad climática, buscando además identificar las formas de poder atenderlos (O'Brien et al., 2004a; O'Brien et al., 2004b).

La forma en que la vulnerabilidad al cambio climático es considerada en un determinado análisis depende del modo en que se entiende la relación entre vulnerabilidad y capacidad adaptativa. Se argumenta por ejemplo, que entendiendo la vulnerabilidad desde un enfoque de *punto final*, la adaptación y capacidad adaptativa se referirán a adaptaciones futuras y por tanto definen la vulnerabilidad presente. En este caso, la capacidad adaptativa significará la habilidad de llevar a cabo adaptaciones tecnológicas específicas para enfrentar el cambio climático. La interpretación que se da desde el enfoque de *punto final* está enfocada en la tecnología y su transferencia como opción de adaptación, mientras que bajo el enfoque de un *punto de inicio* implica que la vulnerabilidad va a estar determinada por su capacidad adaptativa. En esta última perspectiva, la capacidad adaptativa será la habilidad de ajustarse tanto al entorno cambiante como a las condiciones socioeconómicas, y por lo tanto, referirse a la vulnerabilidad actual. El esquema de evaluar a la vulnerabilidad desde un *punto de inicio* identifica las causantes de la vulnerabilidad misma, incluyendo el contexto socioeconómico, donde las opciones de adaptación estarán relacionadas al desarrollo.

La vulnerabilidad vista desde el concepto de *punto final* ha permitido entender la sensibilidad climática bajo condiciones de cambio climático, ayudando en la identificación de opciones de mitigación. Sin embargo, desde el punto de vista de evaluar la vulnerabilidad como un *punto de inicio* permite mejorar la capacidad adaptativa. En este último caso, es posible priorizar políticas e investigaciones particularmente en sectores clave o bien en regiones biofísicas, y así estar en mejores condiciones de desarrollar estrategias de adaptación que reduzcan la sensibilidad climática.

Debido a que en el presente documento se trabaja con indicadores para evaluar los causantes de la vulnerabilidad, incluyendo variables socioeconómicas, corresponde entonces un enfoque de análisis de la vulnerabilidad desde un punto de inicio.

Marcos conceptuales para evaluar la Vulnerabilidad

Debido a las diferentes disciplinas envueltas en el estudio de la vulnerabilidad, existen diferentes marcos conceptuales y metodológicos para su análisis. Los principales marcos conceptuales incluyen la evaluación de factores socioeconómicos, biofísicos y evaluaciones integradas.

Las *evaluaciones socioeconómicas* se enfocan principalmente en aspectos sociales, económicos e incluso políticos de un individuo o una sociedad (Adger y Kelly, 1999). Los individuos en una comunidad pueden tener diferentes grados de educación, salud, acceso a crédito, acceso a información y tecnología, así como poder político, entre otros. Estas variaciones son responsables de la variación en los niveles de vulnerabilidad. Este caso es un ejemplo de considerar la vulnerabilidad como un punto de inicio o de estado que guarda un sistema antes de enfrentarse a un determinado evento (Allen y Lu, 2003). De esta forma la vulnerabilidad es considerada a ser construida por la sociedad como un resultado de cambios económicos o institucionales. Este método se enfoca en identificar la capacidad adaptativa de individuos o comunidades basado en sus características internas. La principal limitante de este enfoque es que se centra en el estudio de las variaciones dentro

de la sociedad. Y en realidad la sociedad varía no solo debido a factores sociopolíticos sino también ambientales.

Las *evaluaciones biofísicas* también se conocen como evaluaciones de impactos y se enfocan principalmente en los impactos físicos del cambio climático en diferentes atributos, como los rendimientos de cultivos o el ingreso (Füssel y Klein, 2006). Se evalúa el nivel de daño que un determinado elemento puede causar en un sistema, pudiendo ser social o biológico. Por ejemplo, el impacto económico del cambio climático en la agricultura puede ser medido mediante la modelación de variables climáticas y el ingreso obtenido; el cambio en rendimientos potenciales puede evaluarse modelando el comportamiento del rendimiento ante variaciones en las variables climáticas. El daño entonces es estimado a partir de la proyección de los modelos o mediante la creación de indicadores de sensibilidad para identificar fenómenos potenciales y su frecuencia (Cuttler et al., 2000). El enfoque biofísico es entendido como un ejemplo de evaluación del tipo punto final de la vulnerabilidad. También es considerado muy semejante al análisis de fenómenos naturales y su riesgo inherente. Las evaluaciones biofísicas se centran en la evaluación de la sensibilidad (por ejemplo, cambio en rendimientos, ingreso, salud) al cambio climático y castiga mucho la capacidad adaptativa de los individuos o comunidades, lo cual es explicado por sus características internas (Adger y Kelly, 1999). Una limitación que se observa es su especialización en daños físicos, como el obtenido al evaluar rendimientos o ingresos.

Por su parte, las *evaluaciones integradas* combinan ambos tipos (Füssel, 2007), tanto socioeconómicos como biofísicos, en el análisis para determinar la vulnerabilidad. Füssel y Klein (2006) señalan que el enfoque biofísico corresponde más al análisis de sensibilidad y la capacidad adaptativa es consistente con el enfoque socioeconómico, por lo que ambos se refieren a una dimensión interna. La exposición por su parte, tiene una dimensión externa, la cual está asumida en las evaluaciones integradas. Downing (2006) subraya la importancia de la evaluación integrada y hace énfasis en el nivel adecuado de detalle que se debe seguir de acuerdo con la escala de trabajo. La principal limitación que presenta es que no hay un método estándar para combinar los factores biofísicos con los socioeconómicos. Dado que las variables tienen diferentes formas de medirse, determinar la importancia de cada uno es una tarea que requiere mucha atención. Otra debilidad es que el método no puede medir el dinamismo de la vulnerabilidad. La adaptación es una actividad que requiere constantes cambios de estrategias que no son fácilmente identificados en las evaluaciones integradas.

Un marco conceptual para evaluar la vulnerabilidad debe (Parry et al., 2007), cumplir con lo siguiente: 1) como dependen del contexto y escala, deben describir de donde provienen y su significado; 2) señalar las incertidumbres inherentes a la evaluación; 3) integrar la dimensión social y biofísica; 4) señalar los determinantes de la capacidad adaptativa, para examinar las respuestas potenciales; 5) ofrecer un marco para el desarrollo de políticas que se enfoque en aspectos sociales, que podrán reducir la vulnerabilidad, y 6) reflejar el conocimiento local.

Componentes de Vulnerabilidad

La vulnerabilidad puede tener una dimensión interna y otra externa, ya que de acuerdo con Adger (1996) la vulnerabilidad puede entenderse como los efectos que un evento puede tener sobre el ser humano y también como el riesgo de que un determinado evento pueda ocurrir. La dimensión interna se relaciona con la capacidad de defensa y seguridad, la capacidad de anticiparse, enfrentar, resistir y recobrase de un determinado impacto o daño. Se hace especial énfasis en enfrentar mediante el desarrollo de acciones que lleven a mitigar los efectos negativos. Por su parte, la dimensión externa se refiere a su exposición y riesgo a un determinado fenómeno, haciendo énfasis en las estructuras que construyen la vulnerabilidad. Bohle (2001) reconoce lo anterior y desarrolla un marco conceptual denominado “doble estructura de la vulnerabilidad”, que comprende tanto la evaluación de la exposición como el poder hacer frente a determinados cambios.

Estas ideas también se observan en el segundo reporte de evaluación (SRE) del IPCC ya que como lo señala Moser (1998) se cambia la forma de visualizar la vulnerabilidad, al pasar de una evaluación interna (enfrentar) y externa (exposición) a examinar dos factores similares pero diferentes: sensibilidad y capacidad adaptativa (o resiliencia). En el SRE se define vulnerabilidad como “el grado o la extensión a la cual el cambio climático puede dañar un sistema” haciendo que la vulnerabilidad dependa no solamente de la sensibilidad del sistema sino también de la capacidad de adaptarse a nuevas condiciones climáticas.

En el tercer reporte de evaluación (TRE), el IPCC (2001) reconoce ambas dimensiones y agrega un tercer componente, definiendo vulnerabilidad como “el grado en que un sistema es susceptible o incapaz de hacer frente a los efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y los extremos”. De tal manera que su evaluación “está en función del carácter, la magnitud y el rango de variación climática al que un sistema está expuesto, su sensibilidad y su capacidad de adaptación” (McCarthy et al., 2001). De

acuerdo con esta definición, la vulnerabilidad incluye una dimensión externa que está representada por la exposición de un sistema a las variaciones climáticas, así como también una dimensión interna más compleja al considerar su sensibilidad y capacidad adaptativa a estos causantes de estrés.

Para el cuarto reporte de evaluación (CRE), la definición de vulnerabilidad por parte del IPCC (2007) es similar a la presentada en el TRE, donde un sistema altamente vulnerable puede ser aquel que es muy sensitivo a cambios modestos en el clima, donde la sensibilidad incluye el potencial de daño y para el que su capacidad de adaptarse es fuertemente forzada.

Otros autores han caracterizado la vulnerabilidad usando estas tres dimensiones, Watts y Bohle (1993) describen en lo que llaman “espacio de vulnerabilidad” al componente externo como el riesgo de exposición a un determinado peligro, mientras que en el componente interno juntan la capacidad de hacer frente y el potencial de daño a causarse. Downing et al (2001) los distinguen como el presente crítico, la capacidad adaptativa y el peligro al cambio climático. Turner et al (2003) señalan que la vulnerabilidad está definida no solo por la exposición a un determinado fenómeno, sino también depende de la sensibilidad y resiliencia del sistema para enfrentar ese determinado fenómeno. Estos autores así como Luers et al (2003), proponen un método para calificar la vulnerabilidad basado en tres componentes, exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa.

Exposición se relaciona con el nivel de estrés climático de una unidad particular de análisis (O'Brien et al., 2004a), el peligro (estresor), su naturaleza y extensión de cambio en variables climáticas. Puede representarse como cambios en condiciones climáticas a largo plazo o también por cambios en la variabilidad climática, incluyendo magnitud y frecuencia de eventos extremos.

Sensibilidad se refiere al grado o nivel de respuesta del sistema por un cambio en el clima, positiva o negativamente. Es el grado en el que un sistema es potencialmente modificado por un disturbio, las condiciones humanas y ambientales que pueden empeorar o disminuir los impactos.

Capacidad adaptativa describe la habilidad de un sistema de ajustarse a condiciones actuales o esperadas, o bien, de enfrentar las consecuencias (O'Brien et al., 2004a). Es la capacidad de un sistema de modificar sus circunstancias para moverse a una condición menos vulnerable (Luers et al., 2003). Se considera como una función de salud, tecnología, educación, información, habilidad, infraestructura, acceso a recursos, estabilidad y capacidad de manejo en el sistema (IPCC, 2007).

Evaluación de la Vulnerabilidad

La evaluación de la vulnerabilidad debe tratar de responder a preguntas fundamentales como: quién o qué es vulnerable, a qué se es vulnerable, su grado de vulnerabilidad, las causas que lo hacen vulnerable así como qué puede disminuir dicha vulnerabilidad. Ante esta diversidad de elementos, definir criterios para cuantificar la vulnerabilidad se torna difícil, en parte porque como lo menciona Downing et al (2001) la vulnerabilidad no es un fenómeno de observación directa. Muchos enfoques se han enfrentado a esta situación, proponiendo diversos métodos cuantitativos y semi cuantitativos, pudiendo ser clasificados en dos grupos: aquellos que consideran la evaluación a partir de indicadores y aquellos que evalúan por variable.

Métodos econométricos

La evaluación por variable, mide y evalúa la vulnerabilidad a partir de variables de interés seleccionadas para un grupo específico de estresores (Luers et al., 2003). Aquí la vulnerabilidad es definida en términos de cambio que pueden ocurrir en el grupo de variables estudiadas, permitiendo evaluar la relación entre un rango amplio de variables. En el entendido que la selección de variables pueden caracterizar un determinado lugar, entonces proveen información importante sobre su vulnerabilidad. Este método ha sido aplicado, principalmente, en estudios económicos y en agricultura (Heitzmann et al., 2002; Prichett et al., 2000). Otra forma de aplicación ha sido el estudio de probabilidades de que una variable de interés sobrepase determinados umbrales (Mansury y Healy, 2002). Sin embargo, este tipo de evaluación no es suficiente para capturar completamente todas las dimensiones de vulnerabilidad, de hecho, no existe una única medida que pueda capturar las diversas dimensiones de la vulnerabilidad (Luers et al., 2003).

Los métodos econométricos son ejemplos de evaluación por variable y nacieron en las estimaciones sobre nivel pobreza y desarrollo. Han sido usados a nivel de hogar con información socioeconómica para analizar el nivel de vulnerabilidad de los grupos sociales. Este método puede dividirse en tres categorías:

vulnerabilidad por pobreza esperada (VPE), vulnerabilidad por baja utilidad esperada (VUE) y vulnerabilidad por inesperada exposición al riesgo (VER), como lo sugieren (Hoddinott y Quisumbing, 2003).

En VPE la vulnerabilidad de una persona es concebida como el potencial de que una persona se vuelva pobre en el futuro si actualmente no lo es, o bien, el prospecto futuro de que una persona continúe siendo pobre si actualmente lo es (Christiaensen y Subbarao, 2004). Aquí, la vulnerabilidad es vista como la pobreza esperada y el ingreso es la variable usada para medir el bienestar. Una desventaja del método es que en las estimaciones se debe de estar seguro que la información captura las posibles variaciones temporales. Por su parte, en VUE, (Ligon y Schechter, 2003) definen la vulnerabilidad como la diferencia entre la utilidad derivada de un nivel de ingreso sobre el cual un hogar pudiera no ser considerado como vulnerable y la utilidad misma proveniente del ingreso. La desventaja señalada por los autores es lo difícil que resulta contar con información de los individuos y sociedades. La VER evalúa la posible extensión a la que un evento negativo puede extenderse y ser causa de pérdida de bienestar. En este método, el impacto de un evento es evaluado mediante el cambio provocado en el ingreso. En la ausencia de manejo de riesgos, un evento puede disminuir el ingreso de la gente. La cantidad de pérdidas debidas al evento se pueden igualar, por ejemplo, a la cantidad pagada por los seguros después de que sucede el evento dañino. La desventaja del método es que con los resultados no se puede ser imparcial y concluyente.

Método por indicadores

La evaluación a partir de indicadores considera un grupo o combinación de indicadores y evalúa la vulnerabilidad a través de índices, promedios o pesos ponderados del grupo de indicadores. Este enfoque puede ser aplicado a cualquier escala (hogar, municipio, región, nacional) donde su principal limitante es su incapacidad de capturar la complejidad temporal y social de los sistemas evaluados. También, la aplicación de índices es limitada por su subjetividad en la selección de indicadores y la asignación de ponderación y peso, la disponibilidad de información y la dificultad de probar o validar los resultados (Luers et al., 2003). Sin embargo, el método es valioso debido a su capacidad de monitorear tendencias y explorar marcos conceptuales. De acuerdo con Leichenko y O'Brien (2001) los índices compuestos capturan la multi dimensionalidad de la vulnerabilidad en forma comprensible. Los indicadores de vulnerabilidad son necesarios para el proceso de toma de decisiones dado que provee de información sobre donde se encuentran las regiones y personas más vulnerables. La identificación de zonas de vulnerabilidad permite además conformar sistemas proactivos enfocados en proteger a la población. Vogel y O'Brien (2004) señalan que identificar los elementos de vulnerabilidad es un prerrequisito para la formulación e implementación de políticas que pueden promover el desarrollo equitativo y sustentable.

Se han observado dos opciones para el cálculo del nivel de vulnerabilidad usando este método a cualquier escala. La primera asume que todos los indicadores de vulnerabilidad tienen la misma importancia y así se les asignan los mismos pesos. La segunda opción asigna diferentes pesos para evitar la incertidumbre que significa la misma valoración, dada la diversidad de los indicadores que se aplican. Sobre este último, se tienen diferentes formas que se han sugerido para aplicar la asignación de pesos a las variables, tales como el juicio de expertos (Kaly et al., 1999), análisis de componentes principales (Easter, 1999), correlación con eventos pasados (Brooks et al., 2005b) y lógica difusa (Eakin y Tapia, 2008), por ejemplo.

Luers et al, (2003) argumentan que para evaluar la vulnerabilidad se debe enfocar en la evaluación de algunas variables de interés hacia un determinado grupo de estresores. Las variables o indicadores seleccionados así como el estresor bajo estudio permitirán conocer la vulnerabilidad de un lugar. Las variables y el estresor pueden cambiar con el tiempo y en el espacio, resultando en cambios relativos de la vulnerabilidad, pero la forma funcional de medir la vulnerabilidad permanecerá igual. Para medir la vulnerabilidad debe hacerse sobre variables específicas en vez de generalizar sobre un determinado lugar, de acuerdo con los autores, debido a que el sistema más simple es complejo, se torna difícil medir todas sus variables, procesos y disturbios que las caracterizan.

En el presente estudio se adopta el concepto de evaluación integrada de la vulnerabilidad. Se obtuvieron diferentes indicadores socioeconómicos y biofísicos y fueron clasificados en las tres diferentes dimensiones de la vulnerabilidad de acuerdo con la definición del IPCC: capacidad adaptativa, exposición y sensibilidad.

2. OBJETIVOS

La presente investigación tiene como objetivo general:

Proponer un método que permita evaluar la vulnerabilidad del sector agrícola ante escenarios de cambio climático para contribuir en su estudio y así contar con mayores elementos de decisión en la formulación de estrategias y políticas de adaptación en el sector.

Objetivos Específicos

1. Obtener información nacional a nivel municipal que permita evaluar el grado de vulnerabilidad que se tiene en el sector agrícola del país.
2. Integrar una metodología que incluya la evaluación de la exposición, sensibilidad, capacidad adaptativa y vulnerabilidad climática en el sector agrícola del país.
 - 2.1 Evaluar la exposición que el sector agrícola puede observar ante escenarios de cambio climático para contar con más información sobre el grado de estrés al que se está expuesto.
 - 2.2 Evaluar el grado en el que el sector agrícola será potencialmente modificado o afectado ante escenarios de cambio climático como medida de sensibilidad a los impactos potenciales.
 - 2.3 Evaluar la capacidad adaptativa que se puede observar en el sector agrícola para conocer el potencial de hacer frente a escenarios de cambio climático.
 - 2.4 Aplicar un método de evaluación integrada de la vulnerabilidad en el sector agrícola y de los recursos naturales.
 - 2.5 Obtener un índice que muestre el grado de vulnerabilidad del sector agrícola del país y que permita sustentar las políticas de adaptación.
 - 2.6 Regionalizar al país de acuerdo con los resultados de la evaluación integrada de la vulnerabilidad,

Para lograr los objetivos planteados, el trabajo experimental se planteó en cinco etapas: a) obtener información a nivel nacional y por municipio de las principales fuentes de información en el país y que permitan evaluar la exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa del sector; b) analizar estadísticamente la información obtenida; c) estimar el grado de exposición, capacidad adaptativa y sensibilidad del sector para conocer su vulnerabilidad; d) aplicar un método de evaluación integrada de la vulnerabilidad y e) obtener mapas regionalizados a partir de los resultados antes señalados, que permita hacer análisis comparativos entre las diferentes zonas identificadas por su grado de vulnerabilidad.

3. LITERATURA CITADA

- Adger, W.N. (1996) Approaches to vulnerability to climate change. Working Paper GEC 96-05. University of East Anglia, Norwich, UK.
- Adger, W.N. y Kelly, P.M. (1999) Social vulnerability to climate change and the architecture of entitlements. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 4, 253-266.
- Allen, J. y Lu, K. (2003) Modelling and prediction of future urban growth in the Charleston region of South Carolina: a GIS based integrated approach. *Conservation Ecology* 8.
- Bohle, H.G. (2001) Vulnerability and criticality: Perspectives from social geography., Newsletter of the International Human Dimension Programme on Global Environmental Change. IHDP Update, pp. 1-4.
- Bohle, H.G., Downing, T.E. y Watts, M.J. (1994) Climate change and vulnerability: Toward a sociology and geography of food insecurity. *Global Environmental Change* 4, 37-48.
- Brooks, N., Adger, W.N. y Kelly, P.M. (2005) The determinant of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environmental Change* 15, 151-163.
- Carpenter, S., Walker, B., Anderies, J.M. y Abel, N. (2001) From metaphor to measurement: resilience of what to what? *Ecosystems* 4, 765-781.

- Cuttler, S.L., Mitchell, J.T. y Scott, M.S. (2000) Revealing the vulnerability of people and places: a case study of Georgetown County. *Annals of the Association of American Geographers* 90, 713-737.
- Christiaensen, J. y Subbarao, K. (2004) Toward an understanding of household vulnerability in rural Kenya., The World Bank Policy Research Working Paper. World Bank, Washington DC.
- Downing, T. y Patwardham, A. (2006) Technical paper 3: Vulnerability assessment for climate change adaptation., in: Lim, B., Spanger, E. (Eds.), *Adaptation Policy Framework*. United Nations Development Program., New York, USA, p. 251.
- Downing, T.E., Butterfield, R., Cohen, S., Huq, S., Moss, R., Rahman, A., Sokoma, Y. y Stephen, L. (2001) *Vulnerability indices: climate change impacts and adaptations*. United Nations, New York, USA.
- Eakin, H. y Tapia, B. (2008) Insights into the composition of household vulnerability from multicriteria decision analysis. *Global Environmental Change* 18, 112-127.
- Easter, C. (1999) Small states development: A commonwealth vulnerability index. *The round table* 351, 403-422.
- Folke, C., Carpenter, S., Elmqvist, T., Gunderson, L., Holling, C., Walker, B. y Bengtson, J. (2002) Resilience and sustainable development: building adaptive capacity in a world of transformation., Environmental Advisory Council of Swedish Government.
- Füssel, H.M. (2007) Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. *Global Environmental Change* 17, 155-167.
- Füssel, H.M. y Klein, R.J.T. (2006) Climate change vulnerability assessments: An evolution of conceptual thinking. *Climatic Change* 75, 301-329.
- Heitzmann, K., Canagarajah, R.S. y Siegel, P.B. (2002) Guidelines for assessing the sources of risk and vulnerability., World Bank Social Protection Discussion Paper, Washington. DC.
- Hoddinott, J. y Quisumbing, A. (2003) Methods for microeconomic risk and vulnerability assessments., Social Protection Discussion Paper Series. The World Bank, Human Development Network, Washington DC.
- IPCC. (2001) *Climate Change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability.*, in: McCarthy, J.J. (Ed.), Contributions of working group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC. (2007) Summary for Policymakers, in: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., Linden, P.J., Hanson, C.E. (Eds.), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Kaly, U., Brigugilo, L., McLeod, H., Schmsall, S., Pratt, C. y Pal, R. (1999) Environmental vulnerability index (EVI) to summarize national environmental vulnerability profiles, in: SOPAC (Ed.), *Technical Report Suva*, Fiji.
- Kelly, P.M. y Adger, W.N. (2000) Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation. *Climatic Change* 47, 325-352.
- Leichenko, R.M. y O'Brien, K.L. (2001) The dynamics of rural vulnerability to global change: The case of Southern Africa. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 7, 1-18.
- Ligon, E. y Schechter, L. (2003) Measuring vulnerability. *Economic Journal* 113, 95-102.
- Liverman, D.M. (1990) Vulnerability to global environmental change., in: Kaspersen, R.E., Dow, K., Golding, D., Kaspersen, J.X. (Eds.), *Understanding global environmental change: The contributions of risk analysis and management* (Chapter 26). Clark University, Worcester, MA, pp. 27-44.
- Luers, A.L., Lobell, D.B., Skar, L.S., Addams, C.L. y Matson, P.A. (2003) A method for quantifying vulnerability, applied to the agricultural system of the Yaqui Valley, México. *Global Environmental Change* 13, 255-267.
- Mansury, G. y Healy, A. (2002) Vulnerability prediction in rural Pakistan., IFPRI World Bank Conference on Risk and Vulnerability: Estimation and Policy Implications., Washington D.C.
- McCarthy, J., Canziani, O., Leary, N., Dokken, D. y White, K. (2001) *Climate Change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability.*, Cambridge, UK.
- Mitchell, J., Devine, N. y Jagger, K. (1989) A contextual model of natural hazards. *Geographical Review* 79, 391-409.
- Moser, C.O.N. (1998) The asset vulnerability framework: Reassessing urban poverty reduction strategies. *World Development* 26, 1-19.

- O'Brien, K.L., Leichenko, R.M., Kelkar, U., Venema, H.M., Aandahl, G., Tompkins, H., Javed, A., Bhadwal, S., Barg, S., Nygaard, L. y West, J. (2004a) Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization un India. *Global Environmental Change* 14, 303-313.
- O'Brien, K.L., Sygna, L. y Haugen, J. (2004b) Vulnerable or resilient? A multi-scale assessment of climate impacts and vulnerability in Norway *Climatic Change* 64, 193-225.
- Parry, M., Canziani, O., Palutikof, J.P. y Coautores. (2007) Resumen técnico. Cambio Climático 2007: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Aportes del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. Cambridge, U.K.
- Prichett, L., Suryahadi, A. y Sumarto, S. (2000) Quantifying vulnerability to poverty: A proposed measure with application to Indonesia., Social Monitoring and Early Response Unit Research Institute (SMERU).
- Ribot, J.C. (1995) The causal structure of vulnerability: its application to climate impact analysis. *GeoJournal* 35, 119-122.
- Smit, B. (2006) Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change* 16, 282-292.
- Turner, B.L., Kasperson, R.E., Matson, P.A., McCarthy, J.J., Corell, R.W., Christensen, L., Eckley, N., Hovelsrud, G.K., Luers, A., Martello, M.L. y Tyler, N. (2003) Illustrating the coupled human environmental system for vulnerability analysis: Three case studies. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA, pp. 8080-8085.
- Vogel, C. y O'Brien, K.L. (2004) Vulnerability and global environmental change: Rethoric and reality. *AVISO Bulletin* 13, 1-8.
- Watts, M.J. y Bohle, H.G. (1993) The space of vulnerability: the causal structure of hunger and famine. *Progress in Human Geography*. 17, 43-67.

CAPÍTULO 2 - EXPOSICIÓN CLIMÁTICA EN LOS MUNICIPIOS DE MÉXICO

Resumen

El capítulo presenta una evaluación de la exposición climática actual y futura para los municipios de México. Se tomaron tres ejes de análisis: el primero, hacia caracterizar los eventos extremos históricos en el país, como medida de la naturaleza de la exposición. El segundo fue dentro de la problemática ambiental observada en los municipios. El último eje consistió en incluir escenarios de cambio climático futuros sugeridos por dos modelos y sobre las variables temperatura y precipitación, como medida del grado de exposición futura. El método aplicado se organizó en tres partes: selección de indicadores para evaluar la exposición, obtención de un índice de exposición base y dos futuros, así como el mapeo de la exposición al cambio climático en México. Se seleccionaron dieciséis indicadores que permitieron caracterizar la exposición en cuatro dimensiones; seis indicadores para eventos extremos, cuatro indicadores para problemática ambiental y dos indicadores de climatología base más cuatro de cambio climático. Los indicadores fueron estandarizados estadísticamente para hacerlos comparables entre sí. Mediante la aplicación de fórmulas empíricas se obtuvieron tres subíndices para las dimensiones base (fenómenos extremos, problemática ambiental y climatología base) y dos subíndices para condiciones futuras (climatología futura según modelo MPI ECHAM5 y climatología futura según modelo HADGEM1). Se integraron también en una fórmula empírica los subíndices de las condiciones base para obtener el índice de exposición base. Del mismo modo se procedió para obtener dos índices de exposición futuros, al incluir la climatología futura de los dos modelos de cambio climático utilizados. Los tres índices de exposición fueron normalizados en valores que van de cero a cien y les fue asignado un valor cualitativo de severidad. Los resultados fueron cartografiados y representados en mapas del país a escala municipal. En la integración del índice de exposición base se obtuvieron bajas correlaciones con las dimensiones de fenómenos extremos y problemática ambiental, no así con la dimensión climática, base o con cambio, que fue la más alta. Actualmente y en las clases de media, alta y muy alta exposición se encuentran 418 municipios, que significan el 17 por ciento del total nacional. Más de diez millones de personas (poco más de 10 por ciento nacional) en el país han observado alta y muy alta exposición en los últimos años, principalmente por la ocurrencia de fenómenos extremos, problemas ambientales y clima severo. Para el escenario del modelo MPI ECHAM5, continuarán más de diez millones de personas en el país viviendo con alta y muy alta exposición. Para el escenario del modelo HADGEM1, serán más de doce millones de personas.

1. Introducción

La vulnerabilidad es, de acuerdo con el IPCC (2007), “el grado en que los sistemas son capaces o incapaces de afrontar los impactos negativos del cambio climático”, incluyendo la variabilidad y los fenómenos extremos. La definición subraya que la vulnerabilidad se encuentra en función del carácter, la dimensión y el índice de variación climática a que está expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación. Así, se puede señalar que los elementos que definen la vulnerabilidad de un sistema son su exposición, su sensibilidad y capacidad adaptativa, incluidos en una dimensión interna y otra externa (McCarthy et al., 2001; Parry et al., 2007).

La dimensión interna de la vulnerabilidad está representada por la sensibilidad y la capacidad adaptativa del sistema. Se relaciona con la capacidad de defensa y seguridad; la capacidad de anticiparse, enfrentar, resistir y recobrase de un determinado impacto o daño. Se ha señalado que los procesos internos o de ocupación del sistema, tales como el uso del suelo, factores sociales, económicos, culturales, políticos o ambientales pueden ser los determinantes de la vulnerabilidad (Smit, 2006).

La dimensión externa de la vulnerabilidad se refiere a la exposición y riesgo a un determinado fenómeno o estresor. La definición propuesta por el IPCC para exposición señala que es “la naturaleza y grado al cual está expuesto un sistema a variaciones climáticas considerables”. Se relaciona con el nivel de estrés climático de una unidad particular de análisis o sistema (O'Brien et al., 2004a), el peligro (estresor), su naturaleza y extensión de cambio en variables climáticas. Puede representarse como cambios en condiciones climáticas a largo plazo o también por cambios en la variabilidad climática, incluyendo magnitud y frecuencia de eventos extremos. En este estudio se consideró que el nivel de estrés climático se puede representar al considerar la frecuencia con que los fenómenos extremos (de precipitación y temperatura) se han presentado en los últimos años sobre los municipios del país. También, se considera que el peligro o estresor puede ser evaluado a partir de los posibles comportamientos futuros de las variables temperatura y precipitación.

Se ha propuesto que para evaluar la exposición, la dimensión externa de la vulnerabilidad, es posible hacerlo a través de indicadores biofísicos o por variables de interés (Luers et al., 2003). El método de variables de interés puede aplicarse midiendo un grupo de variables previamente definidas hacia un determinado estresor y la exposición se definirá en términos de cambio que podrá ocurrir en esas variables. Una variante del método es la probabilidad de que una variable sobrepase un determinado umbral (Mansury y Healy, 2002).

El método por indicadores ha sido el más usado para cuantificar los componentes de la vulnerabilidad, dado que ha sido aplicado para comprender los factores físicos y socioeconómicos que contribuyen en la vulnerabilidad (Hebb y Mortsch, 2007). La evaluación por indicadores puede ser aplicada a cualquier escala (hogar, municipio, región, país) aunque su principal limitante es la incapacidad de capturar la complejidad temporal y social de los sistemas evaluados. También, la aplicación de indicadores es limitada por su subjetividad en su selección y la asignación de ponderación y peso, la disponibilidad de información y la dificultad de probar o validar los resultados (Luers et al., 2003). Sin embargo, el método es valioso debido a su capacidad de monitorear tendencias y explorar marcos conceptuales. Las evaluaciones biofísicas también se conocen como evaluaciones de impactos y se enfocan principalmente en los impactos físicos de la variabilidad climática o por cambio climático en diferentes atributos, como los eventos extremos o los cambios futuros sobre variables climáticas (Füssel y Klein, 2006).

Algunos ejemplos en el uso de indicadores a nivel mundial son el Índice de Desarrollo Humano de Naciones Unidas (UNDP, 1990), Índice de Seguridad Alimentaria (Downing et al., 2001) y el Índice de Vulnerabilidad de Lonergan (Lonergan, 1998); a nivel regional se tienen los mapas de vulnerabilidad del Instituto de Investigación en Energía (TERI, 2003), la vulnerabilidad a la globalización (O'Brien et al., 2004a) y los propuestos por Luers (Luers et al., 2003). Helberth et al., (2009) usaron indicadores agrupados en indicadores directos e indirectos de riesgo al cambio climático y alta frecuencia en eventos extremos. Otros estudios similares se encuentran en (Brenkert y Malone, 2005; Cuttler, 1996; Cuttler et al., 2000) y en (Aymone y Ringler, 2009). Sin embargo, no hay hasta el momento una metodología sistemática para hacer operativa la evaluación de la exposición y vulnerabilidad al cambio climático, sobre todo en el contexto de múltiples estresores (O'Brien et al., 2004a). En el presente capítulo se sigue el método de indicadores para caracterizar e identificar las regiones más expuestas de México a nivel municipal.

La literatura provee dos vertientes para la aplicación de métodos por indicadores. El primero asume que todos los indicadores tienen la misma importancia y así se les asignan los mismos pesos. El segundo, asigna diferentes pesos para evitar la incertidumbre que significa la misma valoración, dada la diversidad de los indicadores aplicados. Sobre este último, se conocen diferentes formas, como el juicio de expertos (Kaly et

al., 1999; Kaly y Pratt, 2000), análisis de componentes principales (Easter, 1999), correlación con eventos pasados (Brooks et al., 2005b) y lógica difusa (Eakin y Tapia, 2008), por ejemplo.

El clima es un fenómeno multidimensional que se manifiesta a diferentes escalas espacio temporales, por lo que Burton (1997) propuso tres niveles a distinguir entre las variables climáticas (la temperatura), eventos climáticos (una tormenta) y procesos climáticos de largo plazo (cambio climático antropogénico). (Füssel y Klein, 2006) señalan que para evaluar la exposición se deben de considerar los anteriores pero dependerá de las circunstancias específicas de cada lugar. También señalan que la mayoría de los estudios se han concentrado en los procesos climáticos de largo plazo (temperatura media anual, precipitación media anual y nivel del mar, por ejemplo) debido a que la información es fácilmente accesible y los resultados son rápidamente incorporables a modelos.

La literatura especializada ha evaluado la exposición climática desde el análisis de riesgos pero muy poco desde la perspectiva de cambio climático. Además, en México no se conoce una evaluación a nivel nacional y a escala municipal del grado de exposición climática. Por lo anterior, el objetivo del presente estudio es contribuir con el análisis de la exposición climática en México. Para lograrlo, se evalúa la exposición que han observado los municipios del país a través de indicadores, que permiten identificar aquellas regiones del país que han estado más expuestas a la variación climática y que lo estarán en el futuro al considerar cambio climático.

2. Materiales y Métodos

El método se dividió en tres partes: (i) selección y tratamiento de indicadores para evaluar la exposición, (ii) obtención de un índice de exposición y (iii) mapeo de la exposición climática y al cambio climático en México. El objetivo fue obtener indicadores históricos que permitieran caracterizar el grado de estrés climático que se ha observado en los últimos años sobre los municipios de México. Se buscó que los indicadores representen cambios en las condiciones climáticas históricas al incluir magnitud y frecuencia de eventos extremos (O'Brien et al., 2004a). Se seleccionaron indicadores de frecuencia histórica de eventos extremos, de problemática ambiental observada en los municipios del país y en un grupo de variables climáticas temperatura y precipitación bajo escenarios de cambio climático. La información fue obtenida del Centro Nacional para la Prevención de Desastres (CENAPRED) así como del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM (UNIATMOS) y fue procesada geográficamente en ArcGis (versión 10) y estadísticamente en PASW Statistics (versión 18). El proceso se detalla a continuación.

2.1 Selección y tratamiento de indicadores

Se consideraron tres grupos de indicadores: a) frecuencia de eventos extremos, b) problemática ambiental y b) cambios modelados en el clima. Detalles sobre los indicadores se presentan en el Cuadro 2-1.

Los indicadores dentro del grupo de frecuencia de eventos extremos fueron: amenaza a sequía, reporte de inundaciones, heladas y granizadas, deslizamientos de tierra, lluvias intensas y otros tipos de fenómenos naturales. Se seleccionaron estos indicadores con base en la hipótesis de que los municipios que han presentado uno o más de estos fenómenos en los últimos años muestran más exposición a la frecuencia de eventos extremos. En regiones con alta frecuencia de sequías, lluvias intensas, inundaciones, heladas y granizadas, la actividad primaria se encuentra más expuesta y en consecuencia es más vulnerable. Por el contrario, en regiones donde no se han presentado los fenómenos se tendrán oportunidades para adaptarse a las condiciones climáticas futuras.

Una amenaza que se ha documentado en el país es la alta variabilidad climática, que históricamente ha incluido diversas inundaciones, sequías, heladas y granizadas. La probabilidad de ocurrencia de una sequía fue proporcionada por Cruz (2011) donde se representa la probabilidad de que la lluvia acumulada sea menor a 400 mm, valor mínimo de lluvia que se requiere para obtener rendimientos mínimos, acumulado para el periodo de mayo-noviembre. Lo anterior para la producción de maíz, frijol, cebada y trigo, como los principales cultivos de temporal evaluados. El indicador incluye información para el periodo comprendido entre el año 1950 y 2009. La hipótesis sobre el indicador es que a mayor probabilidad de ocurrencia de una sequía, mayor es la exposición del municipio. El reporte de inundaciones fue tomado de CENAPRED (2010) y se refiere al total de eventos reportado por los municipios para el periodo 1985-2000. La hipótesis es que a mayor frecuencia en el reporte de la inundación, mayor es la exposición del municipio. La información sobre heladas y granizadas fue tomada también de CENAPRED (2010) y se refiere a la cantidad total de eventos reportados entre 1985 y 2000. La hipótesis para el indicador es que a mayor frecuencia de heladas y granizadas mayor es la exposición del municipio. Sobre el reporte de deslizamientos y lluvias intensas como indica-

dores también fueron tomados de la misma fuente. La información cubre el periodo comprendido entre el año 1985 y 2000. La hipótesis sobre los indicadores es que a mayor frecuencia reportada, mayor es la exposición del municipio. El último indicador de este grupo hace referencia a algún otro tipo de fenómeno reportado en el municipio, entre los que se denotan aludes, maremotos, nevadas y tornados. En este caso la base de datos se obtuvo de la misma fuente y se refiere a la cantidad reportada por los municipios en el mismo periodo.

La problemática ambiental se evaluó a partir de la presencia de cinco problemas ambientales en los municipios: tala ilegal, incendios, plagas y enfermedades, pérdida de biodiversidad y contaminación de agua. La hipótesis de este indicador fue que a mayor existencia de problemas ambientales mayor será el grado de exposición de los municipios. La información fue obtenida de SEDESOL (2010). En la evaluación también se incluyó el porcentaje de la superficie municipal sin vegetación, el porcentaje de unidades de producción¹ que reportaron pérdidas por cuestiones climáticas y también pérdidas por falta de fertilidad en los suelos. La fuente de información fue INEGI (2009) de acuerdo a lo reportado en el censo agrícola, pecuario y forestal.

El tercer grupo de indicadores de exposición fueron los cambios modelados en variables climáticas para el año 2030. Los indicadores fueron: temperatura y precipitación media anuales, así como las proyecciones futuras en temperatura y precipitación, obtenidos de UNIATMOS (Fernandez et al., 2009) para los modelos HADGEM1 y MPI ECHAM5, bajo el escenario A2 para el año 2030. Se decidió trabajar con los meses de mayo, junio, julio y agosto, debido a que son los más significativos para la producción agrícola. Se incluyeron dos modelos de cambio climático para ilustrar la incertidumbre asociada con la exposición al cambio climático. Con lo anterior se logró identificar aquellos municipios que muestran diferencias respecto a las variables climáticas observadas o condiciones base, por tanto, aquellos municipios más expuestos al cambio climático y en consecuencia con mayor vulnerabilidad.

2.2 Construcción del índice de Exposición

En este estudio se siguió la definición del IPCC (2007) sobre exposición, definida como la naturaleza y grado al cual está expuesto un sistema. Para caracterizar la naturaleza de la exposición se utilizaron seis indicadores de eventos extremos históricos relacionados con humedad (sequías, lluvias intensas, inundaciones, deslizamientos) y con temperatura (heladas y granizadas). No se incluyen indicadores de exposición de otra naturaleza, por ejemplo de sismos, dado que se decidió únicamente evaluar aspectos climáticos. Para incluir en la evaluación el grado de exposición futura, en el estudio se incluyeron escenarios de cambio climático sobre temperatura y precipitación, para el horizonte del año 2030. En esta investigación se consideró entonces que la exposición de los municipios de México se encuentra en función de la frecuencia de eventos extremos experimentados, de la problemática ambiental observada y del comportamiento futuro de dos variables climáticas, tal como lo describe la siguiente fórmula:

$$\text{Exposición} = f(\text{frecuencia de eventos extremos, problemática ambiental, climatología}) \quad (1)$$

Siguiendo el Cuadro 2-1, para evaluar la frecuencia con que se han presentado eventos extremos en el país se utilizaron seis indicadores con información a nivel municipal: sequías, inundaciones, heladas y granizadas, deslizamientos, lluvias intensas, y otros. La problemática ambiental incluye cuatro indicadores a nivel municipal, dados por: total de cinco problemas, superficie sin vegetación, pérdidas por clima, pérdidas por fertilidad. En la evaluación climática se consideraron seis indicadores, dos para las condiciones base y cuatro para las condiciones futuras de temperatura y de precipitación, originados por las salidas de dos modelos de cambio climático para el año 2030. En el Cuadro 2-2 se presenta información de las unidades de medida de los indicadores, los valores mínimos, máximos, el rango así como la desviación estándar de cada uno.

Se prestó especial atención a que el valor máximo de cada variable reflejara la máxima severidad en exposición. Todos los valores de las variables (E1...E16) fueron estandarizados para eliminar las diferentes escalas y hacerlos comparables entre sí, de acuerdo con:

$$Z = (X_i - X)/DS \quad (2)$$

Donde Z representa el valor estandarizado, X_i el valor observado, X el valor medio del conjunto de valores i , y DS la desviación estándar del conjunto de valores i .

¹ INEGI define a las Unidades de Producción como el “conjunto formado por los terrenos, con o sin actividad agropecuaria o forestal en el área rural o con actividad agropecuaria en el área urbana, ubicados en un mismo municipio; los animales que se posean o críen; así como los equipos, maquinarias y vehículos destinados a las actividades agrícolas, pecuarias o forestales; siempre que durante el periodo de marzo a septiembre del 2007, todo esto se haya manejado bajo una misma administración”, para el censo agrícola, pecuario y forestal realizado en el año 2007. El INEGI reportó ese año la cantidad de 5 548 845 unidades de producción en el país.

Cuadro 2-1. Indicadores utilizados para construir el índice de exposición

Indicador	Descripción y fuente	Hipótesis
<i>A) Frecuencia de eventos extremos:</i>		
E1. Amenaza a sequía	Probabilidad de que exista lluvia por debajo de 400 milímetros. Obtenido de Cruz (2011)	A mayor probabilidad mayor exposición
E2. Inundaciones	Frecuencia reportada de inundaciones por municipio entre 1985 y 2000 por CENAPRED	A mayor frecuencia mayor exposición
E3. Heladas y granizadas	Frecuencia reportada de heladas y granizadas por municipio entre 1985 y 2000 por CENAPRED	A mayor frecuencia mayor exposición
E4. Deslizamientos	Frecuencia reportada de deslizamientos por municipio entre 1985 y 2000 por CENAPRED	A mayor frecuencia mayor exposición
E5. Lluvias intensas	Frecuencia reportada de lluvias intensas por municipio entre 1985 y 2000 por CENAPRED	A mayor frecuencia mayor exposición
E6. Otros fenómenos	Frecuencia reportada de otro tipo de fenómenos extremos por municipio entre 1985 y 2000 por CENAPRED	A mayor frecuencia mayor exposición
<i>B) Problemática Ambiental</i>		
E7. Problemática	Total de cinco problemas ambientales reportados por municipio (tala ilegal, incendios, plagas, pérdida de biodiversidad y contaminación de agua) de SEDESOL	A mayor cantidad de problemas mayor exposición.
E8. Sin vegetación	Porcentaje de la superficie sin vegetación aparente de INEGI	A mayor cantidad de superficie sin vegetación mayor exposición.
E9. Pérdidas	Porcentaje de unidades de producción en el municipio que reportaron pérdidas por algún tipo climático de INEGI	A mayor cantidad de pérdidas reportadas en un municipio mayor exposición.
E10. Fertilidad	Porcentaje de unidades de producción que reportaron pérdidas por falta de fertilidad en suelos de INEGI	A mayor cantidad de pérdidas reportadas en un municipio mayor exposición.
<i>C) Cambios modelados en el clima:</i>		
E11. Temperatura	Temperatura media anual (°C) observada para el periodo 1950-2000 de UNIATMOS	Escenario base de temperatura.
E12. Precipitación	Precipitación media anual (mm) observada para el periodo 1950-2000 de UNIATMOS	Escenario base de precipitación.
E13. Temperatura futura 1	Temperatura futura (°C) modelo MPI ECHAM5, A2, al 2030 de UNIATMOS	Escenario futuro de temperatura
E14. Precipitación futura 1	Precipitación futura (mm) modelo MPI ECHAM5, A2, al 2030	Escenario futuro de precipitación
E15. Temperatura futura 2	Temperatura futura (°C) modelo HADGEM1, A2, al 2030	Escenario futuro de temperatura
E16. Precipitación futura 2	Precipitación futura (mm) modelo HADGEM1, A2, al 2030	Escenario futuro de temperatura

Con los indicadores preparados se procedió a obtener tres índices. El primero buscó identificar la exposición base mientras que dos más la exposición futura, bajo escenarios de cambio climático. Para la construcción del indicador base se consideraron tres subíndices: de fenómenos extremos (E1 a E6), problemática ambiental (E7 a E10) y climatología base (E11 y E12). Cada uno de ellos fue calculado bajo una media aritmética de sus indicadores. Después, los tres sub índices fueron integrados en el índice de exposición base, de acuerdo con:

$$\text{Índice de Exposición Base} = (\text{IFE} + \text{IPA} + \text{ICB}) \quad (3)$$

Cuadro 2-2. Valores estadísticos de los indicadores de exposición

Dimensión	Indicador	Clave	Medida	Min.	Máx.	Rango	Desviación Estándar
Fenómenos extremos	Amenaza de sequías	E1	%	0	100	100	29.65
	Inundaciones	E2	Total	0	51	51	3.56
	Heladas y granizadas	E3	Total	0	45	45	1.69
	Deslizamientos	E4	Total	0	22	22	0.99
	Lluvias intensas	E5	Total	0	9	9	0.81
	Otros tipos	E6	Total	0	65	65	3.23
Problemática ambiental	Total de cinco problemas	E7	Total	0	5	5	1.52
	Sin vegetación	E8	%	0	61	61	2.52
	Pérdidas por clima	E9	%	0	98	98	23.02
Climatología base	Pérdidas por fertilidad	E10	%	0	100	100	15.30
	Temperatura base	E11	°C	10	30	20	4.48
Climatología futura	Precipitación base	E12	mm	2	656	654	80.51
	Temperatura modelo MPI ECHAM5	E13	°C	11	31	20	4.45
	Precipitación modelo MPI ECHAM5	E14	mm	1	607	606	75.97
	Temperatura modelo HADGEM1	E15	°C	12	32	20	4.48
	Precipitación modelo HADGEM1	E16	mm	2	609	607	80.64

Donde IFE se refiere al sub índice de fenómenos extremos, IPA al sub índice de problemática ambiental, ICB al sub índice de climatología base. La construcción de los dos índices de exposición futura consideraron las proyecciones futuras de temperatura y precipitación de los dos modelos aplicados, de acuerdo con:

$$\text{Índice de Exposición Futura}_{\text{Echam}} = (\text{IFE} + \text{IPA} + \text{ICFE}) \quad (4)$$

$$\text{Índice de Exposición Futura}_{\text{Hadgem}} = (\text{IFE} + \text{IPA} + \text{ICFH}) \quad (5)$$

En donde ICFE es el sub índice de climatología futura según el modelo MPI ECHAM5 así como ICFH es el sub índice de climatología futura de acuerdo al modelo HADGEM1. Por último, los tres índices finales, calculados con las formulas 3, 4 y 5 fueron normalizados a valores entre 0 y 100 de acuerdo con la fórmula:

$$N = (X_i - X_m) / (X_M - X_m) \quad (6)$$

Donde N es el valor normalizado entre 0 y 100, X_i es el valor observado, X_m es el valor mínimo observado y X_M el valor máximo observado en el conjunto de datos i .

2.3 Mapeo de los índices de Exposición

Una vez se construyeron los índices de exposición actual y futuros, a cada municipio del país le fue asignado el valor obtenido, permitiendo jerarquizar el grado de exposición municipal. El rango de valores final fue dividido en cinco grupos de acuerdo a una distribución geométrica de las frecuencias y a cada grupo se le asignó un indicador cualitativo de severidad en su exposición:

Cuadro 2-3. Criterios aplicados para la severidad de exposición climática en municipios de México

Índice de exposición	0-20	21-40	41-60	61-80	80-100
Severidad de la exposición	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto

Finalmente, se integraron los resultados en la base de los 2455 municipios de México y se pudo cartografiar el índice y la severidad de la exposición en mapas a nivel municipal.

3. Resultados y Discusión

Los resultados se presentan en dos partes: la primera parte sobre lo encontrado sobre exposición base mientras que la segunda parte versa sobre una estimación de la exposición futura.

3.1 Exposición base

Es importante recordar que la exposición fue analizada en tres ejes: fenómenos extremos, problemática ambiental así como climatología y escenarios de cambio climático futuros. Para cada uno de ellos se calculó un sub índice que refleja la severidad del grupo estudiado.

En la integración del índice de exposición base se obtuvieron bajas correlaciones con la ocurrencia de fenómenos extremos (0.35) y problemática ambiental (0.42). En el caso de la dimensión climática el valor de correlación fue el más alto (0.83). Para el caso de fenómenos extremos se puede atribuir a que el indicador señala únicamente frecuencias de ocurrencia de los eventos, no así, su severidad. Una gran cantidad de municipios del centro del país reportan baja afectación de este tipo de fenómenos, aunque es de resaltar que pueden encontrarse aquéllos que han reportado una mayor frecuencia. Una mejor participación se observa con la problemática ambiental y con los valores climáticos, ya que los datos aquí utilizados reflejan valores continuos de severidad (Figura 2-1).

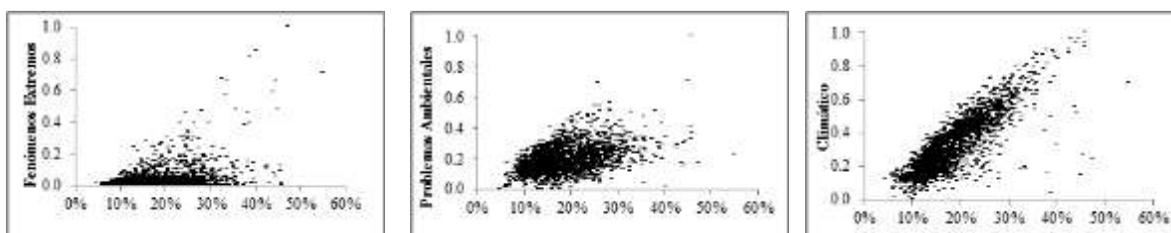


Figura 2-1. Dispersión y correlación para sub índices de fenómenos extremos, problemática ambiental y climatología, respectivamente, dentro del índice de exposición base.

Para comprender mejor lo anterior, se analizó de una manera más detallada la participación de las variables en cada grupo con el índice de exposición obtenido y el grado de afectación. Así, para la dimensión de fenómenos extremos se encontró que la variable que menos aporta en explicar la exposición es la amenaza a la sequía (Cuadro 2-4). Los valores no permiten establecer una tendencia clara, ya que por ejemplo, para el grado de exposición muy bajo se tiene una amenaza de 29 por ciento mientras que para muy alta es de 40 por ciento. El menor valor (3%) se encuentra en la categoría media. Además, cabe señalar que esta variable cuenta con información para 1208 municipios (menos del 50 por ciento nacional) y que se consideró importante mantenerla dado que indica amenaza a sequía en municipios con actividad agrícola de temporal.

Cuadro 2-4. Participación promedio de cada indicador de eventos extremos, según grado de exposición base.

Grado de exposición	Amenaza Sequía	Inundaciones	Heladas	Lluvias Intensas	Deslizamientos	Otros Problemas
Muy Baja	29.01	0.567	0.206	0.045	0.047	0.484
Baja	18.46	1.144	0.289	0.243	0.130	0.842
Media	3.28	2.695	0.322	0.681	0.507	1.768
Alta	4.54	6.455	1.659	1.705	1.045	7.205
Muy Alta	40.53	15.000	7.000	2.000	3.286	14.571

Nota: Amenaza a sequía está dada en % y las demás en total de eventos.

Por otro lado, el resto de los indicadores (inundaciones, heladas, lluvias intensas, deslizamientos y otros problemas) muestra un mejor comportamiento en cuanto a caracterizar la exposición. Cabe recordar que estos señalan frecuencia de ocurrencia y reporte de los eventos, entre los años 1980 y 2000. En inundaciones y para la categoría muy baja se tiene una frecuencia menor a un reporte y para la categoría muy alta de quince. Para el indicador de heladas se tiene una amplitud menor en el rango pero aun así es importante. En la categoría muy baja se reportan menos de un evento mientras que el promedio de la categoría muy alta es de siete reportes. La tendencia es similar para los siguientes tres indicadores.

El rango de valores del sub índice de eventos extremos (0-100) fue dividido en cinco clases de acuerdo con una distribución geométrica de su histograma o frecuencias: muy bajo (0–20), bajo (21–40),

medio (41–60), alto (61–80) y muy alto (81–100). Se encontró que 52 municipios presentan un valor muy alto de ocurrencia de eventos extremos. Por su parte, 445 municipios se definen con valor alto y 794 con valor medio de severidad por eventos extremos. Lo anterior equivale a señalar que 1291 municipios (53 por ciento de los municipios del país) han observado en los últimos años algún tipo de impacto (de medio a muy alto) por fenómenos extremos. La frecuencia de los fenómenos estudiados indica que prácticamente todo el país ha estado expuesto a su ocurrencia (ver mapas Anexo 1). Sin embargo, los estados del norte del país son los que presentan mayor recurrencia en dichos fenómenos, principalmente sequías y heladas. El sureste es la región donde es recurrente la presencia de lluvias fuertes e incluso inundaciones y los estados del centro y occidente del país han observado menor recurrencia de dos o más eventos extremos aunque su severidad ha sido importante.

En lo que se refiere al grupo de problemas ambientales (Cuadro 2-5), el sub índice refleja la información de cuatro indicadores. En este caso, únicamente la superficie sin vegetación es la que permite analizar mejor la tendencia y participación en exposición. En el grado de exposición muy bajo se tiene en promedio media hectárea sin cubierta vegetal, en el valor medio se observan 1.2 mientras que en el grado de muy alta exposición se tienen prácticamente 18 hectáreas. Los indicadores que reflejan algún tipo de pérdida en la producción agrícola, ya sea por cuestiones climáticas o por falta de fertilidad del suelo, señalan una tendencia a aumentar conforme aumenta el grado de exposición. Sin embargo, es en la clase de exposición muy alta donde la tendencia no muestra un comportamiento mayor al esperado.

Cuadro 2-5. Participación promedio de cada indicador de problemática ambiental, según grado de exposición base.

Grado de exposición	Total de 5 problemas ambientales	Superficie sin vegetación	Perdidas reportadas por clima	Perdidas reportadas por falta de fertilidad
Muy Baja	1.661	0.546	41.411	10.036
Baja	2.531	0.923	42.266	14.053
Media	2.989	1.248	53.074	20.364
Alta	2.795	1.527	53.937	25.405
Muy Alta	2.714	17.991	44.167	15.765

Dentro del indicador de presencia de problemas ambientales se consideró la presencia de tala ilegal, incendios, plagas y enfermedades, pérdida de biodiversidad y contaminación de agua. De estos, en la clase de exposición muy baja se tiene en promedio 1.6 problemas, en la clase media 2.9 y en la clase muy alta 2.7. Si un municipio presenta dos o más problemas ambientales, entonces está más expuesto. El rango de valores del sub índice de problemática ambiental (0-100) también fue dividido en cinco clases de acuerdo con una distribución geométrica de su histograma o frecuencias: muy bajo (0 – 20), bajo (21 – 40), medio (41 – 60), alto (61 – 80) y muy alto (80 – 100). Resultado de lo anterior se encontró que 1240 municipios (50.5 por ciento) presentan un valor de medio a muy alto en el índice. En específico, son 8 municipios con valor muy alto, 237 con valor alto y 996 observan un valor medio. La presencia de los problemas ambientales estudiados es mayor en la región sur y en el sureste del país, resaltando los estados de Oaxaca, Chiapas, Tabasco y la Península de Yucatán. Cabe señalar que también en los estados norteros de Sonora y Chihuahua se observa severidad en los problemas ambientales (Anexo 1).

Respecto al tercer grupo, el sub índice climático, se consideró la temperatura y precipitación media observada en los municipios de México en el periodo 1950 - 2000. Aquí, los municipios con mayor temperatura media y mayor precipitación anual fueron considerados de mayor severidad climática, aunque lo anterior no necesariamente se refiere a impactos negativos. También, cabe recordar que la información se refiere a los meses comprendidos entre junio y septiembre, donde ocurren la mayor parte de los procesos agrícolas de temporal del país. Este sub índice fue el que mostró mayor correlación con la exposición base (0.83) de acuerdo con las temperaturas y precipitaciones analizadas (Cuadro 2-6). Se obtuvo que, conforme aumenta la temperatura media así también aumentará el grado de exposición. Se tiene una diferencia de aproximadamente 8°C desde el nivel muy bajo hasta el muy alto de exposición. En cuanto a la lluvia y en el mismo rango de valores la diferencia es de casi 200 milímetros en el periodo estudiado. De lo anterior se desprende que los municipios que observan una temperatura media mayor a los 25°C pueden estar expuestos a sufrir alguna alteración en su proceso productivo. También, para aquellos que observen una precipitación menor a 200 milímetros durante los meses de sus actividades agrícolas.

Cuadro 2-6. Participación promedio de cada indicador climático, según grado de exposición.

Grado de exposición	Temperatura media	Precipitación media	Temperatura		Precipitación	
			HADGEM1	HADGEM1	MPI ECHAM5	MPI ECHAM5
Muy Baja	18.7	303.6	20.2	290.6	19.9	281.3
Baja	23.1	367.7	24.6	361.0	24.3	334.4
Media	25.5	236.9	26.9	235.9	26.6	201.6
Alta	26.0	148.0	27.4	144.1	27.2	129.1
Muy Alta	26.0	112.4	27.6	106.2	27.3	100.7

El valor del índice climático base (0-100) también fue clasificado en cinco rangos: muy bajo (0 – 20), bajo (21 – 40), medio (41 – 60), alto (61 – 80) y muy alto (81 – 100). El total de municipios con índice climático de medio a muy alto es de 1426, lo que equivale a 58 por ciento del total nacional (Anexo 1). De esta cantidad, 84 municipios se encuentran en la clase muy alto y forman parte de los estados de Oaxaca, Chiapas y Veracruz. En la categoría alto se encuentran 603 municipios abarcando los estados de la Península de Yucatán, el Golfo de México y la vertiente del Pacífico. La región centro y mesa del norte son las que presentan los valores más bajos en el índice climático.

Integrando los tres sub índices antes señalados (fenómenos extremos, problemática ambiental y climático) bajo la fórmula 3 se obtuvo el índice de exposición para los municipios de México. El comportamiento y participación de los sub índices se muestran en la Figura 2-2. Como se ha señalado en los párrafos anteriores, es el sub índice climático el que más ayuda a explicar la exposición y el sub índice de fenómenos extremos el que menos aporta.

El valor del índice de exposición, al igual que los anteriores, tiene un recorrido que va de 0 a 100, clasificado en cinco rangos: muy bajo (0 – 20), bajo (21 – 40), medio (41 – 60), alto (61 – 80) y muy alto (81 – 100). En los rangos muy bajo y bajo se encuentran 762 y 1275 municipios, respectivamente. De medio a muy alto se definieron 418 municipios, 17 por ciento del total nacional (Figura 2-3). En los rangos alto y muy alto se encuentran 44 y siete municipios, respectivamente. Es decir, el 2 por ciento de los municipios del país observan alto y muy alto valor en su exposición climática. Los estados cuyos municipios presentan los valores más altos son Oaxaca, Chiapas, Chihuahua, Sonora y el Distrito Federal. Sin embargo, también es de resaltar que los estados que muestran valor alto en el índice de exposición son aquellos que tienen costas, sobresaliendo la Península de Yucatán, la vertiente del Golfo de México y del Pacífico.

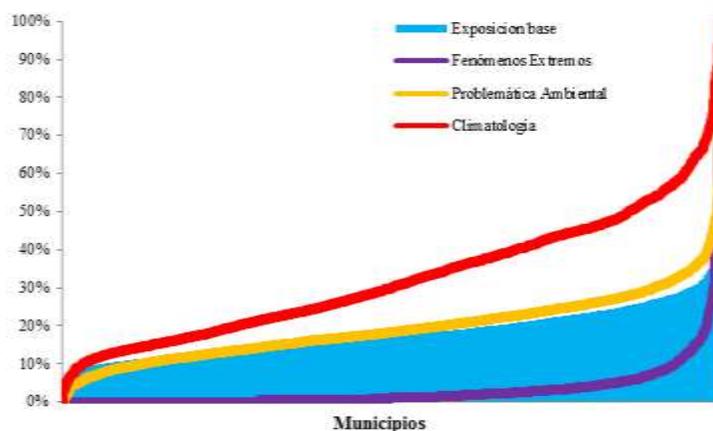


Figura 2-2. Comportamiento del Índice de exposición (base) y subíndices considerados.

Tomando en consideración los quince municipios con menor exposición se observa que la población total para el año 2005 asciende a poco más de 622 mil habitantes. Oaxaca y el Estado de México son los estados que concentran la mayor población en la categoría de baja y muy baja exposición. Sin embargo, en los quince municipios con valor más alto en exposición la población era de 4,811,296 habitantes en el mismo año, más de siete veces que los primeros. En este caso, el Distrito Federal y Chihuahua sobresalen por ser aquellos que más población presentan (Cuadro 2-7).

Cuadro 2-7. Exposición en los 15 municipios menos y más expuestos, así como población al año 2005.

Valor de Exposición	Municipios Menos expuestos	Población al 2005	Valor de Exposición	Municipios Mas expuestos	Población al 2005
0.025	Iztacalco, DF	395,025	0.756	Villa Comaltitlán, Chis.	26,414
0.026	San Juan Achiutla, Oax.	401	0.756	Cacahoatán, Chis.	40,975
0.029	Tlanalapa, Hgo.	8,662	0.759	Huixtla, Chis.	47,953
0.029	Jilotzingo, Méx.	13,825	0.764	Santa María Jacatepec, Oax.	8,936
0.031	Mexicaltzingo, Méx.	10,161	0.780	Coatzacoalcos, Ver.	280,363
0.031	Mineral de la Reforma, Hgo.	68,704	0.785	Tuzantán, Chis.	24,417
0.036	Chignautla, Pue.	26,087	0.791	Acapulco de Juárez, Gro.	717,766
0.040	Santiago Tulantepec de Lugo, Hgo.	29,246	0.795	San Lucas Ojitlán, Oax.	19,871
0.041	San Juan Bautista Coixtlahuaca, Oax.	2,863	0.804	Iztapalapa, DF.	1,820,888
0.044	Santa Ana Yareni, Oax.	940	0.816	San Luis Río Colorado, Son.	157,076
0.046	San Miguel Tequixtepec, Oax.	964	0.819	Escuintla, Chis.	27,364
0.046	Tequixquiác, Méx.	31,080	0.819	San Felipe Jalapa de Díaz, Oax	25,395
0.046	Isidro Fabela, Méx.	8,788	0.823	San José Tenango, Oax.	18,120
0.046	Santa María Ixcatlán, Oax.	573	0.851	Juárez, Chih.	1,313,338
0.050	Tezoyuca, Méx.	25,372	1.000	Tapachula, Chis.	282,420

Respecto a la población total (censo del año 2005) en cada rango de exposición, con muy alta exposición se encuentran 3,644,601 de habitantes, con alta exposición 6,719,103 y media 21,962,429 personas. En las últimas dos clases, baja y muy baja exposición equivalen a 49,628,638 y 20,037,227, respectivamente. De acuerdo con estos resultados, es posible señalar que más de diez millones de personas (10.2%) en el país han observado alta y muy alta exposición en los últimos años, principalmente por la ocurrencia de fenómenos extremos, problemas ambientales y clima severo. Si se agrega la categoría media (media, alta y muy alta), entonces la población expuesta asciende a poco más de 32 millones de personas, que equivale al 31.7 por ciento de la población nacional al año 2005.

3.2 Exposición futura

Como se señaló en el apartado metodológico, la exposición futura fue estimada aplicando dos modelos de cambio climático, HADGEM1 y MPI ECHAM5, bajo el escenario A2 para el año 2030. También, en su construcción se consideró únicamente la modificación del sub índice climático, manteniendo el sub índice de fenómenos extremos y el de problemática ambiental sin cambio.

Resultado de lo anterior, para el modelo HADGEM1 se mantuvieron prácticamente similares las correlaciones con la ocurrencia de fenómenos extremos (0.36) y problemática ambiental (0.44). En el caso de la dimensión climática el valor de correlación se mantuvo como el más alto (0.82). Para el modelo MPI ECHAM5, mejora muy poco la correlación con fenómenos extremos (0.37) y se mantiene igual ante la problemática ambiental (0.44). Su correlación con el factor climático es alta (0.80) pero bajó muy poco comparado con el modelo HADGEM1 y el escenario base de exposición.

Al comparar los puntajes obtenidos en la exposición base con los dos futuros se obtuvo que la tendencia se mantiene en la mayoría de los municipios. Sin embargo, existen observaciones de que algunos de ellos disminuirán levemente su exposición mientras que algunos otros la aumentarán (Figura 2-4). De lo anterior se desprende que aquellos municipios con baja exposición en el escenario base podrán mantener la misma tendencia en el futuro. En el caso de aquellos que han mostrado alta exposición es muy probable que la mantengan en el futuro. Salvo algunas excepciones que se comentarán más adelante.

3.2.1 Modelo MPI ECHAM5

Los cambios previstos en el índice futuro de exposición provienen mayormente de los cambios proyectados por el modelo en temperatura y precipitación. En lo que se refiere a temperatura media en los meses estimados (mayo, junio, julio y agosto), se estima que aumentará de 3 a 8 por ciento, mientras que la lluvia se verá afectada de un 4 y hasta un 12 por ciento, en disminución para el mismo periodo de meses.

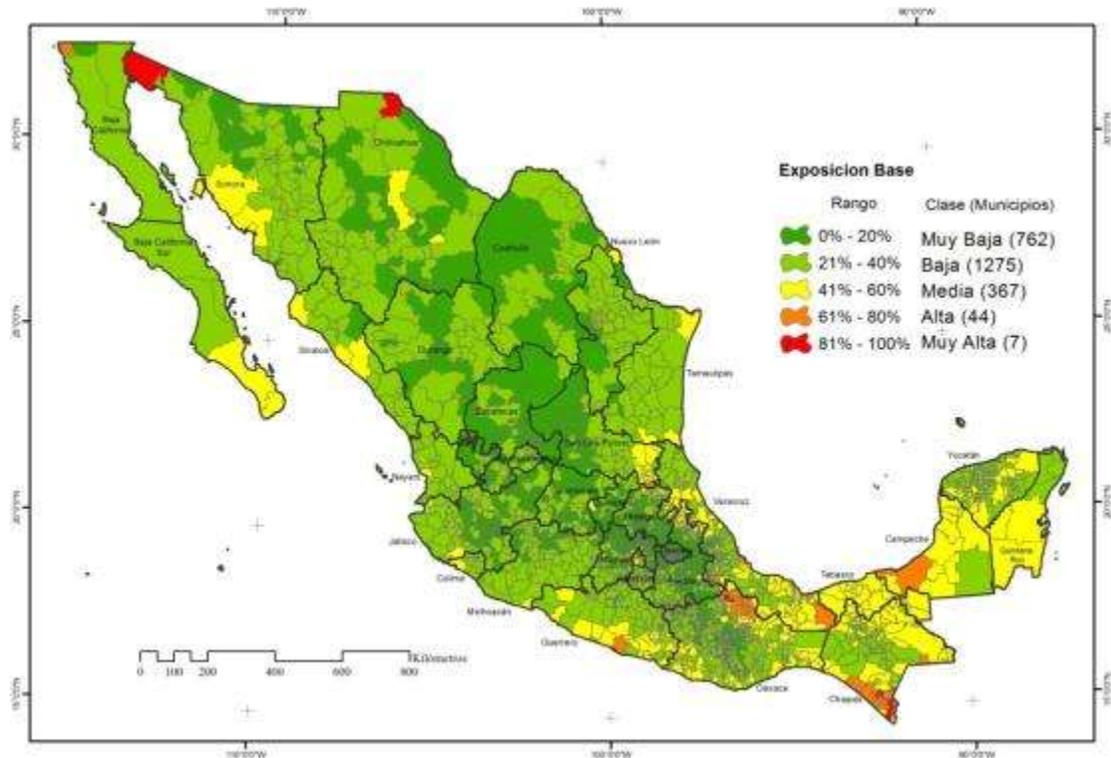


Figura 2-3. Índice de exposición (base)

El valor del índice de exposición de acuerdo a este modelo se presenta en un recorrido que va de 0 a 100 y clasificado en cinco rangos: muy bajo (0 – 20), bajo (21 – 40), medio (41 – 60), alto (61 – 80) y muy alto (81 – 100). En los rangos muy bajo y bajo se encuentran 769 y 1342 municipios, respectivamente. De medio a muy alto se definieron 344 municipios. Lo anterior supone una disminución de 3 por ciento de acuerdo con el escenario base, al quedar el modelo MPI ECHAM5 en 14 por ciento del total nacional (Figura 2-5). En los rangos alto y muy alto se encuentran 32 y siete municipios, respectivamente. Es decir, se mantiene el 2 por ciento de los municipios del país con alta y muy alta exposición. Los estados cuyos municipios presentan los valores más altos son los mismos que en el escenario base: Oaxaca, Chiapas, Chihuahua, Sonora y el Distrito Federal. Sin embargo, también es de resaltar que los estados que muestran valor alto en el índice de exposición son aquellos que tienen costas, sobresaliendo la vertiente del Golfo de México y del Pacífico.

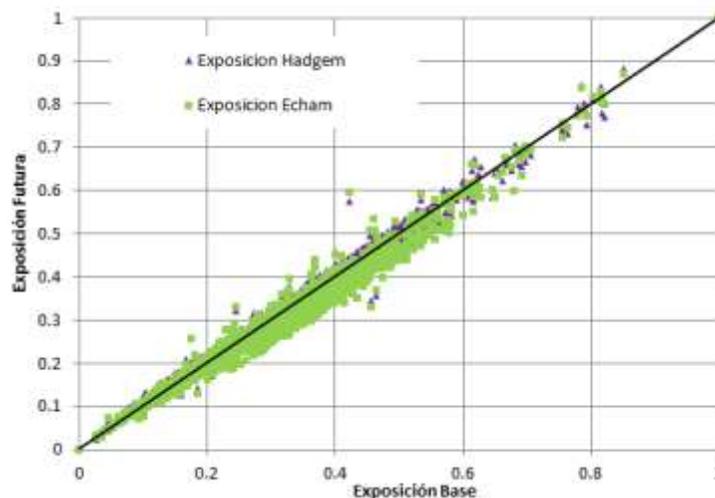


Figura 2-4. Índice de exposición base vs futuros

Respecto a la población total (proyección al año 2030) por rango de exposición futura se encontró que en la clase de muy alta exposición se encontrarán 4,146,422 habitantes, aumentando el número de personas pero disminuyendo 0.1 por ciento respecto al escenario base (ya que la población ha aumentado para el año 2030). Con alta exposición se hallarán 6,304,002 y media exposición 24,384,549 personas, que significan una disminución de 1.3 y 1.20 por ciento, respectivamente. En las últimas dos clases, baja y muy baja exposición equivalen a 60,671,316 y 24,260,558, respectivamente. Es decir, aumenta 1 por ciento en la primera y disminuye 0.7 por ciento la segunda, respecto del escenario base. Para este escenario y de acuerdo con estos resultados, es posible señalar que más de diez millones de personas (8.8%) en el país vivirán con alta y muy alta exposición. Si se agrega la categoría media (media, alta y muy alta), entonces la población expuesta asciende a poco más de 34 millones de personas, que equivale al 29 por ciento de la población nacional proyectada al año 2030.

La cantidad de municipios que se mantiene sin cambio de acuerdo con su clase de exposición es de 2282 (92 por ciento del total nacional), al comparar el escenario base con el modelo MPI ECHAM5. Aquellos municipios que aumentan su exposición son 40 (1.6%) y los que disminuyen de acuerdo al modelo son 133 (5.4%). Aquellos municipios que disminuyen su exposición significan poco más de cinco millones y medio de personas. Mientras que los que señalan un aumento de exposición equivalen a poco más de 3.3 millones de habitantes (Cuadro 2-8).

Cuadro 2-8. Población total al 2030 según grado de exposición base y futura (MPI ECHAM5)

Grado de Exposición	Exposición MPI ECHAM5*					Total
	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta	
Exposición Base	Muy Baja	23,800,754 (733)	1,105,276 (29)			24,906,030 (762)
	Baja	459,804 (36)	55,858,163 (1229)	2,247,631 (10)		58,565,598 (1275)
	Media		3,707,877 (84)	20,780,836 (283)		24,488,713 (367)
	Alta			1,356,082 (12)	6,290,544 (31)	24,876 (1) 7,671,502 (44)
	Muy Alta				13,458 (1)	4,121,546 (6) 4,135,004 (7)
	Total	24,260,558 (769)	60,671,316 (1342)	24,384,549 (305)	6,304,002 (32)	4,146,422 (7)

* Entre paréntesis se muestra el total de municipios

3.2.2 Modelo HADGEM1

Los cambios previstos en el índice futuro de exposición provienen mayormente de los cambios proyectados por el modelo en temperatura y precipitación. En lo que se refiere a temperatura media en los meses estimados (mayo, junio, julio y agosto), se estima que aumentará de 4 a 10 por ciento, mientras que la lluvia se verá afectada de un 1 y hasta un 18 por ciento, en disminución para el mismo periodo de meses.

El valor del índice de exposición de acuerdo a este modelo también va de 0 a 100 y es clasificado en cinco rangos: muy bajo (0 – 20), bajo (21 – 40), medio (41 – 60), alto (61 – 80) y muy alto (81 – 100). En los rangos muy bajo y bajo se encuentran 754 y 1285 municipios, respectivamente. De medio a muy alto se definieron 416 municipios. Lo anterior supone una disminución de 0.1 por ciento de acuerdo con el escenario base, al quedar el modelo HADGEM1 en 16.9 por ciento del total nacional (Figura 2-6). En los rangos alto y muy alto se encuentran 37 y siete municipios, respectivamente. Es decir, se mantiene el 2 por ciento de los municipios del país con alta y muy alta exposición. Los estados cuyos municipios presentan los valores más altos son los mismos que en el escenario base: Guerrero, Chiapas, Chihuahua, Sonora y el Distrito Federal, a excepción de Oaxaca que sale de esta categoría. Sin embargo, también es de resaltar que los estados que muestran valor alto en el índice de exposición son Oaxaca, Veracruz, Campeche, Nuevo León y Puebla.

Respecto a la población total (proyección al año 2030) por rango de exposición futura se encontró que en la clase de muy alta exposición se encontrarán 4,657,888 habitantes, aumentando en 0.3 por ciento respecto al escenario base. Con alta exposición se hallarán 7,801,392 y media exposición 25,672,117 personas, que significan un aumento de 0.1 por ciento en ambos casos. En las últimas dos clases, baja y muy baja exposición equivalen a 56,624,330 y 25,011,120, respectivamente. Es decir, disminuye 1.4 por ciento en la primera y aumenta 1.3 por ciento la segunda, respecto del escenario base. Para este escenario y de acuerdo

con estos resultados, es posible señalar que más de doce millones de personas (10.4%) en el país vivirán con alta y muy alta exposición. Si se agrega la categoría media (media, alta y muy alta), entonces la población expuesta asciende a poco más de 38 millones de personas, que equivale al 31.8 por ciento de la población nacional proyectada al año 2030.

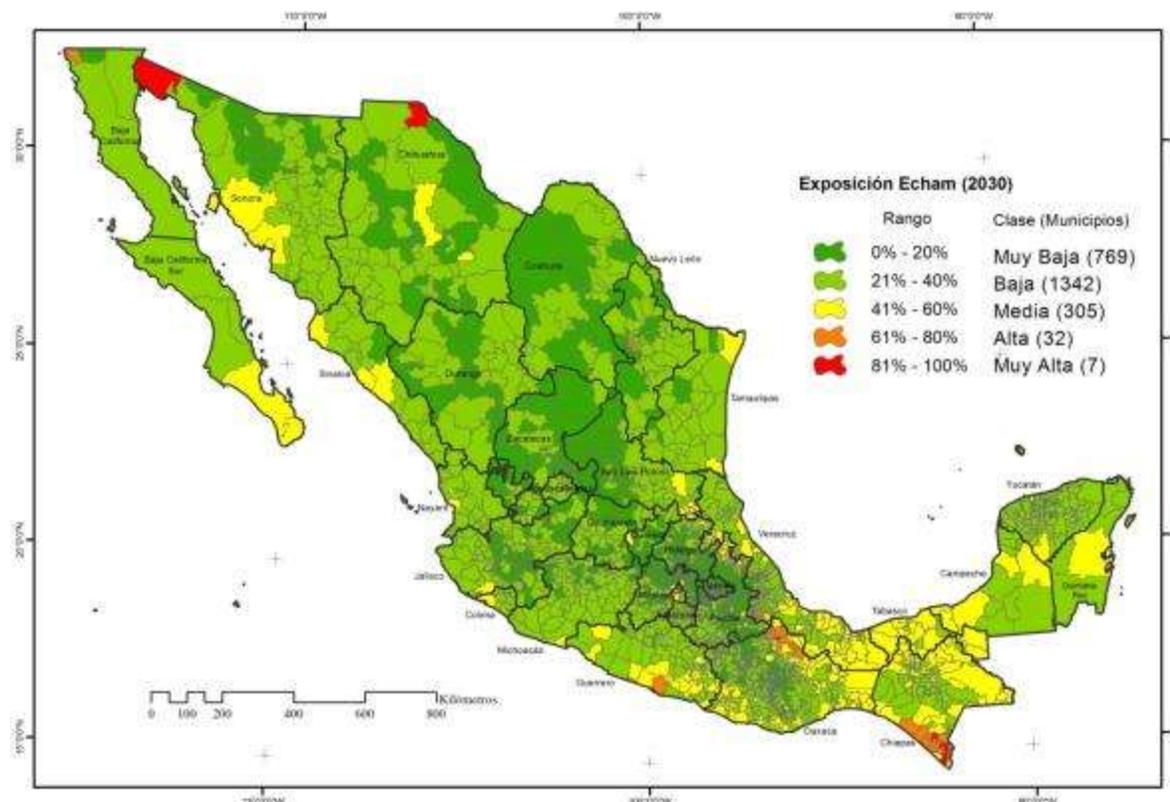


Figura 2-5. Índice de exposición futura (MPI ECHAM5)

La cantidad de municipios que se mantiene sin cambio de acuerdo con su clase de exposición es de 2330 (94.9 por ciento del total nacional), al comparar el escenario base con el modelo HADGEM1. Aquellos municipios que aumentan su exposición son 62 (2.5%) y los que disminuyen de acuerdo al modelo son 63 (2.5%). Aquellos municipios que disminuyen su exposición significan poco más de dos millones y medio de personas. Mientras que los que señalan un aumento de exposición equivalen a poco más de 5.5 millones de habitantes (Cuadro 2-9).

Cuadro 2-9. Población total al 2030 según grado de exposición base y futura (HADGEM1)

Grado de Exposición	Exposición HADGEM1*					Total	
	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta		
Exposición Base	Muy Baja	24,383,465 (728)	522,565 (34)			24,906,030 (762)	
	Baja	627,655 (26)	54,471,375 (1224)	3,466,568 (25)		58,565,598 (1275)	
	Media		1,630,390 (27)	21,867,365 (339)	990,958 (1)	24,488,713 (367)	
	Alta			338,184 (8)	6,756,905 (34)	576,413 (2)	7,671,502 (44)
	Muy Alta				53,529 (2)	4,081,475 (5)	4,135,004 (7)
Total	25,011,120 (754)	56,624,330 (1285)	25,672,117 (372)	7,801,392 (37)	4,657,888 (7)	119,766,847 (2455)	

* Entre paréntesis se muestra el total de municipios

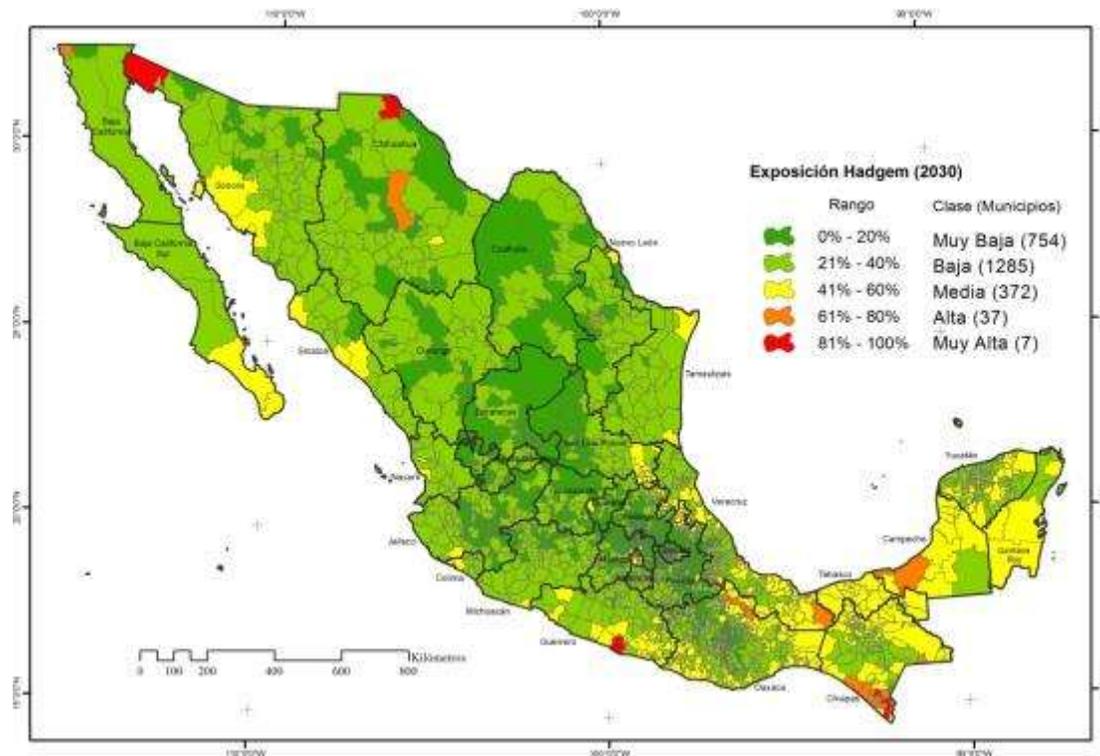


Figura 2-6. Índice de exposición futura (HADGEM1).

3.3 Grados de Exposición en México

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

- *Muy alta exposición.* En estos municipios la temperatura promedio en el periodo mayo – agosto es mayor de 23.5°C mientras que la precipitación es menor a los 111 milímetros en el mismo periodo. En el periodo comprendido entre 1980 y el año 2000 se observaron más de 10 inundaciones, más de siete heladas o granizadas, más de dos lluvias fuertes e incluso también más de tres eventos de deslizamientos de tierra. También son municipios que tienen un 18 por ciento o más de su superficie sin algún tipo de vegetación y más del 67 por ciento de sus unidades de producción han reportado pérdidas por cuestiones climáticas y más del 30 por ciento reporta pérdidas por falta de fertilidad en sus suelos. La superficie municipal que se dedica al sector primario es mayor al 70 por ciento. Los escenarios futuros de cambio climático señalan un aumento de más de 2°C en el periodo estudiado y una reducción mayor a los 50 milímetros.
- *Alta exposición.* En estos municipios la temperatura promedio en el periodo mayo – agosto es de 23°C a 23.5°C mientras que la precipitación va de 111 a los 118 milímetros en el mismo periodo. En el periodo comprendido entre 1980 y el año 2000 se observaron más de seis inundaciones, más de dos heladas o granizadas, más de dos lluvias fuertes e incluso también más de un eventos de deslizamientos de tierra. También son municipios que tienen un 15 por ciento o más de su superficie sin algún tipo de vegetación y más del 56 por ciento de sus unidades de producción han reportado pérdidas por cuestiones climáticas y más del 25 por ciento reporta pérdidas por falta de fertilidad en sus suelos. La superficie municipal que se dedica al sector primario es mayor al 65 por ciento. Los escenarios futuros de cambio climático señalan un aumento de entre 1.5 y 2°C en el periodo estudiado y una reducción de entre 20 y 50 milímetros.
- *Media exposición.* En estos municipios la temperatura promedio en el periodo mayo – agosto es de 22.5°C a 23°C mientras que la precipitación va de 118 a los 143 milímetros en el mismo periodo. En el periodo comprendido entre 1980 y el año 2000 se observaron más de dos inundaciones, más de una helada o granizada, más de una lluvias fuertes y un evento de deslizamientos de tierra. También son municipios

que tienen un 10 por ciento o más de su superficie sin algún tipo de vegetación y más del 45 por ciento de sus unidades de producción han reportado pérdidas por cuestiones climáticas y más del 14 por ciento reporta pérdidas por falta de fertilidad en sus suelos. La superficie municipal que se dedica al sector primario es del 50 por ciento. Los escenarios futuros de cambio climático señalan un aumento de entre 1.3 y 1.5°C en el periodo estudiado y una reducción de entre 15 y 20 milímetros.

– *Baja exposición.* En estos municipios la temperatura promedio en el periodo mayo – agosto es de 21°C a 22.5°C mientras que la precipitación va de 143 a los 400 milímetros en el mismo periodo. En el periodo comprendido entre 1980 y el año 2000 se observaron una inundación, una helada o granizada, una lluvia fuerte y uno o menos de un evento de deslizamientos de tierra. También son municipios que tienen menos del 10 por ciento de su superficie sin algún tipo de vegetación, el 35 por ciento de sus unidades de producción han reportado pérdidas por cuestiones climáticas y más del 8 por ciento reporta pérdidas por falta de fertilidad en sus suelos. La superficie municipal que se dedica al sector primario es del 40 por ciento. Los escenarios futuros de cambio climático señalan un aumento de entre 1.3 y 1.5°C en el periodo estudiado y una reducción de entre 15 y 20 milímetros.

– *Muy baja exposición.* En estos municipios la temperatura promedio en el periodo mayo – agosto es menor a 17.7°C mientras que la precipitación puede ser mayor a los 400 milímetros en el mismo periodo. En el periodo comprendido entre 1980 y el año 2000 se observaron una inundación, una helada o granizada, una lluvia fuerte y uno o menos eventos de deslizamientos de tierra. También son municipios que tienen menos del 5 por ciento de su superficie sin algún tipo de vegetación, menos del 30 por ciento de sus unidades de producción han reportado pérdidas por cuestiones climáticas y menos del 8 por ciento reporta pérdidas por falta de fertilidad en sus suelos. La superficie municipal que se dedica al sector primario es menor del 40 por ciento. Los escenarios futuros de cambio climático señalan un aumento igual o menor de 1.3°C en el periodo estudiado y una reducción menor de 15 milímetros.

4. Conclusiones

Como se ha señalado, en la presente investigación se conceptualizó la exposición en el contexto de tres dimensiones: eventos extremos, problemas ambientales y clima. Entonces, la exposición fue entendida como la combinación de lo sucedido en años anteriores (eventos extremos), el grado de conservación de los recursos naturales (problemas ambientales) así como el clima y sus escenarios futuros (cambio climático).

Sobre las tres dimensiones se concluye que:

En fenómenos extremos, el 53 por ciento de los municipios del país (1291) observan alto y muy alto valor en el índice de estos eventos. Los estados del norte del país son los que presentan mayor recurrencia en sequías y heladas; el sureste es la región donde es recurrente la presencia de lluvias fuertes e inundaciones y los estados del centro y occidente del país han observado heladas y granizadas.

Sobre problemática ambiental, el 50 por ciento de los municipios del país (1240) presenta un valor de medio a muy alto en el índice de problemas ambientales. El indicador de superficie sin vegetación es el que explicó mejor la tendencia y participación en el índice, seguida de los problemas ambientales y de las pérdidas reportadas, tanto por clima como por fertilidad. La presencia más significativa es en la región sur y en el sureste del país.

En la dimensión climática, el total de municipios con índice climático de medio a muy alto es de 1426, lo que equivale a 58 por ciento del total nacional. Los municipios que observan temperatura media mayor a los 25°C y precipitación menor a 200 milímetros durante los meses de actividad agrícola pueden estar expuestos a sufrir alguna alteración en su proceso productivo.

A partir de estas dimensiones, se construyeron tres índices de exposición: uno para el escenario base y dos que consideraron escenarios de cambio climático.

Sobre el índice de exposición base se concluye que:

En la integración del índice de exposición base se obtuvieron bajas correlaciones con las dimensiones de fenómenos extremos y problemática ambiental, no así con la dimensión climática, base o con cambio, que fue la más alta.

Actualmente y en las clases de media, alta y muy alta exposición se encuentran 418 municipios, que significan el 17 por ciento del total nacional.

El 2 por ciento de los municipios (50) del país son de alta y muy alta exposición climática. Los estados cuyos municipios presentan estos valores son Oaxaca, Chiapas, Chihuahua, Sonora y el Distrito Federal.

Más de diez millones de personas (poco más de 10 por ciento nacional) en el país han observado alta y muy alta exposición en los últimos años, principalmente por la ocurrencia de fenómenos extremos, problemas ambientales y clima severo.

Poco más de diez millones de personas en el 2 por ciento de los municipios del país se encuentra en alta y muy alta exposición.

En los quince municipios con más alta exposición la población en el año 2005 era de 4,811,296 habitantes, según el conteo de población de ese año.

Por otra parte, sobre la exposición futura se concluye que:

Los cambios previstos en los índices futuros de exposición provienen de los cambios proyectados por los modelos aplicados sobre temperatura y precipitación.

Para el escenario del modelo MPI ECHAM5, continuarán más de diez millones de personas en el país viviendo con alta y muy alta exposición.

Si se agrega la categoría media (media, alta y muy alta exposición) en el mismo escenario, entonces la población expuesta asciende a poco más de 34 millones de personas, que equivale al 29 por ciento de la población nacional proyectada al año 2030.

El 93 por ciento de los municipios del país (2282) se mantiene sin cambio de acuerdo con su clase de exposición, al comparar el escenario base con el modelo MPI ECHAM5. Los municipios que aumentan su exposición son 40 (1.6%) y los que disminuyen son 133 municipios (5.4%).

Para el escenario del modelo HADGEM1, serán más de doce millones de personas en el país las que vivirán con alta y muy alta exposición.

Si se agrega la categoría media (media, alta y muy alta exposición) en el escenario HADGEM1, entonces la población expuesta ascenderá a poco más de 38 millones de personas, que equivale al 32 por ciento de la población nacional proyectada al año 2030.

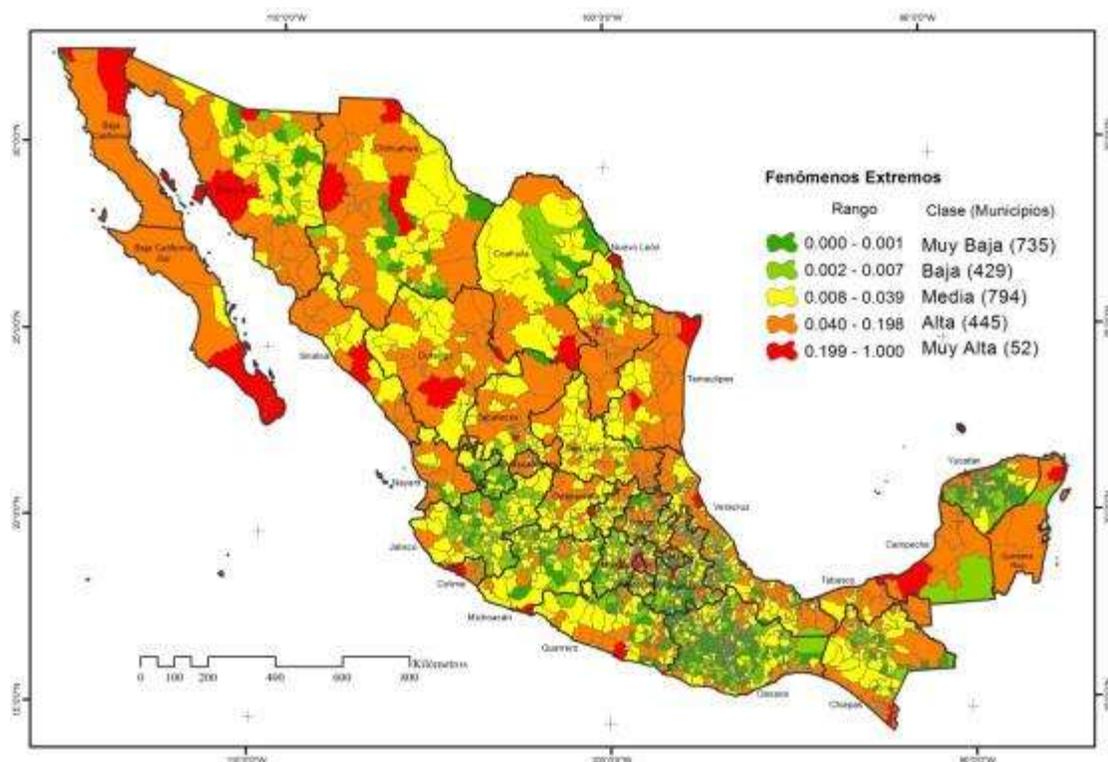
El 95 por ciento de los municipios del país (2330) se mantiene sin cambio de acuerdo con su clase de exposición, al comparar el escenario base con el modelo HADGEM1. Los municipios que aumentan su exposición son 62 (2.5%) y los que disminuyen son 63 (2.5%).

5. Literatura citada

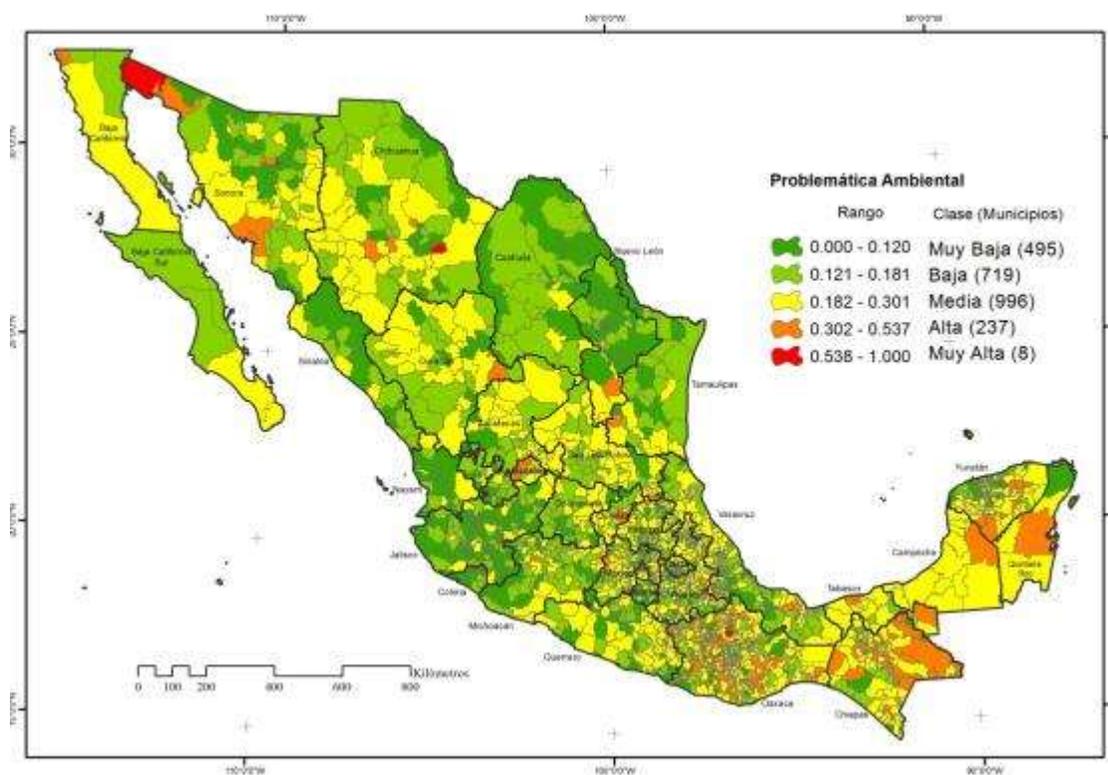
- Aymone, G.G. y Ringler, C. (2009) Mapping South African farming sector vulnerability to climate change and variability. in: (IFPRI), I.F.P.R.I. (Ed.), Environmental and production technology division. International Food Policy Research Institute, Washington DC, USA. p. 31.
- Brenkert, A.L. y Malone, E.L. (2005) Modeling vulnerability and resilience to climate change: a case study of India and Indian States. *Climatic Change* 72, 57-102.
- Brooks, N., Adger, W.N. y Kelly, P.M. (2005) The determinant of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environmental Change* 15, 151-163.
- Burton, I. (1997) Vulnerability and adaptive response in the context of climate and climate change. *Climatic Change* 36, 185-196.
- CENAPRED. (2010) Base de datos de declaratorias de riesgos ambientales. Centro Nacional de Prevención de Desastres, México D.F.
- Cruz, D. (2011) Reporte técnico entregado a Banco Mundial sobre amenazas a sequía, vulnerabilidad agrícola e índice de riesgo en agricultura. Banco Mundial, México D.F.
- Cuttler, S.L. (1996) Vulnerability to environmental hazards. *Progress in Human Geography*. 20, 529-539.
- Cuttler, S.L., Mitchell, J.T. y Scott, M.S. (2000) Revealing the vulnerability of people and places: a case study of Georgetown County. *Annals of the Association of American Geographers* 90, 713-737.
- Downing, T.E., Butterfield, R., Cohen, S., Huq, S., Moss, R., Rahman, A., Sokoma, Y. y Stephen, L. (2001) Vulnerability indices: climate change impacts and adaptations. United Nations, New York, USA.
- Eakin, H. y Tapia, B. (2008) Insights into the composition of household vulnerability from multicriteria decision analysis. *Global Environmental Change* 18, 112-127.
- Easter, C. (1999) Small states development: A commonwealth vulnerability index. *The round table* 351, 403-422.
- Fernandez, E.A., Zavala, H.J. y Romero, C.R. (2009) Atlas Climático Digital de México. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM., México D.F.
- Füssel, H.M. y Klein, R.J.T. (2006) Climate change vulnerability assessments: An evolution of conceptual thinking. *Climatic Change* 75, 301-329.
- Hebb, A. y Mortsch, L. (2007) Floods: mapping vulnerability in the upper Thames watershed under changing climate, Assessment of water resources risk and vulnerability to changing climatic conditions. Canadian Foundation for Climate and Atmospheric Sciences, Canadá.
- Heltberg, R., Siegel, P. y Jorgensen, S.L. (2009) Addressing human vulnerability to climate change: Toward a 'no regrets' approach. *Global Environmental Change* 19, 89-99.
- INEGI. (2009) Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI, Aguascalientes, México.
- IPCC. (2007) Summary for Policymakers, in: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., Linden, P.J., Hanson, C.E. (Eds.), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Kaly, U., Briguglio, L., McLeod, H., Schmsall, S., Pratt, C. y Pal, R. (1999) Environmental vulnerability index (EVI) to summarize national environmental vulnerability profiles, in: SOPAC (Ed.), Technical Report Suva, Fiji.
- Kaly, U. y Pratt, C. (2000) Environmental vulnerability index: Development and provisional indices and profiles for Fiji, Samoa, Tuvalu and Vanuatu, in: SOPAC (Ed.), Technical report 306, p. 89.
- Lonergan, S. (1998) The role of environmental degradation in population displacement: Global environmental change and human security project., in: Victoria, U.o. (Ed.), Research report 1. University of Victoria, British Columbia, Canadá.
- Luers, A.L., Lobell, D.B., Skar, L.S., Addams, C.L. y Matson, P.A. (2003) A method for quantifying vulnerability, applied to the agricultural system of the Yaqui Valley, México. *Global Environmental Change* 13, 255-267.
- Mansury, G. y Healy, A. (2002) Vulnerability prediction in rural Pakistan., IFPRI World Bank Conference on Risk and Vulnerability: Estimation and Policy Implications., Washington D.C.
- McCarthy, J., Canziani, O., Leary, N., Dokken, D. y White, K. (2001) *Climate Change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability.*, Cambridge, UK.

- O'Brien, K.L., Leichenko, R.M., Kelkar, U., Venema, H.M., Aandahl, G., Tompkins, H., Javed, A., Bhadwal, S., Barg, S., Nygaard, L. y West, J. (2004) Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization un India. *Global Environmental Change* 14, 303-313.
- Parry, M., Canziani, O., Palutikof, J.P. y Coautores. (2007) Resumen técnico. Cambio Climático 2007: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Aportes del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. Cambridge, U.K.
- SEDESOL. (2010) Observatorio de Información Municipal. SEDESOL, Secretaría de Desarrollo Social, México, D.F.
- Smit, B. (2006) Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change* 16, 282-292.
- TERI. (2003) Coping with global change: vulnerability and adaptation in Indian agriculture. *The Energy Research Institute (TERI)*.
- UNDP. (1990) Human Development Report. United Nations Development Programme, New York, USA.

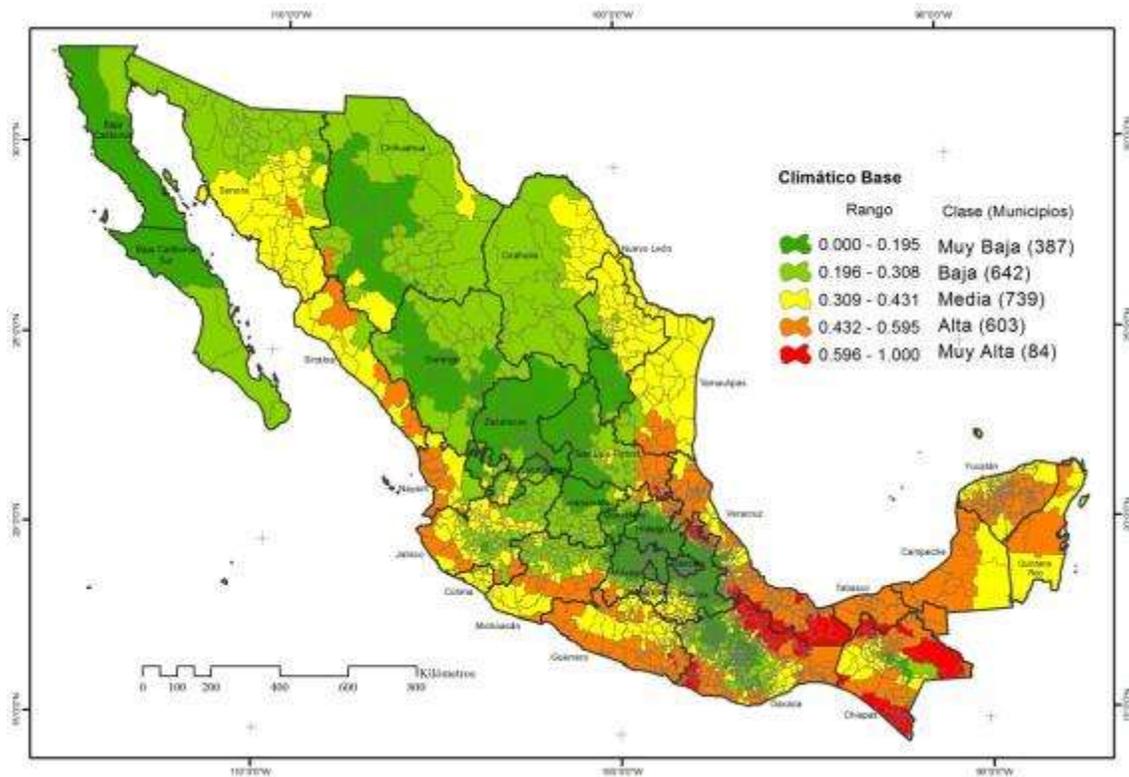
Anexos
Anexo 1. Mapas de sub índices de Exposición.



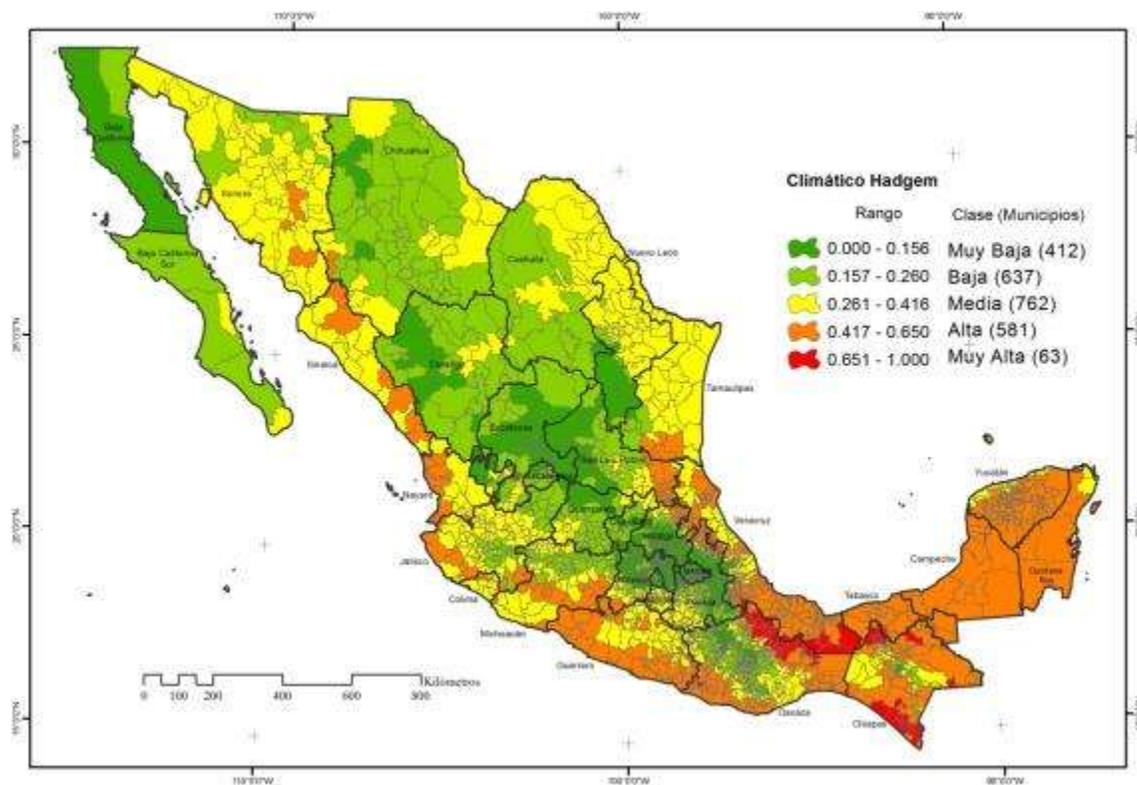
Mapa de severidad de fenómenos extremos (base).



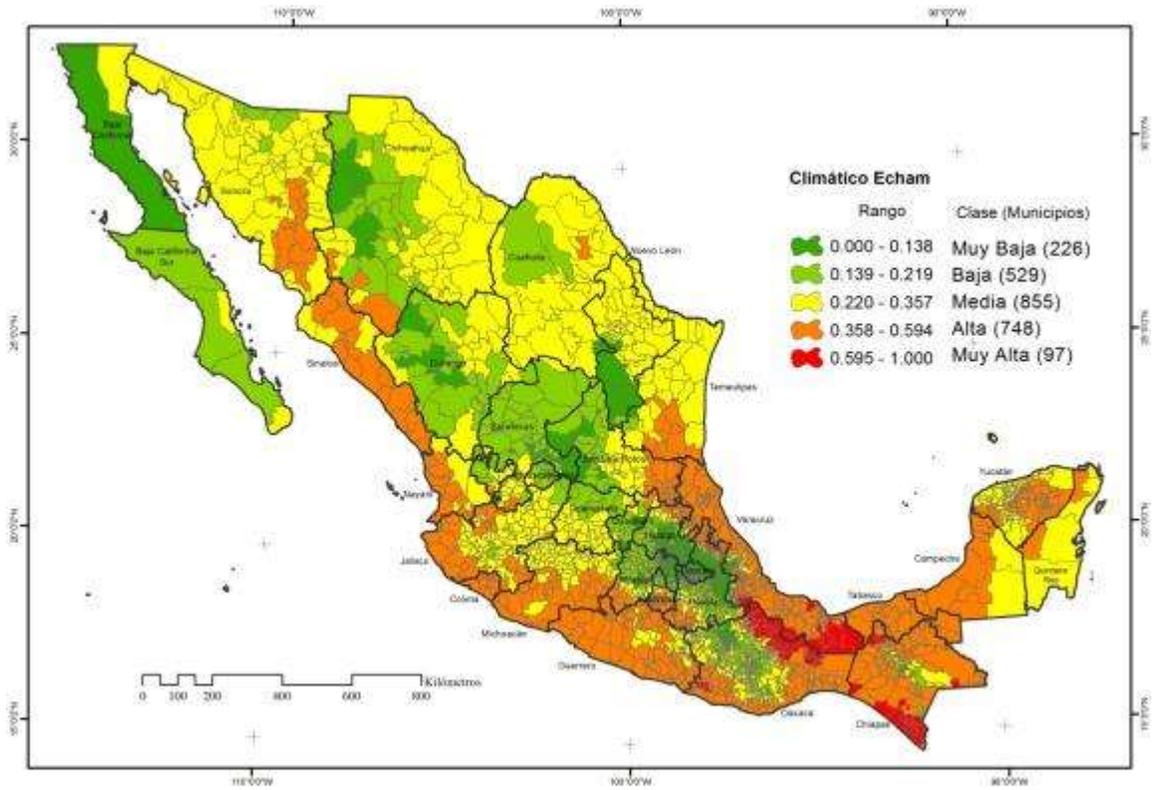
Mapa de severidad de problemática ambiental (base).



Mapa de severidad climática (base).



Mapa de severidad climática (HADGEM1).



Mapa de severidad climática (MPI ECHAM5).

Anexo 2. Información municipal y de población total según severidad en Exposición.

Anexo 2.1. Total de municipios (izquierda) y Población total (derecha) por estado según rango de Exposición y escenario base

	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta	Total Municipios		Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta	Población al 2005
Aguascalientes	2	9				11	Aguascalientes	96310	969106				1065416
Baja California	1	3		1		5	Baja California	91034	1342748		1410687		2844469
Baja California Sur		3	2			5	Baja California Sur		128412	383758			512170
Campeche		1	9	1		11	Campeche		23814	530928	199988		754730
Coahuila	15	23				38	Coahuila	313482	2181718				2495200
Colima		9	1			10	Colima		430154	137842			567996
Chiapas	2	56	42	16	2	118	Chiapas	19443	1627384	1907443	429405	309784	4293459
Chihuahua	28	36	2		1	67	Chihuahua	438992	726870	762244		1313338	3241444
Distrito Federal	5	5	4	1	1	16	Distrito Federal	1075522	1528112	1831843	1193161	1820888	7449526
Durango	17	22				39	Durango	242571	1266546				1509117
Guanajuato	24	22				46	Guanajuato	1595188	3298624				4893812
Guerrero	1	58	21	1		81	Guerrero	8876	1497517	891043	717766		3115202
Hidalgo	52	24	8			84	Hidalgo	1338295	738901	268318			2345514
Jalisco	59	63	3			125	Jalisco	1113789	3800608	1837716			6752113
México	85	38	2			125	México	6778191	5882473	1346831			14007495
Michoacán	37	75	1			113	Michoacán	647820	3155256	162997			3966073
Morelos	1	32				33	Morelos	5884	1607015				1612899
Nayarit		18	2			20	Nayarit		883656	66028			949684
Nuevo León	8	42		1		51	Nuevo León	415485	2649993		1133814		4199292
Oaxaca	144	311	98	15	2	570	Oaxaca	501838	1654909	987716	318843	43515	3506821
Puebla	111	69	35	2		217	Puebla	1991791	2728796	646763	15783		5383133
Querétaro	9	8	1			18	Querétaro	643029	220971	734139			1598139
Quintana Roo		5	3			8	Quintana Roo		817427	317882			1135309
San Luis Potosí	23	18	16	1		58	San Luis Potosí	623483	1160032	533088	93811		2410414
Sinaloa	1	14	3			18	Sinaloa	32295	1258392	1317755			2608442
Sonora	19	49	3		1	72	Sonora	103209	1247922	886654		157076	2394861
Tabasco			17			17	Tabasco			1989969			1989969
Tamaulipas	3	35	4	1		43	Tamaulipas	8854	1618787	1092673	303924		3024238
Tlaxcala	54	6				60	Tlaxcala	920617	147590				1068207
Veracruz	19	122	67	4		212	Veracruz	265587	2916017	3026689	901921		7110214
Yucatán		83	23			106	Yucatán		1516838	302110			1818948
Zacatecas	42	16				58	Zacatecas	765642	602050				1367692
Total	762	1275	367	44	7	2455	Total	20037227	49628638	21962429	6719103	3644601	101991998

Anexo 2.2. Total de municipios (izquierda) y Población total (derecha) por estado según rango de Exposición y escenario HADGEM1, A2 para el 2030

	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta	Total Municipios		Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta	Población al 2030
Aguascalientes	2	9				11	Aguascalientes	182642	1275474				1458116
Baja California	1	3		1		5	Baja California	205018	2144682		2725286		5074986
Baja California Sur		3	2			5	Baja California Sur		126390	705447			831837
Campeche		1	9	1		11	Campeche		26054	611479	329729		967262
Coahuila	15	23				38	Coahuila	400090	2654684				3054774
Colima		9	1			10	Colima		506570	226635			733205
Chiapas	2	52	46	15	3	118	Chiapas	21233	2055114	2618693	304439	290750	5290229
Chihuahua	20	44	1	1	1	67	Chihuahua	151287	889658	2127	990958	1804146	3838176
Distrito Federal	5	5	4	1	1	16	Distrito Federal	901867	1642972	2105434	933193	1830395	7413861
Durango	14	25				39	Durango	133708	1446931				1580639
Guanajuato	25	21				46	Guanajuato	1431096	3839287				5270383
Guerrero	1	57	22		1	81	Guerrero	5512	1357237	969374		551537	2883660
Hidalgo	52	26	6			84	Hidalgo	1420320	849083	300449			2569852
Jalisco	62	61	2			125	Jalisco	927337	5631533	1229084			7787954
México	87	35	3			125	México	10985252	4108600	2994208			18088060
Michoacán	39	73	1			113	Michoacán	511880	2896908	124273			3533061
Morelos	3	30				33	Morelos	45585	1810419				1856004
Nayarit		18	2			20	Nayarit		949139	37190			986329
Nuevo León	12	38		1		51	Nuevo León	675033	3696837		1026517		5398387
Oaxaca	134	315	110	11		570	Oaxaca	460714	1616093	1182528	138240		3397575
Puebla	113	72	31	1		217	Puebla	2511524	3457400	539856	18715		6527495
Querétaro	9	8	1			18	Querétaro	969701	287574	1046221			2303496
Quintana Roo		4	4			8	Quintana Roo		872575	1578258			2450833
San Luis Potosí	23	20	15			58	San Luis Potosí	710633	1261158	623378			2595169
Sinaloa	1	14	3			18	Sinaloa	20044	1172206	1416401			2608651
Sonora	12	56	3		1	72	Sonora	65646	1368656	1225949		181060	2841311
Tabasco			17			17	Tabasco			2164863			2164863
Tamaulipas	4	35	3	1		43	Tamaulipas	8818	2087055	1445617	282601		3824091
Tlaxcala	53	7				60	Tlaxcala	1094875	312075				1406950
Veracruz	22	128	58	4		212	Veracruz	462232	3719877	2128953	1051714		7362776
Yucatán		78	28			106	Yucatán		1992586	395700			2388286
Zacatecas	43	15				58	Zacatecas	709073	569503				1278576
Total	754	1285	372	37	7	2455	Total	25011120	56624330	25672117	7801392	4657888	119766847

Anexo 2.3. Total de municipios (izquierda) y Población total (derecha) por estado según rango de Exposición y escenario MPI ECHAM5, A2 para el 2030

	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta	Total Municipios	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta	Población al 2030
Aguascalientes	1	10				11	15306	1442810				1458116
Baja California	1	3		1		5	205018	2144682		2725286		5074986
Baja California Sur		3	2			5		126390	705447			831837
Campeche		7	4			11		277744	689518			967262
Coahuila	15	23				38	400090	2654684				3054774
Colima		9	1			10		506570	226635			733205
Chiapas	2	60	41	12	3	118	21233	2328569	2374685	274992	290750	5290229
Chihuahua	26	38	2		1	67	291530	749415	993085		1804146	3838176
Distrito Federal	5	4	5	1	1	16	901867	1299505	2448901	933193	1830395	7413861
Durango	17	22				39	165557	1415082				1580639
Guanajuato	20	26				46	871848	4398535				5270383
Guerrero	1	61	18	1		81	5512	1396463	930148	551537		2883660
Hidalgo	52	27	5			84	1420320	858887	290645			2569852
Jalisco	53	70	2			125	758384	5800486	1229084			7787954
México	85	37	3			125	10628197	4465655	2994208			18088060
Michoacán	30	82	1			113	432960	2975828	124273			3533061
Morelos	2	31				33	27909	1828095				1856004
Nayarit		18	2			20		949139	37190			986329
Nuevo León	14	36		1		51	679994	3691876		1026517		5398387
Oaxaca	146	310	101	12	1	570	540837	1569099	1096241	151327	40071	3397575
Puebla	113	78	25	1		217	2511524	3648015	349241	18715		6527495
Querétaro	9	8	1			18	969701	287574	1046221			2303496
Quintana Roo		7	1			8		2388494	62339			2450833
San Luis Potosí	23	24	11			58	710633	1388382	496154			2595169
Sinaloa	1	14	3			18	20044	1172206	1416401			2608651
Sonora	22	46	3		1	72	118675	1315627	1225949		181060	2841311
Tabasco		3	14			17		154663	2010200			2164863
Tamaulipas	6	34	2	1		43	112517	2516900	912073	282601		3824091
Tlaxcala	55	5				60	1263353	143597				1406950
Veracruz	24	132	54	2		212	492409	3868266	2662267	339834		7362776
Yucatán	7	95	4			106	22383	2302259	63644			2388286
Zacatecas	39	19				58	672757	605819				1278576
Total general	769	1342	305	32	7	2455	24260558	60671316	24384549	6304002	4146422	119766847

Anexo 2.4. Promedio de valores en índices de exposición base y con cambio climático, por estado.

	Promedio de Exposición Base	Promedio de Exposición HADGEM1	Promedio de Exposición MPI ECHAM5
Aguascalientes	0.2517	0.2534	0.2599
Baja California	0.3309	0.3485	0.3343
Baja California Sur	0.3123	0.3221	0.3085
Campeche	0.4682	0.4809	0.3990
Coahuila	0.2226	0.2230	0.2225
Colima	0.3152	0.3188	0.3108
Chiapas	0.4365	0.4486	0.4184
Chihuahua	0.2305	0.2484	0.2324
Distrito Federal	0.3271	0.3276	0.3318
Durango	0.2081	0.2152	0.2097
Guanajuato	0.1958	0.1941	0.2032
Guerrero	0.3585	0.3606	0.3537
Hidalgo	0.2047	0.2021	0.1977
Jalisco	0.2161	0.2136	0.2205
México	0.1733	0.1721	0.1771
Michoacán	0.2362	0.2338	0.2448
Morelos	0.2664	0.2632	0.2644
Nayarit	0.3276	0.3194	0.3306
Nuevo León	0.2492	0.2363	0.2313
Oaxaca	0.2952	0.3000	0.2948
Puebla	0.2466	0.2413	0.2353
Querétaro	0.2201	0.2178	0.2219
Quintana Roo	0.3980	0.4108	0.3556
San Luis Potosí	0.2839	0.2757	0.2725
Sinaloa	0.3357	0.3367	0.3281
Sonora	0.2645	0.2807	0.2578
Tabasco	0.4833	0.4976	0.4409
Tamaulipas	0.3170	0.3042	0.2887
Tlaxcala	0.1458	0.1455	0.1420
Veracruz	0.3584	0.3474	0.3396
Yucatán	0.3466	0.3621	0.2949
Zacatecas	0.1716	0.1733	0.1791

CAPÍTULO 3 – SENSIBILIDAD ACTUAL Y AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS MUNICIPIOS DE MÉXICO

Resumen

En el presente apartado se realizó una propuesta de evaluación de la sensibilidad al cambio climático en los municipios de México, en particular sobre el sector agrícola. El método aplicado se organizó en tres etapas: (i) selección de indicadores para evaluar la sensibilidad, (ii) obtención de índices de sensibilidad actual y al cambio climático y (iii) mapeo de la sensibilidad en los municipios de México. Se seleccionaron tres dimensiones o grupos de indicadores para caracterizar la sensibilidad: población, salud y agrícola. En total se eligieron 23 indicadores que permitieron caracterizar la sensibilidad al cambio climático: cuatro para el grupo de población, tres para salud y dieciséis de agricultura e impacto del cambio climático sobre el potencial agrícola, ganadero y forestal en el país. Los indicadores fueron estandarizados estadísticamente para hacerlos comparables entre sí. Mediante la aplicación de fórmulas empíricas se obtuvieron tres subíndices para las dimensiones base (población, salud y agrícola base) y dos subíndices para condiciones futuras (agrícola futuro según modelo MPI ECHAM5 y agrícola futuro según modelo HADGEM1). Se integraron también en una fórmula empírica los subíndices de las condiciones base para obtener el índice de sensibilidad base. Del mismo modo se procedió para obtener dos índices de sensibilidad futuros. Los tres índices de sensibilidad fueron normalizados en valores que van de cero a cien y les fue asignado un valor cualitativo de severidad. Los resultados fueron cartografiados y representados en mapas del país a escala municipal. En la integración del índice de sensibilidad base se obtuvieron correlaciones positivas con la dimensión de salud, población y dimensión agrícola, en ese orden de importancia. Actualmente y en los rangos de alta y muy alta sensibilidad se encuentran 602 y 31 municipios, respectivamente, (26 por ciento de los municipios del país) representando más de once millones de personas. De acuerdo con el modelo MPI ECHAM5 serán poco más de 2.5 millones de personas (2 por ciento) las que vivirán con alta y muy alta sensibilidad, considerando la proyección de la población al año 2030 y de acuerdo con el modelo HADGEM1 serán más de once millones de personas.

1. Introducción

En ecología y en general en teoría de sistemas, la sensibilidad se refiere a la habilidad que tiene un sistema ambiental para enfrentar un estrés o disturbio. Se refiere al grado en que un sistema es afectado, o su capacidad de respuesta a un estímulo, en este caso, climático (Smit et al., 2009). Algunos conceptos relacionados y que han sido aplicados a los sistemas naturales son estabilidad, resiliencia y flexibilidad, que bien pueden ser aplicados a los sistemas humanos. *Estabilidad* se refiere a la habilidad de un sistema de permanecer fijo o sin cambio frente a un disturbio. *Resiliencia* se refiere a la capacidad de recuperación del sistema, capacidad de rebote ante un disturbio que se puede experimentar. *Flexibilidad* es el grado de maniobrabilidad que existe dentro del sistema. A pesar de su aplicación en ecología, en los sistemas humanos no están claros los límites entre sí y continúa su discusión (Smithers y Smit, 2009). Pero en lo que sí se puede tener certeza es que los términos antes descritos han cobrado atención en los últimos años debido a que influyen en la definición interna de los sistemas y su vulnerabilidad a los cambios en el clima (Klein y Nicholls, 1999).

El IPCC reconoce como vulnerabilidad al cambio climático a “el grado en que los sistemas son capaces o incapaces de afrontar los impactos negativos del cambio climático” (Parry et al., 2007), refiriéndose a los sistemas geofísicos, biológicos y socioeconómicos. Subraya que vulnerabilidad puede referirse al sistema vulnerable (una ciudad, actividad agrícola), al impacto en el sistema (una inundación) o al mecanismo que la impulsa (el deshielo). Cutter (1996) así como el tercer reporte del IPCC (McCarthy et al., 2001) identificaron tres componentes de determinan la vulnerabilidad de un sistema o grupo humano: su exposición, su sensibilidad y su capacidad adaptativa. De hecho, desde el segundo reporte del IPCC (1996) se reconocía que “los sistemas más vulnerables son aquellos con mayor sensibilidad al cambio climático y menor adaptabilidad”. Mayor información sobre el análisis de la vulnerabilidad puede encontrarse en (Berry et al., 2006; Bohle et al., 1994; Downing y Patwardham, 2006; Kelly y Adger, 2000); mientras que en la presente investigación se sigue la definición del IPCC sobre vulnerabilidad y en especial en el presente capítulo sobre sensibilidad climática, un componente de la vulnerabilidad.

La sensibilidad, de acuerdo con el IPCC (2007), es “el grado en el que un sistema es afectado por un disturbio, ya sea de manera adversa o benéfica, por variabilidad o cambio en el clima”, señalando además que los efectos pueden ser directos o indirectos. La sensibilidad se refiere al grado como responderá un sistema ante un cambio en el clima. Esta medida determina el nivel en que el sistema se verá afectado por un determinado estrés, o bien, cómo será afectado el sistema por cambio climático. O'Brien (2004a) señalan que son las condiciones humanas y ambientales que pueden empeorar o disminuir los impactos por un determinado fenómeno.

El análisis de la sensibilidad intenta vincular directamente los escenarios futuros de cambio climático con sus posibles efectos o impactos (Downing y Patwardham, 2006). Es decir, se busca comprender el proceso mediante el cual los escenarios futuros se traducen en riesgos o impactos sobre un determinado grupo o sistema. Un aspecto relevante subrayado por los autores es que se pueden identificar puntos de intervención y de opciones de respuesta.

En la literatura especializada se pueden encontrar pocas evaluaciones de sensibilidad climática desde la perspectiva de vulnerabilidad y cambio climático. Por ejemplo, O'Brien et al. (2004a) para medir la sensibilidad bajo exposición al cambio climático construyeron un índice de sensibilidad climática, que midió la aridez del suelo y la dependencia al monzón en la India. Además, no se conoce en México una evaluación a nivel nacional y a escala municipal de la sensibilidad a estímulos climáticos. Así, el objetivo del presente estudio fue contribuir con los análisis de sensibilidad climática en México, mediante la evaluación de la sensibilidad que presentan los municipios del país al estímulo del cambio climático. Otro objetivo del trabajo fue aplicar indicadores para evaluar el estado actual del sector agrícola (en infraestructura y capacidad de producción de la tierra) y mediante escenarios de cambio climático futuro los posibles impactos en la actividad agrícola, ganadera y forestal del país, como elementos sensibles al cambio climático.

2. Materiales y Métodos

El método seguido en el presente trabajo se organizó en tres componentes: (i) selección de indicadores para evaluar la sensibilidad al cambio climático, (ii) obtención de un índice de sensibilidad al cambio climático y (iii) mapeo de la sensibilidad al cambio climático en los municipios de México. El objetivo del primer componente fue obtener indicadores que permitieran evaluar a la población sensible así como el posible impacto que sobre la actividad agrícola (agricultura, ganadería y bosques) se prevé ocurrirá en los municipios del país. De esta manera se representó la sensibilidad actual al cambio climático futuro. Se seleccionaron indicadores en tres grupos, el primero sobre población, el segundo sobre acceso salud y el último sobre el impacto del

cambio climático sobre los recursos naturales y productivos (agricultura, ganadería y bosques). La fuente principal de los datos fueron el conteo de población y vivienda (INEGI, 2006), el censo agrícola, ganadero y forestal del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2009), así como los resultados para agricultura (Monterroso et al., 2011a), ganadería (Monterroso et al., 2011b) y bosques (Gómez et al., 2011) obtenidos para México a nivel nacional. La información fue procesada geográficamente en ArcGis (versión 9.3) y estadísticamente en SPSS (versión 18). El índice de sensibilidad fue construido y posteriormente se procedió a su mapeo, tal como se detalla en los siguientes apartados.

2.1 Selección de indicadores

Los indicadores seleccionados para evaluar la sensibilidad del sector agrícola y de los municipios del país al cambio climático se agruparon en: a) indicadores de población, b) indicadores de salud y c) indicadores de impacto del cambio climático sobre la aptitud productiva de la tierra. Los dos primeros grupos establecen las condiciones actuales de la población y su capacidad (o incapacidad) de afrontar los cambios climáticos. El tercer grupo constituye la traducción de los posibles escenarios futuros de cambio climático y sus impactos potenciales sobre la actividad agrícola, ganadera y forestal en México. En el Cuadro 3.1 se presenta más información de los indicadores utilizados.

Los indicadores de población incluyen porcentaje de hogares con jefatura femenina, porcentaje de población indígena en el municipio, porcentaje de población en pobreza alimentaria y porcentaje de población dedicada a actividades primarias. La información se obtuvo del conteo de población y vivienda (INEGI, 2006) y corresponde a lo reportado en el año 2005 y se respetó el sentir de cada indicador en la construcción del indicador, es decir, las intersecciones o traslapes no fueron relevantes en la construcción del indicador. El porcentaje de hogares con jefatura femenina se refiere al número de hogares que son encabezados por un jefe de familia femenino, es decir, que es la madre de familia la que tienen a su cargo el sustento familiar. La selección de este indicador se basó en que a mayor porcentaje de hogares con jefatura femenina dentro de un mismo municipio se consideró mayor su sensibilidad a los cambios en el clima. Así, a mayor cantidad de hogares con sustento femenino, mayor será la sensibilidad del municipio. En lo que se refiere a población indígena, representa el porcentaje de población de todos los grupos de habla indígena dentro de un mismo municipio. La hipótesis para la selección de este indicador es que a mayor cantidad de este grupo de población menor será el acceso a información y en consecuencia más sensible es el municipio. El tercer indicador se refiere a la población que se encuentra en pobreza alimentaria dentro de un municipio. Se refiere a la incapacidad de obtener una canasta básica alimentaria, aun si se hiciera uso de todo el ingreso disponible en el hogar para comprar sólo los bienes de dicha canasta (CONEVAL, 2008). Se consideró su selección como indicador dado que a mayor cantidad de población en un municipio bajo esta condición se traduce en mayor sensibilidad a los cambios futuros. Si hay población en pobreza alimentaria dentro de un territorio, entonces se deberá impulsar la satisfacción de estas necesidades primero, antes de enfocar los esfuerzos en adaptarse a condiciones de cambio climático, por ejemplo, y en consecuencia son más sensibles. El último indicador de población comprende el porcentaje de la población que se dedica a actividades primarias, entendiéndose como agricultura, ganadería y forestales. La selección del indicador se basó en el hecho de que a mayor porcentaje de población en esta actividad mayor es su sensibilidad a los cambios, observando en consecuencia mayor vulnerabilidad. Con los cuatro indicadores antes señalados se consideró suficiente evaluar el grado de sensibilidad de los municipios, en su carácter de población sensible, dado que son estos grupos de población son los que reflejan de alguna manera el sentir de los impactos de cambio en alguna variable climática.

El componente de salud comprende evaluar aquellas condiciones que reflejan la carencia de dichos servicios y que en consecuencia se traducen en mayor sensibilidad a los cambios futuros en un municipio. Se seleccionaron tres indicadores para su evaluación. El porcentaje de niños con baja talla y bajo peso al nacer fueron dos indicadores que se obtuvieron de (CONAPO, 2005). El porcentaje de población con acceso a servicios de salud se obtuvo del conteo de población y vivienda de INEGI (2006).

Los indicadores de impacto del cambio climático sobre la actividad agrícola fueron considerados como los elementos de sensibilidad del sistema de producción, dado que algún cambio negativo en ellos significará una reducción en la capacidad productiva de la tierra. Los indicadores seleccionados fueron diez para cada uno de los escenarios e incluyen el porcentaje de la superficie dedicada a las actividades primarias, el porcentaje de las unidades de producción² que señalaron no contar con algún tipo de sistema de riego, el pro-

² INEGI define a las Unidades de Producción como el “conjunto formado por los terrenos, con o sin actividad agropecuaria o forestal en el área rural o con actividad agropecuaria en el área urbana, ubicados en un mismo municipio; los animales que se posean o críen; así como los equipos, maquinarias y vehícu-

medio de los rendimientos observados para el cultivo de maíz, así como cuatro indicadores más de vulnerabilidad para la producción de cebada, frijol, maíz y sorgo. Además, se incluyeron tres indicadores de aptitud para la producción: agrícola, ganadera y de uso forestal.

La superficie dedicada a actividades primarias dentro de un municipio se consideró dado que a mayor cantidad de suelo dedicada a estas actividades, mayor será su sensibilidad al cambio climático. Sobre las unidades de producción que señalaron no contar con algún sistema de riego fue considerado bajo el sentido de que si se carece de esta infraestructura se tienen menos posibilidades de obtener producción agrícola y hacer frente a los posibles cambios en la cantidad de lluvia futura. El rendimiento promedio del cultivo de maíz se incluyó como un indicador del nivel productivo de la tierra. Mientras que los indicadores de vulnerabilidad que presentan algunos municipios del país para el cultivo de maíz, frijol, cebada y sorgo fueron incluidos dado que reflejan una probabilidad de sufrir alguna disminución en la cantidad de lluvia y que se puede traducir en mayor sensibilidad del sistema productivo (Cruz, 2011).

Los escenarios futuros incluyen los cambios sugeridos por cambio climático en la aptitud agrícola, tomando como ejemplo la producción del maíz de temporal en México. Como lo señalan los autores (Monterroso et al., 2011a), la aptitud para el cultivo fue clasificada en cuatro clases: muy apto, apto, marginalmente apto y no apto, conformando así el escenario base. Los escenarios de cambio climático utilizados fueron MPI ECHAM5 y HADGEM1, de acuerdo con el grupo A2 para el año 2050. A las nuevas salidas de potencial agrícola para el cultivo de maíz también se clasificaron en el mismo número de clases. También se incluyen los cambios modelados tanto en la capacidad ganadera como en aptitud forestal; el primero mediante el análisis del cambio en el coeficiente de agostadero y el segundo mediante el cambio de aptitud para algunas especies forestales. La aptitud ganadera (Monterroso et al., 2011b) a través del coeficiente de agostadero se refiere a la cantidad de superficie requerida para sostener una unidad animal, expresada como cantidad de hectáreas necesarias por unidad animal por año (ha/UA/año). Se definieron seis clases de aptitud ganadera: de 0-1, 1-5, 6-10, 11-50, 51-100 y +100, todos en ha/UA/año. Los escenarios de cambio climático fueron los mismos que los utilizados en la aptitud agrícola y su aplicación también fue ordenada en el mismo número de clases. En lo que se refiere a los bosques, se seleccionaron especies forestales representativas de los grupos de vegetación tropical, templado y semiárido, tal como es señalado en Gómez (2011). Las clases definidas también fueron cuatro, tanto para el escenario base como para los escenarios de cambio climático: apto, moderadamente apto, marginalmente apto y no apto.

2.2 Construcción del índice de Sensibilidad

En este estudio se siguió la definición del IPCC (2007) sobre sensibilidad al cambio climático, entendida como el grado en que un sistema será afectado, o bien, su capacidad de respuesta, al cambio climático. Para representar la capacidad de enfrentar los cambios en los municipios de México se propusieron cuatro indicadores de población y tres sobre salud y acceso a servicios de salud.

Para incluir el impacto futuro en la evaluación de la sensibilidad sobre el sector agrícola, se incluyeron las salidas de escenarios de cambio climático y su correspondiente resultado en la aptitud agrícola, ganadera y forestal para el horizonte del año 2050. En esta investigación se consideró entonces que la sensibilidad en los municipios de México se encuentra en función de algunas características de la población, su acceso a servicios de salud y el cambio en el potencial agrícola, ganadero y forestal por cambio climático, como se representa en la siguiente fórmula:

$$\text{Sensibilidad} = f(\text{población, salud, agrícola}) \quad (1)$$

De acuerdo con los indicadores seleccionados (Cuadro 3-1) para representar algunos atributos de la población se utilizaron cuatro indicadores con información a nivel municipal: hogares con jefatura femenina, población indígena, población en pobreza alimentaria y población dedicada a actividades primarias. Para estimar la sensibilidad de la población se incluyeron el acceso a los servicios de salud, porcentaje de la población con baja talla y bajo peso al nacer. Los recursos naturales como elementos sensibles del sistema, fueron incluidos como el cambio en el potencial futuro en la aptitud agrícola, ganadera y forestal por cambio climático. En el Cuadro 3-2 se presenta información de unidades de medida de los indicadores originales, los valores mínimos, máximos, el rango que los separa así como la desviación estándar de cada uno.

los destinados a las actividades agrícolas, pecuarias o forestales; siempre que durante el periodo de marzo a septiembre del 2007, todo esto se haya manejado bajo una misma administración”, para el censo agrícola, pecuario y forestal realizado en el año 2007. El INEGI reportó ese año la cantidad de 5 548 845 unidades de producción en el país.

Cuadro 3-1. Indicadores seleccionados para Sensibilidad al Cambio Climático.

Indicador	Descripción y fuente	Hipótesis	
A) Población:			
S1	Jefatura femenina	Porcentaje de hogares en el municipios con jefatura de familia femenina, INEGI (2006)	A mayor %, mayor sensibilidad
S2	Indígenas	Porcentaje de población indígena en el municipio, INEGI (2006)	A mayor %, mayor sensibilidad
S3	Pobreza alimentaria	Porcentaje de personas del municipio en condición de pobreza alimentaria (CONEVAL, 2008)	A mayor %, mayor sensibilidad
S4	Actividades primarias	Porcentaje de la población del municipio que se dedica a actividades primarias (INEGI, 2010)	A mayor %, mayor sensibilidad
B) Salud:			
S5	Baja talla	Porcentaje de niños con baja talla al nacer (CONAPO, 2005)	A mayor %, mayor sensibilidad
S6	Bajo peso	Porcentaje de niños con bajo peso al nacer (CONAPO, 2005)	A mayor %, mayor sensibilidad
S7	Servicios de salud	Porcentaje de población que cuenta con servicios de salud (INEGI, 2006)	A mayor %, mayor sensibilidad
C) Agrícola:			
S8	Superficie primaria	Porcentaje de la superficie del municipio dedicada a actividades primarias según INEGI (2009).	A mayor %, mayor sensibilidad
S9	Sin riego	Porcentaje de las unidades de producción que no cuentan con algún sistema de riego INEGI (2009)	A mayor %, mayor sensibilidad
S10	Rendimiento temporal	Rendimiento promedio para el cultivo de maíz (INEGI, 2008a)	Escenario base
S11	Bajo rendimiento en maíz	Probabilidad de obtener bajo rendimiento en maíz (Cruz, 2011)	Escenario base
S12	Bajo rendimiento en frijol	Probabilidad de obtener bajo rendimiento en frijol (Cruz, 2011)	Escenario base
S13	Bajo rendimiento en cebada	Probabilidad de obtener bajo rendimiento en sorgo (Cruz, 2011)	Escenario base
S14	Bajo rendimiento en sorgo	Probabilidad de obtener bajo rendimiento encebada (Cruz, 2011)	Escenario base
S15	Aptitud agrícola	Aptitud agrícola para cultivo de maíz de temporal bajo condiciones actuales o base de acuerdo con Monterroso et al., (2011a).	Escenario base
S16	Potencial ganadero	Potencial ganadero por coeficiente de agostadero bajo condiciones actuales o base de acuerdo con (Monterroso et al., 2011b).	Escenario base
S17	Potencial forestal	Potencial forestal por nivel de aptitud de especies forestales representativas bajo condiciones actuales o base, de acuerdo con (Gómez et al., 2011).	Escenario base
S18	Cambio en potencial agrícola 1	Potencial agrícola del maíz en el municipio con cambio climático según modelo MPI ECHAM5 A2 al 2050 comparado con escenario base (Monterroso et al., 2011a).	Escenario de Cambio Climático
S19	Cambio en potencial ganadero 1	Potencial ganadero por coeficiente de agostadero en el municipio según modelo de cambio climático MPI ECHAM5 A2 al 2050 comparado con escenario base (Monterroso et al., 2011b).	Escenario de Cambio Climático
S20	Cambio en potencial forestal 1	Potencial forestal por aptitud de especies forestales en el municipio según modelo de cambio climático MPI ECHAM5 A2 al 2050 comparado con escenario base (Gómez et al., 2011).	Escenario de Cambio Climático
S21	Cambio en potencial agrícola 2	Potencial agrícola del maíz en el municipio con cambio climático según modelo HADGEM1 A2 al 2050 comparado con escenario base (Monterroso et al., 2011a)	Escenario de Cambio Climático
S22	Cambio en potencial ganadero 2	Potencial ganadero por coeficiente de agostadero en el municipio según modelo de cambio climático HADGEM1 A2 al 2050 comparado con escenario base (Monterroso et al., 2011b).	Escenario de Cambio Climático
S23	Cambio en potencial forestal 1	Potencial forestal por aptitud de especies forestales en el municipio según modelo de cambio climático MPI ECHAM5 A2 al 2050 comparado con escenario base (Gómez et al., 2011).	Escenario de Cambio Climático

Todos los valores de las variables (S1...S23) reflejan mayor sensibilidad a cambios futuros. Los indicadores fueron estandarizados para eliminar las diferentes unidades de medida y considerar todas las variables implícitamente equivalentes en cuanto a información recogida. En los escenarios futuros de aptitud agrícola, ganadera o forestal no se consideraron probabilidades o riesgos futuros por estar fuera del contexto que se busca reflejar en el índice. Una vez tipificados los indicadores se construyeron sub índices para cada dimensión que representan el valor parcial del sub componente evaluado (la sensibilidad).

Cuadro 3-2. Valores estadísticos de los indicadores de sensibilidad

Dimensión	Indicador	Clave	Medida	Mín.	Máx.	Rango	Desv. típ.
Población	Jefatura femenina	S1	%	0.0	58.91	58.91	5.68
	Hogares indígenas	S2	%	0.0	100.00	100.00	35.62
	Pobreza alimentaria	S3	%	0.0	84.01	84.01	18.92
	Actividades primarias	S4	%	0.0	55.32	55.32	7.84
Salud	Baja talla	S5	%	0.0	97.80	97.80	12.93
	Bajo peso	S6	%	0.0	31.00	31.00	5.55
	Acceso a salud	S7	%	0.0	96.62	96.62	22.36
Agrícola	Superficie primaria	S8	%	0.0	100.00	100.00	25.74
	No riego	S9	%	14.5	100.00	85.44	15.24
	Rendimientos maíz temporal	S10	tn/ha	0.1	8.53	8.43	1.09
	Bajo rendimiento en cebada	S11	%	0.0	96.60	96.60	17.53
	Bajo rendimiento en frijol	S12	%	0.0	100.00	100.00	26.64
	Bajo rendimiento en maíz	S13	%	0.0	100.00	100.00	33.09
	Bajo rendimiento en sorgo	S14	%	0.0	99.90	99.90	22.68
	Aptitud agrícola	S15		0.0	4	4	1.25
	Ganadería base	S16		0.0	6	6	1.17
	Forestal base	S17		0.0	4	4	0.66
Agrícola futuro 1	Agrícola MPI ECHAM5	S18		0.0	4	4	1.25
	Ganadería MPI ECHAM5	S19		0.0	6	6	1.14
	Forestal MPI ECHAM5	S20		0.0	4	4	1.12
Agrícola futuro 2	Agrícola HADGEM1	S21		0.0	4	4	1.23
	Ganadería HADGEM1	S22		0.0	6	6	1.25
	Forestal HADGEM1	S23		0.0	4	4	1.04

Con los indicadores preparados se procedió a obtener tres índices. El primero buscó identificar la sensibilidad base mientras que dos más la sensibilidad futura, al considerar escenarios de cambio climático. Para la construcción del indicador de sensibilidad base se consideraron tres subíndices: de población (S1 a S4), salud (S5 a S7) y agrícola (S8 a S17). Cada uno de ellos fue calculado bajo una media aritmética de sus indicadores. Después, los tres sub índices fueron integrados en el índice de sensibilidad base, de acuerdo con:

$$\text{Índice de Sensibilidad Base} = (\text{IP} + \text{IS} + \text{IA}) \quad (2)$$

Donde IP se refiere al sub índice de población, IS al sub índice de salud así como IA al sub índice agrícola. La construcción de los dos índices de exposición futura consideraron las proyecciones futuras de cambio en la aptitud agrícola, ganadera y forestal de los dos modelos aplicados, de acuerdo con:

$$\text{Índice de Sensibilidad Futura}_{\text{Echam}} = (\text{IP} + \text{IS} + \text{IAE}) \quad (3)$$

$$\text{Índice de Sensibilidad Futura}_{\text{Hadgem}} = (\text{IP} + \text{IS} + \text{IAH}) \quad (4)$$

En donde IAE es el sub índice agrícola futuro según el modelo MPI ECHAM5 así como IAH es el sub índice agrícola futuro de acuerdo al modelo HADGEM1. Por último, los tres índices finales, calculados con las formulas 2, 3 y 4 fueron normalizados a valores entre 0 y 1 de acuerdo con la fórmula:

$$N = (X_i - X_m) / (X_M - X_m) \quad (5)$$

Donde N es el valor normalizado entre 0 y 100, X_i es el valor observado, X_m es el valor mínimo observado y X_M el valor máximo observado en el conjunto de datos i .

2.3 Mapeo de la Sensibilidad al cambio climático en México

Una vez se construyeron los índices de sensibilidad actual y futuros, a cada municipio del país le fue asignado el valor obtenido, permitiendo jerarquizar el grado de sensibilidad municipal en el país. El rango de valores final fue dividido en cinco grupos de acuerdo a una distribución geométrica de las frecuencias y a cada grupo se le asignó un indicador cualitativo de severidad en sensibilidad:

Cuadro 3-3. Criterios aplicados para sensibilidad en los municipios de México

Índice de sensibilidad	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Severidad de la sensibilidad	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta

Finalmente, con la información obtenida se pudieron cartografiar los índices y la severidad de la sensibilidad en mapas a nivel municipal.

3. Resultados y Discusión

Los resultados se presentan en dos partes: la primera sobre los resultados de sensibilidad base mientras que la segunda parte versa sobre una estimación de la sensibilidad futura, al aplicar escenarios de cambio climático.

3.1 Sensibilidad base

La sensibilidad al cambio climático es el grado en que los municipios de México serán afectados, o bien, su capacidad de respuesta frente al cambio climático. En este estudio la sensibilidad fue definida como una función de indicadores de población, salud y agrícolas. Para cada uno de ellos se calculó un sub índice que refleja la severidad del grupo estudiado. Siguiendo los criterios antes señalados para la severidad de los sub índices, su rango (0-100) fue dividido en cinco clases de acuerdo con una distribución geométrica de su histograma o frecuencias: muy bajo (0–20), bajo (21–40), medio (41–60), alto (61–80) y muy alto (81–100).

En la integración del índice de sensibilidad base se obtuvieron correlaciones positivas con población (0.70) y salud (0.71). En el caso de la dimensión agrícola el valor de correlación fue inferior (0.58). Esto se puede atribuir a que el indicador señala únicamente aptitud de la tierra para realizar alguna actividad agrícola en valores nominales mientras que los dos primeros grupos reflejan valores continuos de severidad (Figura 3-1). Sin embargo, para las tres dimensiones es posible afirmar que a mayor cantidad en sus variables así también es su sensibilidad.

Se describió además la participación de las variables con el índice de sensibilidad obtenido y el grado de afectación. Así, para la dimensión de población se encontró que la variable que menos aporta en explicar la sensibilidad es el porcentaje de hogares con jefatura femenina (Cuadro 3-4). Los valores no permiten establecer una tendencia clara, ya que por ejemplo, para el grado de sensibilidad muy bajo se tienen 26 por ciento de hogares bajo esta condición mientras que para muy alta es de 23 por ciento. El menor valor (20%) se encuentra en la categoría baja. Los otros tres indicadores (población indígena, población en pobreza alimentaria y población en actividades primarias) muestran un mejor comportamiento en cuanto a caracterizar la sensibilidad. Cabe recordar que estos indicadores señalan porcentaje de la población total del municipio para el año 2005. En el caso del porcentaje de población indígena en la categoría muy baja se obtuvo un valor de cero, y va creciendo para ir aumentando la sensibilidad: 5 por ciento para la clase baja, 13 por ciento para la clase media de sensibilidad y 58 y 93 por ciento para las clases alta y muy alta sensibilidad, respectivamente. Para los indicadores de porcentaje de población en pobreza alimentaria y porcentaje de población en actividades primarias el comportamiento es similar, definen una tendencia de aumento en la sensibilidad conforme aumenta sus valores.

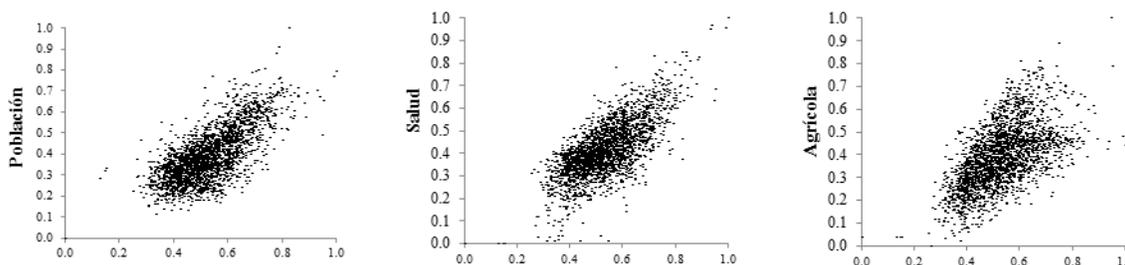


Figura 3-1. Dispersión y correlación para sub índices de población, salud y agrícola, dentro del índice de sensibilidad base.

Se encontró que 74 municipios presentan un valor muy alto en la dimensión de población. Por su parte, 288 municipios se definen con valor alto y 227 con valor medio de severidad en los indicadores de

población. Lo anterior equivale a señalar que 589 municipios (24 por ciento de los municipios del país) observan sensibilidad de media a muy alta en su población. Por la naturaleza de los indicadores prácticamente su severidad se concentra en el sureste del país (ver mapas Anexo 1), principalmente por la elevada presencia de grupos indígenas, dedicación a actividades primarias y bajo ingreso económico que se traduce a elevados niveles de pobreza alimentaria. Los estados de Oaxaca, Chiapas, Guerrero, Veracruz, Puebla e Hidalgo son los que mayor porcentaje de sensibilidad muestran.

Cuadro 3-4. Participación promedio de cada indicador de población según grado de sensibilidad base.

Grado de Sensibilidad	Hogares con jefatura femenina	Porcentaje de Indígenas	Pobreza alimentaria	Población en sector primario
Muy baja	25.70		2.52	0.04
Baja	20.37	4.96	18.37	9.05
Media	21.92	13.57	28.38	11.15
Alta	20.81	58.49	50.26	18.32
Muy Alta	23.25	93.94	64.53	23.20

En lo que se refiere al grupo de indicadores de salud (Cuadro 3-5), el indicador de porcentaje de población con acceso a servicios de salud es el que muestra un comportamiento más errático al describir la sensibilidad. Se obtuvieron valores superiores al 40 por ciento tanto en la categoría muy baja como en muy alta sensibilidad, siendo el indicador que menos ayuda en explicar la sensibilidad del grupo salud. Por su parte, los indicadores de baja talla y bajo peso al nacer permite explicar mejor la tendencia y participación en la sensibilidad. En el grado de sensibilidad muy baja se tiene en promedio 13 por ciento de recién nacidos con baja talla y 7 por ciento con bajo peso. Conforme aumentan los valores en cada indicador se espera que aumente la sensibilidad, para llegar a 53 por ciento o bien al 21 por ciento, respectivamente, en el grado de sensibilidad muy alta. Resultado de lo anterior, se encontró que 620 municipios (25%) presentan un valor de medio a muy alto en el índice de sensibilidad base. En específico, son 111 municipios con valor muy alto, 316 con valor alto y 193 observan un valor medio. La presencia de estos indicadores es mayor en la región sur, sureste y centro del país, resaltando los estados de Oaxaca, Chiapas, Tabasco, Guerrero, Hidalgo, Puebla y la Península de Yucatán. Cabe señalar que también en los estados norteros de Sonora y Chihuahua se observan valores altos de sensibilidad (ver mapa en Anexo 1).

Cuadro 3-5. Participación promedio de cada indicador de salud según grado de sensibilidad base.

Grado de Sensibilidad	Baja Talla	Bajo peso	Servicios de Salud
Muy baja			
Baja	12.99	6.68	41.06
Media	22.33	12.03	32.82
Alta	35.78	17.75	22.11
Muy Alta	53.06	21.40	44.15

Respecto al tercer grupo de indicadores, el sub índice agrícola, se consideró la superficie municipal dedicada al sector primario, las unidades de producción sin riego, los rendimientos de maíz de temporal, la probabilidad de recibir bajas precipitaciones y así bajos rendimientos en cebada, frijol, maíz y sorgo así como la aptitud del municipio para realizar actividades agrícolas, ganaderas o forestales.

Este sub índice fue el que mostró correlación baja con la sensibilidad base (0.58) de acuerdo con los indicadores incluidos. Sin embargo, para todos los indicadores se tiene una tendencia de progresión en su participación para definir los grados de sensibilidad. Así por ejemplo, en el porcentaje de la superficie municipal en el sector primario se tiene un 35 por ciento para la categoría baja y más del doble para el grado de muy alta sensibilidad (Cuadro 3-6). Las unidades de producción que manifestaron no tener algún sistema de riego van desde un 80 por ciento en la categoría de baja sensibilidad hasta un 98 por ciento en la categoría muy alta, mostrando menor participación en la explicación global del índice de sensibilidad base. Los rendimientos promedio (tn/ha) en la producción de maíz de temporal muestran que, a mayor rendimiento es menor el grado de sensibilidad, y viceversa, a menor rendimiento mayor sensibilidad. La probabilidad que se observa para obtener bajos rendimientos en los municipios donde se cultiva cebada, frijol, maíz o sorgo también muestra un aporte significativo para explicar la sensibilidad de los municipios.

Cuadro 3-6. Participación promedio de cada indicador agrícola según grado de sensibilidad base.

Grado de Sensibilidad	Superficie en sector primario	Sin riego	Rendimientos maíz de temporal	Rendimiento en cebada	Rendimiento en frijol	Rendimiento en maíz	Rendimiento en sorgo
Muy baja							
Baja	35.69	80.54	1.43	2.02	9.73	13.15	4.35
Media	51.87	87.89	1.50	4.59	16.06	25.15	11.79
Alta	66.65	94.74	1.11	23.20	21.02	28.64	34.97
Muy Alta	73.83	98.08	1.02	44.70	20.36	33.53	

El total de municipios con índice agrícola de medio a muy alto es de 621, lo que equivale a 25 por ciento del total nacional (ver mapa en Anexo 1). De esta cantidad, 57 municipios se encuentran en la clase muy alto y forman parte de los estados del norte del país: Baja California, Sonora, Chihuahua, Sinaloa, Coahuila, Zacatecas y San Luís Potosí. Aunque no menos importantes son Oaxaca, Puebla, Hidalgo y Querétaro. En la categoría alto se encuentran 249 municipios, con valor medio 315 y 1094 y 740 en baja y muy baja sensibilidad, respectivamente.

Integrando los tres sub índices antes señalados (población, salud y agrícola) bajo la fórmula 2 se obtuvo el índice de sensibilidad para los municipios de México. El comportamiento y participación de los sub índices se muestran en la Figura 3-2. El valor del índice de sensibilidad, al igual que los anteriores, tiene un recorrido que va de 0 a 100, clasificado en cinco rangos: muy bajo (0–20), bajo (21–40), medio (41–60), alto (61–80) y muy alto (81–100). En los rangos muy bajo y bajo se encuentran 4 y 317 municipios, respectivamente. De medio a muy alto se definieron 2134 municipios, 87 por ciento del total nacional (Figura 3-3). En los rangos alta y muy alta sensibilidad se encuentran 602 y 31 municipios, respectivamente. Es decir, el 26 por ciento de los municipios del país observan alta y muy alta valor en su sensibilidad. Los estados cuyos municipios presentan los valores más altos son Oaxaca, Puebla y Guerrero. Sin embargo, también es de resaltar que los estados que muestran valor alto en el índice de sensibilidad son Chiapas, Hidalgo, Guanajuato, San Luís Potosí, Chihuahua, Coahuila, Sonora y Baja California.

Tomando en consideración los quince municipios con menor sensibilidad se observa que la población total para el año 2005 asciende a poco más de 38 mil habitantes. Sonora, Yucatán y Coahuila son los estados que concentran la mayor población en la categoría de baja y muy baja sensibilidad. Sin embargo, en los quince municipios con valor más alto en sensibilidad la población era de 168 mil habitantes en el mismo año, más de cuatro veces que los primeros. En este caso, el Puebla y Oaxaca sobresalen por ser aquellos que más población presentan en esta condición (Cuadro 3-7).

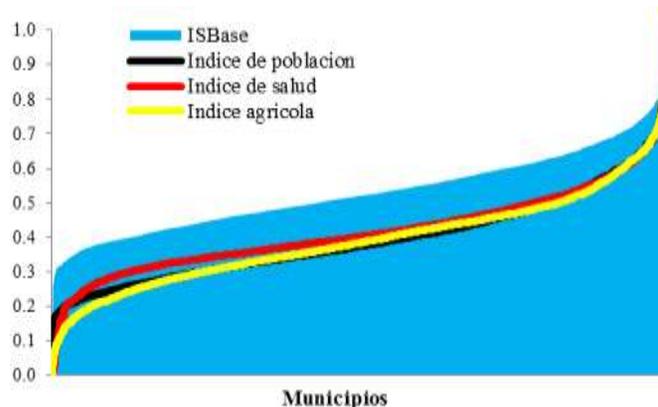


Figura 3-2. Comportamiento del Índice de sensibilidad (base) y subíndices considerados.

Respecto a la población total (censo del año 2005) en cada rango de sensibilidad, con muy alta sensibilidad se encontraban 272,005 de habitantes, con alta exposición 10,770,191 y media 71,252,437 personas. En las últimas dos clases, baja y muy baja sensibilidad, equivalen a 19,697,365. De acuerdo con estos resultados, es posible señalar que más de once millones de personas (10.7%) en el país observan alta y muy alta sensibilidad, principalmente por sus grupos de población, salud y actividades agrícolas. Si se agrega la categoría media (media, alta y muy alta), entonces la población sensible ascendió a poco más de 82 millones de personas, que equivale al 80 por ciento de la población nacional al año 2005.

Cuadro 3-7. Sensibilidad en los 15 municipios menos y mas sensibles así como población (2005)

Valor en Sensibilidad	Municipios menos	Población al 2005	Valor en Sensibilidad	Municipios mas	Población al 2005
0.0000000	San Ignacio Cerro Gordo, Jal.	873	0.84503357	San Sebastián Tlacotepec, Oax.	12174
0.2510039	Aconchi, Son.	1526	0.85673650	San Miguel Chichahua, Pue.	1258
0.2636992	Banamichi, Son.	1048	0.85801105	Coyomeapan, Oax.	15038
0.2670891	Dzilam González, Yuc.	5097	0.85935311	San Francisco Ozolotepec, Pue.	1444
0.2705646	Mezquital del Oro, Zac.	1520	0.87944765	San Juan Ozolotepec, Pue.	1966
0.2763489	Mier, Tams.	4984	0.88415005	San Francisco Logueche, Pue.	4915
0.2791642	Dzán, Yuc.	4531	0.89155460	Astacinga, Ver.	2970
0.2793442	Huépac, Son.	644	0.93079767	San Bartolomé Ayautla, Oax.	3658
0.2896242	Arizpe, Son.	1841	0.93825852	Huauतेpec, Oax.	3525
0.2896520	San Buenaventura, Coah.	14168	0.94926065	Ajalpan, Pue.	92199
0.2901819	Santa María de la Paz, Zac.	1596	0.95394779	Zoquitlán, Pue.	18148
0.2976375	Melchor Ocampo, NL.	655	0.99074142	San Juan Coatzacoapam, Oax.	1252
0.2979310	Tepache, Son.	733	1.00000000	Santa María la Asunción, Oax.	2872

3.2 Sensibilidad futura

Como se señaló en el apartado metodológico, la sensibilidad futura fue estimada aplicando dos modelos de cambio climático, HADGEM1 y MPI ECHAM5, bajo el escenario A2 para el año 2030. En la sensibilidad futura bajo escenarios de cambio climático se utilizaron únicamente los posibles impactos sobre el cambio de aptitud agrícola, ganadera y forestal del país, dentro del grupo agrícola. De tal manera que se aplicaron las formulas (3) y (4) antes descritas para obtener igual número de índices de sensibilidad futura.

Resultado de lo anterior, para el modelo HADGEM1 se bajaron ligeramente las correlaciones con población (0.69) y salud (0.68). En el caso de la dimensión agrícola el valor de correlación mejoró al quedar en 0.62. Para el modelo MPI ECHAM5, la correlación con el grupo de población permanece similar al escenario base (0.70) y se reduce con salud (0.67). Su correlación con el factor agrícola es mayor (0.65) siendo el que mejor se ajusta con el escenario base de sensibilidad.

Al comparar los puntajes obtenidos en la sensibilidad base con los dos futuros se obtuvo que la tendencia se mantiene en la mayoría de los municipios. Sin embargo, es el modelo MPI ECHAM5 el que muestra una tendencia en sus observaciones de que algunos municipios podrán disminuir levemente su sensibilidad, aunque algunos otros la aumentarán (Figura 3-4). De lo anterior se desprende que aquellos municipios con baja sensibilidad en el escenario base podrán mantener la misma tendencia en el futuro. En el caso de aquellos que han mostrado alta sensibilidad es muy probable que la mantengan en el futuro. Salvo algunas excepciones que se comentarán más adelante.

3.2.1 Modelo MPI ECHAM5

Los cambios previstos en el índice futuro de sensibilidad provienen mayormente de los cambios proyectados por el modelo en la aptitud para actividades agrícolas, pecuarias y forestales. Las aptitudes que fueron evaluadas se encuentran con mayor detalle para agricultura en (Monterroso et al., 2011a), ganadería en (Monterroso et al., 2011b) y bosques en (Gómez et al., 2011). La aptitud de la tierra hace referencia al potencial climático y de los suelos para desarrollar alguna actividad productiva, en este caso, agricultura, ganadería y/o alguna actividad forestal. Al incorporar las salidas de los escenarios de cambio climático estos señalan que, de manera general para el país, la temperatura aumentará, mientras que la precipitación aumentará en algunas zonas y disminuirá en otras. Este comportamiento de las variables climáticas modificará la capacidad futura de la tierra, por lo que en aquellos lugares donde se espera que se incremente la temperatura y disminuya la cantidad de lluvia se verán más limitados para producir alimentos, en consecuencia, son más sensibles.

El valor del índice de sensibilidad de acuerdo a este modelo se presenta en un recorrido que va de 0 a 100 y es clasificado en cinco rangos: muy bajo (0–20), bajo (21–40), medio (41–60), alto (61–80) y muy alto (81–100). En los rangos muy bajo y bajo se encuentran cuatro y 872 municipios, respectivamente. De medio a muy alto se definieron 1579 municipios. Lo anterior supone una disminución de 23 por ciento de acuerdo con el escenario base, al quedar el modelo MPI ECHAM5 en 64 por ciento del total nacional (Figura 3-5). En los rangos alto y muy alto se encuentran cinco y 144 municipios, respectivamente. Es decir, se reduce el 20 por ciento de los municipios del país con alta y muy alta exposición, al pasar de 26 a 6 por ciento. Los estados cuyos municipios presentan los valores más altos son Aguascalientes, Oaxaca, Puebla, Guerrero, Veracruz y Chiapas.

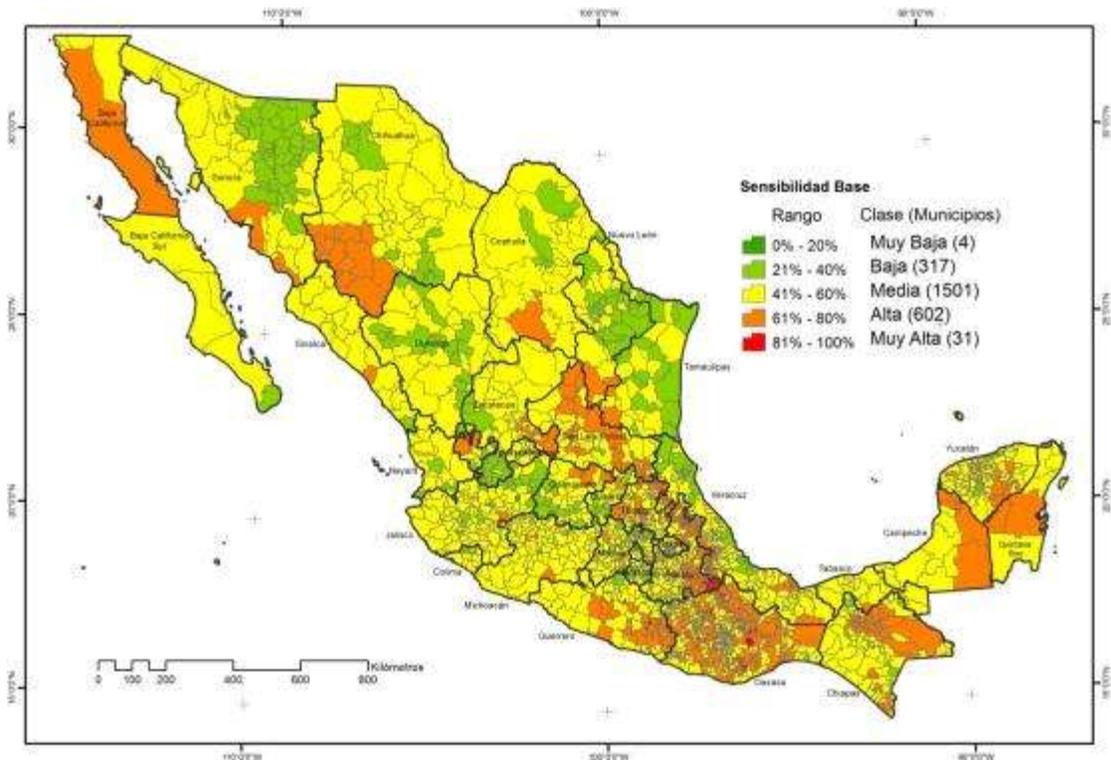


Figura 3-3. Índice de sensibilidad (base)

Respecto a la población total (proyección al año 2030) por rango de exposición futura se encontró que en la clase de muy alta exposición se encontrarán 998,416 habitantes, aumentando en 0.8 por ciento respecto al escenario base. Con alta exposición se hallarán 1,501,892 y media exposición 52,064,989 personas, que significan una disminución de 9 y 23 por ciento, respectivamente. En la última clase, de baja sensibilidad, equivalen a 65,201,550 de personas, es decir, aumenta 34 por ciento respecto del escenario base. Para este escenario y de acuerdo con estos resultados, es posible señalar que más de 2.5 millones de personas (2%) en el país vivirán con alta y muy alta sensibilidad. Si se agrega la categoría media (media, alta y muy alta), entonces la población expuesta asciende a poco más de 54 millones de personas, que equivale al 45 por ciento de la población nacional proyectada al año 2030.

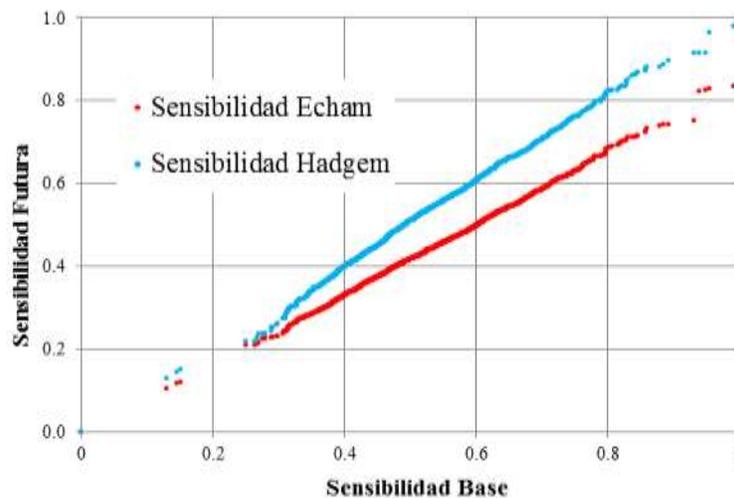


Figura 3-4. Índice de sensibilidad base vs futuros

La cantidad de municipios que se mantiene sin cambio de acuerdo con su clase de exposición es de 1381 (56 por ciento del total nacional), al comparar el escenario base con el modelo MPI ECHAM5. Aquellos municipios que aumentan su exposición son 4 y los que disminuyen de acuerdo al modelo son 1070 (43%). Aquellos municipios que disminuyen su exposición significan poco más de 52 millones y medio de personas. Mientras que los que señalan un aumento de exposición equivalen a poco más de un millón de habitantes (Cuadro 3-8).

Cuadro 3-8. Población total al 2030 según grado de sensibilidad base y futura (MPI ECHAM5)

		Sensibilidad Futura MPI ECHAM5					Total
		Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta	
Sensibilidad Base	Muy baja	0	0	0	0	0	0
	Baja	24,606,959 (314)	75,609 (3)				24,682,568 (317)
	Media	40,594,591 (558)	40,493,333 (942)			987,109 (1)	82,075,033 (1501)
	Alta		11,496,047 (485)	1,137,262 (117)			12,633,309 (602)
	Muy Alta			364,630 (27)	11,307 (4)		375,937 (31)
	Total	0	65,201,550 (872)	52,064,989 (1430)	1,501,892 (144)	998,416 (5)	119,766,847 (2455)

* Entre paréntesis se muestra el total de municipios

3.2.2 Modelo HADGEM1

Similar al modelo MPI ECHAM5, los cambios previstos en el índice futuro de sensibilidad provienen mayormente de los cambios proyectados por el modelo HADGEM1 en la aptitud para actividades agrícolas, pecuarias y forestales. Las aptitudes que fueron evaluadas se encuentran con mayor detalle para agricultura en (Monterroso et al., 2011a), ganadería en (Monterroso et al., 2011b) y bosques en (Gómez et al., 2011).

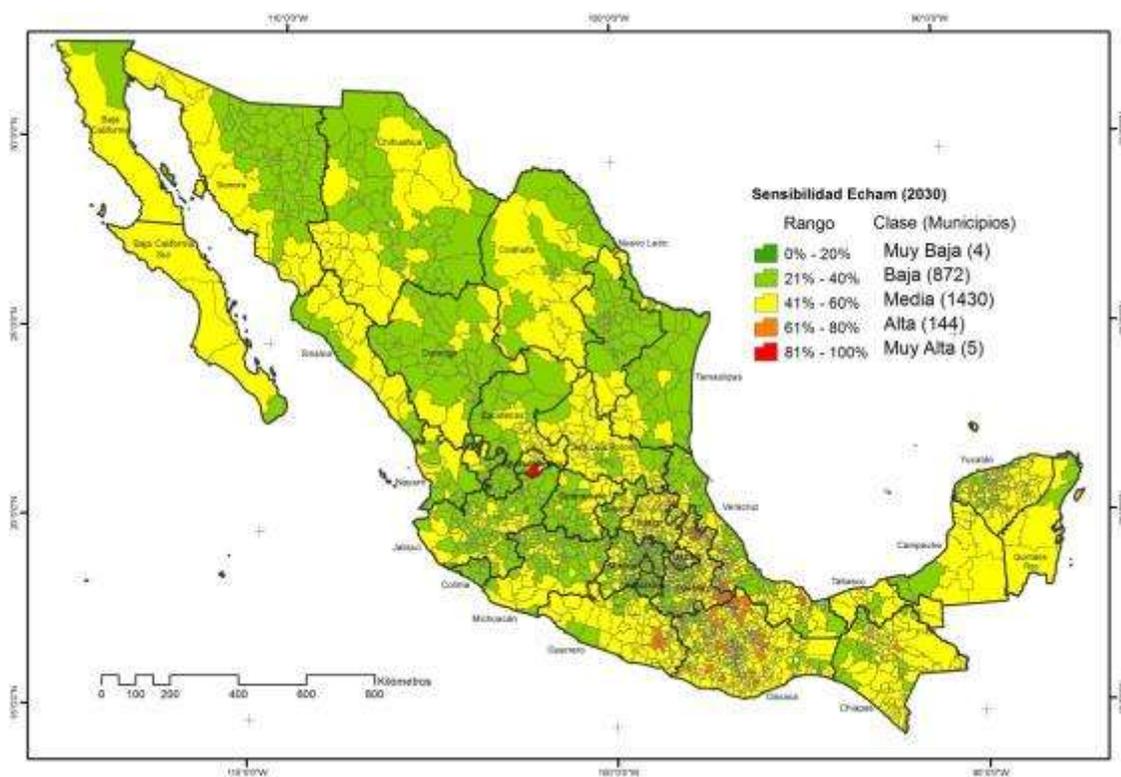


Figura 3-5. Índice de sensibilidad futura (MPI ECHAM5)

El valor del índice de sensibilidad de acuerdo a este modelo también va de 0 a 100 y se clasificó en cinco rangos: muy bajo (0–20), bajo (21–40), medio (41–60), alto (61–80) y muy alto (81–100). En los rangos muy bajo y bajo se encuentran cuatro y 320 municipios, respectivamente. De medio a muy alto se definieron 2131 municipios. Lo anterior supone una disminución de 0.1 por ciento de acuerdo con el escenario base, al quedar el modelo HADGEM1 en 86 por ciento del total nacional (Figura 3-6). En los rangos alto y muy alto se encuentran 42 y 632 municipios, respectivamente. Es decir, aumentó un 1 por ciento al quedar el modelo en 27% de los municipios del país con alta y muy alta sensibilidad. Los estados cuyos municipios presentan los valores más altos son: Oaxaca, Puebla y Guerrero. Sin embargo, también es de resaltar que los estados que muestran valor alto en el índice de sensibilidad son Chiapas, Veracruz, Hidalgo, Guanajuato, San Luis Potosí, Chihuahua y Sonora.

Respecto a la población total (proyección al año 2030) por rango de sensibilidad futura se encontró que en la clase de muy alta sensibilidad se encontrarán 436,826 habitantes, aumentando en 0.1 por ciento respecto al escenario base. Con alta sensibilidad se hallarán 11,295,103 y media sensibilidad 88,856,124 personas, que significan una disminución medio punto porcentual y un aumento de 4 por ciento, respectivamente. En la última clase de baja sensibilidad equivalen a 19,178,794 personas, es decir, disminuye 3 por ciento, respecto del escenario base. Para este escenario y de acuerdo con estos resultados, es posible señalar que más de once millones de personas (9.7%) en el país vivirán con alta y muy alta sensibilidad. Si se agrega la categoría media (media, alta y muy alta), entonces la población sensible asciende a poco más de los 100 millones de personas, que equivale al 85 por ciento de la población nacional proyectada al año 2030.

La cantidad de municipios que se mantiene sin cambio de acuerdo con su clase de exposición es de 2016 (82.1 por ciento del total nacional), al comparar el escenario base con el modelo HADGEM1. Aquellos municipios que aumentan su exposición son 244 (10%) y los que disminuyen de acuerdo al modelo son 195 (7.9%). Aquellos municipios que disminuyen su exposición significan poco más de diez millones de personas. Mientras que los que señalan un aumento de exposición equivalen a poco más de 14.5 millones de habitantes (Cuadro 3-9).

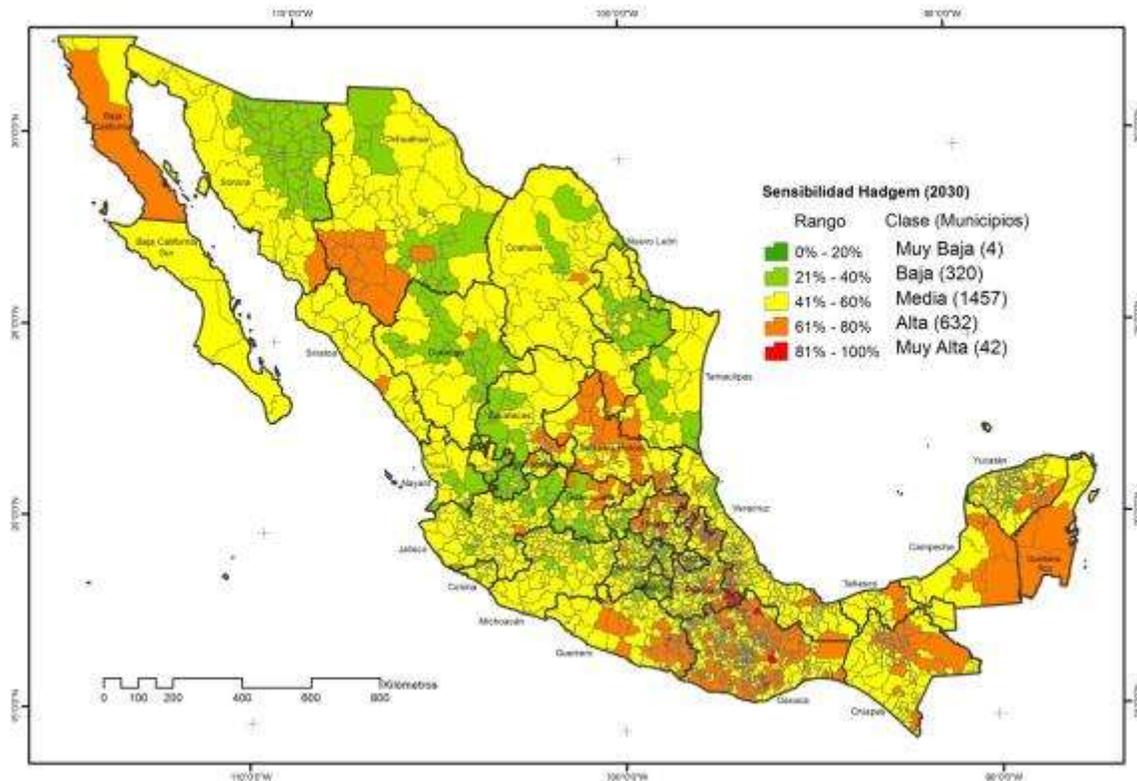


Figura 3-6. Índice de sensibilidad futura (HADGEM1).

La sensibilidad define que tan estresado podrá estar el sistema, en este estudio, por cambio climático. Un sistema cercano a sus límites sensibles sufrirá más daño por cambio climático. En este caso, los munici-

pios de México son sensibles por el impacto del cambio climático sobre la agricultura. Los cambios probables sobre la temperatura y precipitación suponen que la aptitud futura para la agricultura se verá afectada. En México, la capacidad de producir de la tierra ya se encuentra disminuida, principalmente, por la degradación de los suelos. En resumen, actualmente los municipios del país ya son sensibles, y esta sensibilidad aumenta al incorporar escenarios de cambio climático.

Cuadro 3-9. Población total al 2030 según grado de sensibilidad base y futura (HADGEM1)

Grado de Sensibilidad	Sensibilidad futura HADGEM1*					Muy Alta	Total
	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta		
Muy baja	0	0	0	0	0	0	0
Sensibilidad Base	Baja	12,379,490 (218)	12,303,078 (99)				24,682,568 (317)
	Media	6,799,304 (102)	72,961,974 (1270)	2,313,755 (129)			82,075,033 (1501)
	Alta		3,591,072 (88)	8,953,408 (498)	88,829 (16)		12,633,309 (602)
	Muy Alta			27,940 (5)	347,997 (26)		375,937 (31)
	Total	19,178,794 (320)	88,856,124 (1457)	11,295,103 (632)	436,826 (42)		119,766,847 (2455)

* Entre paréntesis se muestra el total de municipios

La magnitud de la sensibilidad, como el grado en que un sistema es afectado en su forma actual, por el cambio o variabilidad climáticos, se manifiesta en los municipios de México de manera distinta. Algunas regiones son más sensitivas que otras. Esto se puede atribuir a diferentes factores, entre los que sobresale la dependencia de los municipios a las actividades primarias (de producción agrícola, ganadera o forestal). Del total de los municipios del país, 1528 (62%) dedican más del 60 por ciento de su superficie a este tipo de actividades, y el 16 por ciento (411 municipios) dedican más del 90 por ciento de su superficie al sector primario. Si se agrega la cantidad de sistemas de riego instalados, en el 60 por ciento de los municipios de México apenas se tienen 100 o menos sistemas de regadío. Lo anterior refleja que la actividad primaria sigue siendo importante en México y que además, depende de las condiciones climáticas naturales para llevarse a cabo. De ahí que sea un grado sensible a cualquier cambio futuro en el clima.

La sensibilidad es un componente de la vulnerabilidad, es el elemento interno que permite su caracterización. La sensibilidad, junto con la exposición, determina el impacto potencial del cambio climático, sin considerar la adaptación. Por eso es importante continuar con los estudios en México sobre vulnerabilidad, pero donde se incluya la exposición y la capacidad adaptativa. Además, es importante trabajar con la incertidumbre que supone trabajar con modelos de cambio climático futuro. Actualmente, solo 817 municipios (33%) presentan algún grado de aptitud para la producción agrícola, el resto (67%) lleva a cabo actividades agrícolas pero bajo condiciones de marginalidad, requiriendo de mayores insumos para la producción. De los escenarios de cambio climático, el modelo MPI ECHAM5 sugiere que serán 811 (33%) y el modelo HADGEM1 766 (31%) los municipios que presentarán algún grado de aptitud futura para continuar haciendo agricultura. Esta incertidumbre en los modelos también debe considerarse al momento de tomar decisiones.

3.3 Grados de Sensibilidad en México

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

- *Muy alta sensibilidad.* El porcentaje de población indígena es de 75 por ciento o mayor en el municipio, su población se encuentra en pobreza alimentaria arriba del 60 por ciento y poco más del 23 por ciento de la población municipal se dedica a actividades primarias. La proyección de población para los municipios es de incremento en más del 15 por ciento. La superficie municipal que se dedica al sector primario es mayor al 70 por ciento y los rendimientos promedios en el cultivo de maíz de temporal son menores a una tonelada por hectárea. La aptitud de la tierra para actividades agrícolas es marginal, para actividades ganaderas también es marginal pero son aptos para actividades forestales. La vulnerabilidad dada por

esperar baja precipitación y bajos rendimientos en cebada es del 44 por ciento, en frijol es 20 por ciento y en maíz 33 por ciento.

- *Alta sensibilidad.* El porcentaje de población indígena es de 60 por ciento o mayor en el municipio, su población se encuentra en pobreza alimentaria arriba del 55 por ciento y poco más del 19 por ciento de la población municipal se dedica a actividades primarias. La proyección de población para los municipios es de incremento en más de 10 a 15 por ciento. La superficie municipal que se dedica al sector primario es mayor a 65 por ciento y los rendimientos promedios en el cultivo de maíz de temporal son de una tonelada por hectárea. La aptitud de la tierra para actividades agrícolas en marginal, para actividades ganaderas también es marginal pero son aptos para actividades forestales. La vulnerabilidad dada por esperar baja precipitación y bajos rendimientos en cebada es del 20 por ciento, en frijol es 20 por ciento, en maíz 28 por ciento y sorgo 34 por ciento
- *Media sensibilidad.* El porcentaje de población indígena es de 23 a 60 por ciento en el municipio, su población se encuentra en pobreza alimentaria del 30 al 55 por ciento y poco más del 13 por ciento de la población municipal se dedica a actividades primarias. La proyección de población para los municipios es de incremento en menos del 10 por ciento. La superficie municipal que se dedica al sector primario es del 50 por ciento y los rendimientos promedios en el cultivo de maíz de temporal son de una a una y media tonelada por hectárea. La aptitud de la tierra para actividades agrícolas y ganaderas o forestales es moderada. La vulnerabilidad dada por esperar baja precipitación y bajos rendimientos en cebada es del 10 por ciento, en frijol es 15 por ciento, en maíz 25 por ciento y sorgo 11 por ciento.
- *Baja sensibilidad.* El porcentaje de población indígena es de 4 a 20 por ciento en el municipio, su población se encuentra en pobreza alimentaria del 20 al 30 por ciento y poco más del 10 por ciento de la población municipal se dedica a actividades primarias. La proyección de población para los municipios es de reducir hasta el 10 por ciento. La superficie municipal que se dedica al sector primario es del 40 por ciento y los rendimientos promedios en el cultivo de maíz de temporal son de una y media tonelada por hectárea. La aptitud de la tierra para actividades agrícolas en moderada, para actividades ganaderas es marginal y es apto para actividades forestales. La vulnerabilidad dada por esperar baja precipitación y bajos rendimientos en cebada es del 5 por ciento, en frijol es 10 por ciento, en maíz 15 por ciento y sorgo 5 por ciento.
- *Muy baja sensibilidad.* El porcentaje de población indígena es menor de 4 por ciento en el municipio, su población en pobreza alimentaria es menor del 10 por ciento y menos del 10 por ciento de la población municipal se dedica a actividades primarias. La proyección de población para los municipios es de reducir hasta el 10 por ciento. La superficie municipal que se dedica al sector primario es menor del 40 por ciento y los rendimientos promedios en el cultivo de maíz de temporal son mayores una y media tonelada por hectárea. La aptitud de la tierra para actividades agrícolas en apta y moderada para actividades ganaderas y forestales. La vulnerabilidad dada por esperar baja precipitación y bajos rendimientos en cebada es del 5 por ciento, en frijol es 10 por ciento, en maíz 15 por ciento y sorgo 5 por ciento, similar a baja sensibilidad.

4. Conclusiones

La sensibilidad al cambio climático fue entendida como el grado en que los municipios del país, su población y las actividades agrícolas, se pueden ver afectados por acción del cambio en el clima. De tal manera que la sensibilidad fue definida como una función de tres dimensiones: atributos de la población, indicadores de salud y como elemento de evaluación en sensibilidad, la actividad agrícola.

Sobre las tres dimensiones se concluye que:

En población, los indicadores de población indígena, población en pobreza alimentaria y población en actividades primarias aportan mayor participación en la sensibilidad de los municipios, mientras que el menor aporte al índice lo da el porcentaje de hogares con jefatura femenina. El 24 por ciento de los municipios del país (589) observan valores de medio a muy alto en los atributos de su pobla-

ción. Su severidad se concentra en el sureste del país, principalmente en los estados de Oaxaca, Chiapas, Guerrero, Veracruz, Puebla e Hidalgo.

Sobre los indicadores de salud, baja talla y bajo peso al nacer aportaron mas participación que el indicador de porcentaje de población con acceso a servicios de salud. El 25 por ciento de los municipios del país (620 municipios) presentan un valor de medio a muy alto en el sub índice salud, es decir, con mayor sensibilidad. La presencia que se debe resaltar de estos indicadores es mayor en la región sur, sureste y centro del país, resaltando los estados de Oaxaca, Chiapas, Tabasco, Guerrero, Hidalgo, Puebla y la Península de Yucatán.

En la dimensión agrícola, el índice agrícola de medio a muy alto está presente en 621 municipios o bien, el 25 por ciento del total nacional con valores altos de sensibilidad. De esta cantidad, 57 municipios se encuentran en la clase muy alta y forman parte de los estados del norte del país: Baja California, Sonora, Chihuahua, Sinaloa, Coahuila, Zacatecas y San Luís Potosí. Aunque no menos importantes son Oaxaca, Puebla, Hidalgo y Querétaro.

A partir de estas dimensiones se construyeron tres índices de sensibilidad: uno para el escenario base y dos que consideraron escenarios de cambio climático.

Sobre el índice de sensibilidad base se concluye que:

En la integración del índice de sensibilidad base se obtuvieron correlaciones positivas con la dimensión de salud, población y dimensión agrícola, en ese orden de importancia.

Actualmente y en los rangos de media a muy alta sensibilidad se definieron 2134 municipios, que representan el 87 por ciento del total nacional. En conjunto representan mas de 80 millones de personas.

En los rangos alta y muy alta sensibilidad se encuentran 602 y 31 municipios, respectivamente. O bien, en el 26 por ciento de los municipios del país se observa alta y muy alta sensibilidad. Con muy alta sensibilidad se encontraban 272,005 habitantes y con alta exposición 10,770,191, según el conteo de población de 2005. Entonces, mas de once millones de personas (10.7%) en el país observan alta y muy alta sensibilidad.

En los quince municipios con valor más alto en sensibilidad la población era de 168 mil habitantes, principalmente en los estados de Puebla y Oaxaca.

Por otra parte, sobre la sensibilidad futura se concluye que:

La sensibilidad futura fue considerada a partir de los posibles cambios sobre aptitud agrícola, ganadera y forestal del país, sugeridos por dos modelos de cambio climático.

De acuerdo con el modelo MPI ECHAM5 y para los rangos de media a muy alta sensibilidad, supone una disminución de 23 por ciento de acuerdo con el escenario base, al quedar en 1579 municipios o 64 por ciento del total nacional.

En los rangos de alta y muy alta sensibilidad se definieron cinco y 144 municipios, respectivamente. Es decir, se reduce el 20 por ciento de los municipios del país con alta y muy alta exposición, al pasar de 26 a 6 por ciento. De acuerdo con el modelo, más de 2.5 millones de personas (2%) en el país vivirán con alta y muy alta sensibilidad, considerando la proyección de la población al año 2030. Si se agrega la categoría media (media, alta y muy alta), entonces la población sensible asciende a poco mas de 54 millones de personas, que equivale al 45 por ciento de la población nacional proyectada al año 2030.

El 56 por ciento de los municipios del país (1381) se mantiene sin cambio de acuerdo con su clase de sensibilidad, al comparar el escenario base con el modelo MPI ECHAM5. Los municipios que aumentan su sensibilidad son 4 y los que la disminuyen son 1070 (43%). Sobre los primeros, los que

umentan, equivalen a poco mas de un millón de habitantes, considerando las proyecciones de población.

De acuerdo con el modelo HADGEM1, en las clases de media a muy alta sensibilidad se definieron 2131 municipios (86%), disminuyendo 1 por ciento de acuerdo con el escenario base.

En los rangos alta y muy alta sensibilidad se encontrarán 42 y 632 municipios, respectivamente. Es decir, aumenta un 1 por ciento los municipios del país con alta y muy alta sensibilidad. De acuerdo con el modelo, más de once millones de personas (9.7%) en el país vivirán con alta y muy alta sensibilidad, considerando la proyección de la población al año 2030. Si se agrega la categoría media (media, alta y muy alta), entonces la población sensible asciende a poco mas de los 100 millones de personas, que equivale al 85 por ciento de la población nacional proyectada al año 2030.

El 82 por ciento de los municipios del país (2016) se mantiene sin cambio de acuerdo con su clase de sensibilidad, al comparar el escenario base con el modelo HADGEM1. Aquellos municipios que aumentarán su exposición son 244 (10%) y los que disminuyen de acuerdo al modelo son 195 (7.9%). Aquellos municipios que disminuyen su exposición significan poco más de diez millones de personas. Mientras que los que señalan un aumento de exposición equivalen a poco mas de 14.5 millones de habitantes

Los resultados muestran que todos los municipios del país muestran algún grado de sensibilidad desde el escenario base y con las tendencias futuras se mantienen o aumentan, pero disminuyen muy poco. Aquellos municipios con baja sensibilidad en el escenario base podrán mantener la misma tendencia en el futuro. En el caso de aquellos que han mostrado alta sensibilidad en el escenario base, es muy probable que la mantengan en el futuro.

Los cambios modelados sobre temperatura y precipitación señalan que la aptitud futura para el sector agrícola se verá afectada. Actualmente, solo 817 municipios (33%) presentan algún grado de aptitud para la producción agrícola; si en el resto (67%) se realizan actividades agrícolas, se harán bajo condiciones de marginalidad, requiriendo de mayores insumos para la producción. De los escenarios de cambio climático, el modelo MPI ECHAM5 sugiere que serán 811 (33%) y el modelo HADGEM1 766 (31%) los municipios que presentarán algún grado de aptitud futura para continuar haciendo agricultura.

Contrario a lo que podría pensarse, la infraestructura instalada no es una variable que explique una menor sensibilidad. De acuerdo con los resultados, no sería adecuado sugerir la ampliación de infraestructura agrícola con el objetivo de disminuir la sensibilidad de los municipios. El nivel de degradación actual de la tierra determina en mayor grado el potencial agrícola de los municipios de México. Es imprescindible impulsar labores de mejoramiento y conservación de suelos, dado que la actividad primaria sigue siendo importante en México y que además, depende en mucho de condiciones naturales para llevarse a cabo.

Este estudio muestra a qué se es sensible y en dónde se encuentran los municipios sensibles. Sin embargo, nuevos estudios más detallados a nivel regional y local deben de llevarse a cabo para promover mejores medidas de adaptación. Una desventaja identificada en el método es la carga que presenta el no contar con indicadores que reflejen el conocimiento local dentro del modelo. Deben encaminarse esfuerzos para que este aspecto pueda ser incluido en futuros estudios.

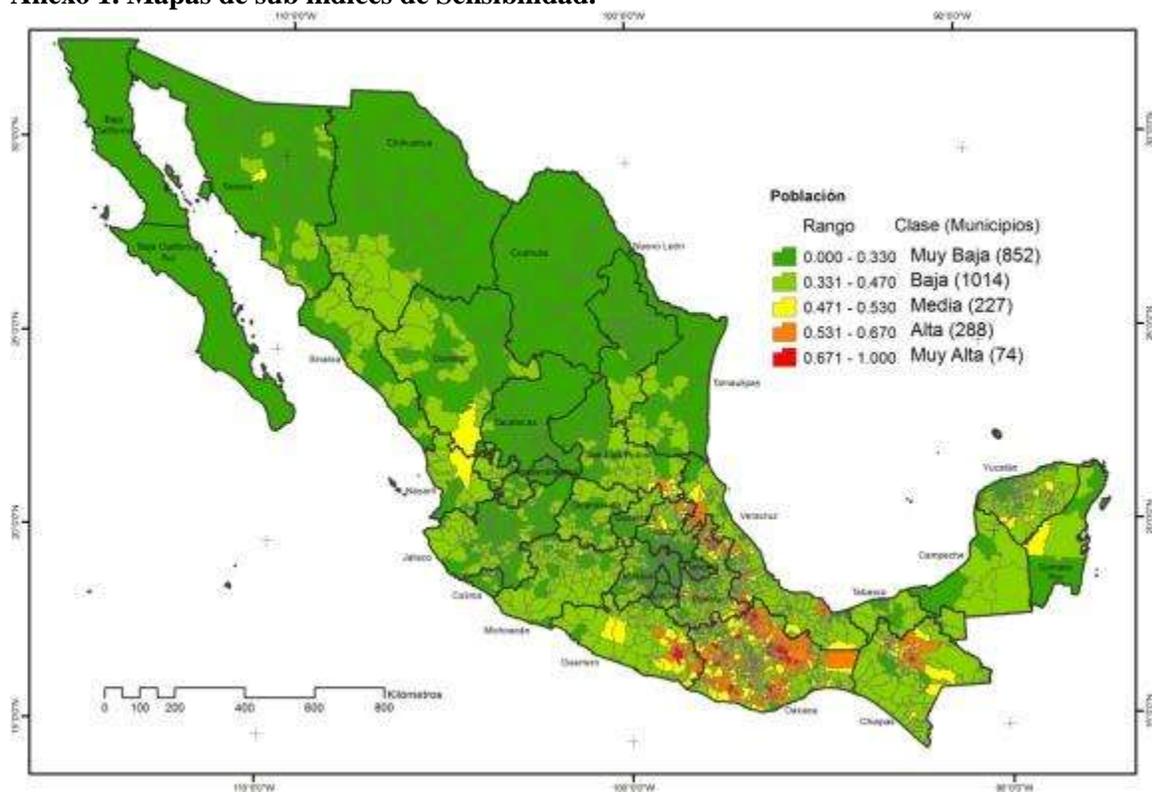
5. Literatura Citada

- Berry, P.M., Rounsevell, M.D., Harrison, P.A. y Audsley, E. (2006) Assessing the vulnerability of agricultural land use and species to climate change and the role of policy in facilitating adaptation. *Environmental science and policy* 9, 189-204.
- Bohle, H.G., Downing, T.E. y Watts, M.J. (1994) Climate change and vulnerability: Toward a sociology and geography of food insecurity. *Global Environmental Change* 4, 37-48.

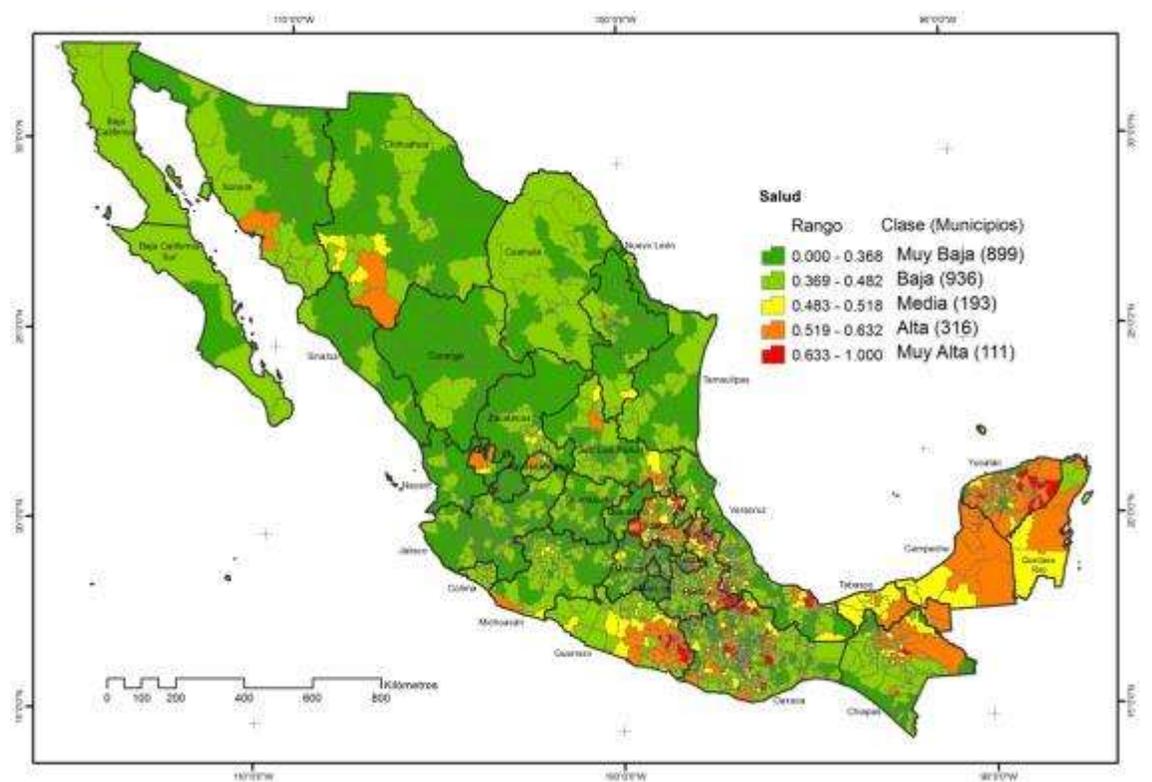
- CONAPO. (2005) Grados de Marginación en México 2005, 1 ed. Consejo Nacional de Población - CONAPO, México D.F.
- CONEVAL. (2008) Informe de Pobreza Multidimensional en México 2008. CONEVAL - Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, México, D.F.
- Cruz, D. (2011) Reporte técnico entregado a Banco Mundial sobre amenazas a sequía, vulnerabilidad agrícola e índice de riesgo en agricultura. Banco Mundial, México D.F.
- Cuttler, S.L. (1996) Vulnerability to environmental hazards. *Progress in Human Geography*. 20, 529-539.
- Downing, T. y Patwardham, A. (2006) Technical paper 3: Vulnerability assessment for climate change adaptation., in: Lim, B., Spanger, E. (Eds.), *Adaptation Policy Framework*. United Nations Development Program., New York, USA, p. 251.
- Gómez, J.D., Monterroso, A.I., Tinoco, J.A., Toledo, M.L., Conde, C. y Gay, C. (2011) Assessing current and potential patterns of 16 forest species driven by climate change scenarios in México. *Atmósfera* 24, 31-52.
- INEGI. (2006) Resultados del Censo de población y vivienda 2005. *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*.
- INEGI. (2008) El Sector Alimentario en México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Aguascalientes, México.
- INEGI. (2009) Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI, Aguascalientes, México.
- INEGI. (2010) Banco de Información Económica. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Aguascalientes, México.
- IPCC. (1996) Summary for policymakers: Scientific-technical analyses of impacts, adaptations and mitigation of climate change., in: Watson, R., Zinyowera, T., Moss, R. (Eds.), *Climate Change 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC. (2007) Summary for Policymakers, in: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., Linden, P.J., Hanson, C.E. (Eds.), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Kelly, P.M. y Adger, W.N. (2000) Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation. *Climatic Change* 47, 325-352.
- Klein, R. y Nicholls, R. (1999) Assessment of coastal vulnerability to climate change. *Ambio* 28, 182-187.
- McCarthy, J., Canziani, O., Leary, N., Dokken, D. y White, K. (2001) *Climate Change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability.*, Cambridge, UK.
- Monterroso, A.I., Conde, C., Rosales, G., Gómez, J.D. y Gay, C. (2011a) Assessing current and potential rainfed maize suitability under climate change scenarios in México. *Atmósfera* 24, 53-67.
- Monterroso, A.I., Gómez, J.D., Toledo, M.L., Tinoco, J.A., Conde, C. y Gay, C. (2011b) Simulated dynamics of net primary productivity (NPP) for outdoor livestock feeding coefficients driven by climate change scenarios in México. *Atmósfera* 24, 69-88.
- O'Brien, K.L., Leichenko, R.M., Kelkar, U., Venema, H.M., Aandahl, G., Tompkins, H., Javed, A., Bhadwal, S., Barg, S., Nygaard, L. y West, J. (2004) Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization un India. *Global Environmental Change* 14, 303-313.
- Parry, M., Canziani, O., Palutikof, J.P. y Coautores. (2007) Resumen técnico. Cambio Climático 2007: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Aportes del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. Cambridge, U.K.
- Smit, B., Burton, I., Klein, R. y Wandel, J. (2009) An anatomy of adaptation to climate change and variability, in: Schipper, L., Burton, I. (Eds.), *The Earthscan reader on adaptation to climate change*. The Earthscan Reader, Sterling VA, USA, p. 459.
- Smithers, J. y Smit, B. (2009) Human adaptation to climatic variability and change., in: Schipper, L., Burton, I. (Eds.), *The Earthscan Reader on Adaptation to climate change*. The EarthscanReader, Sterling VA, USA, p. 459.

Anexos

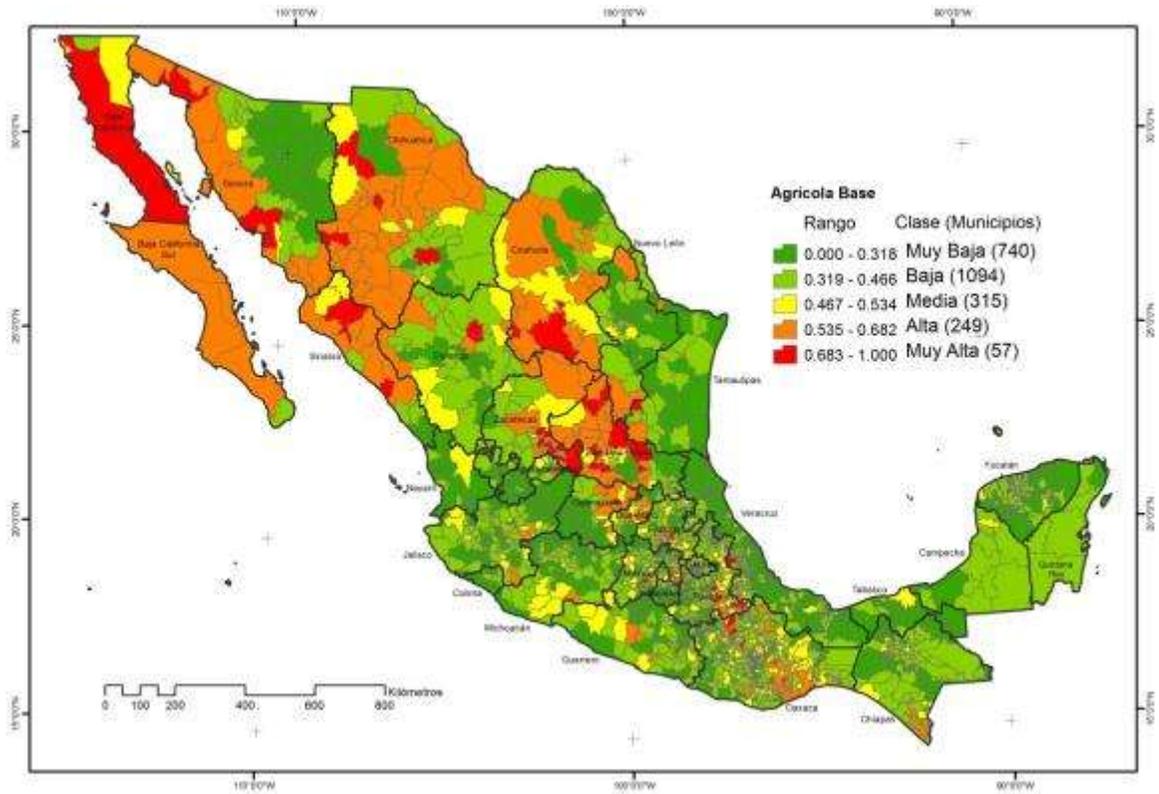
Anexo 1. Mapas de sub índices de Sensibilidad.



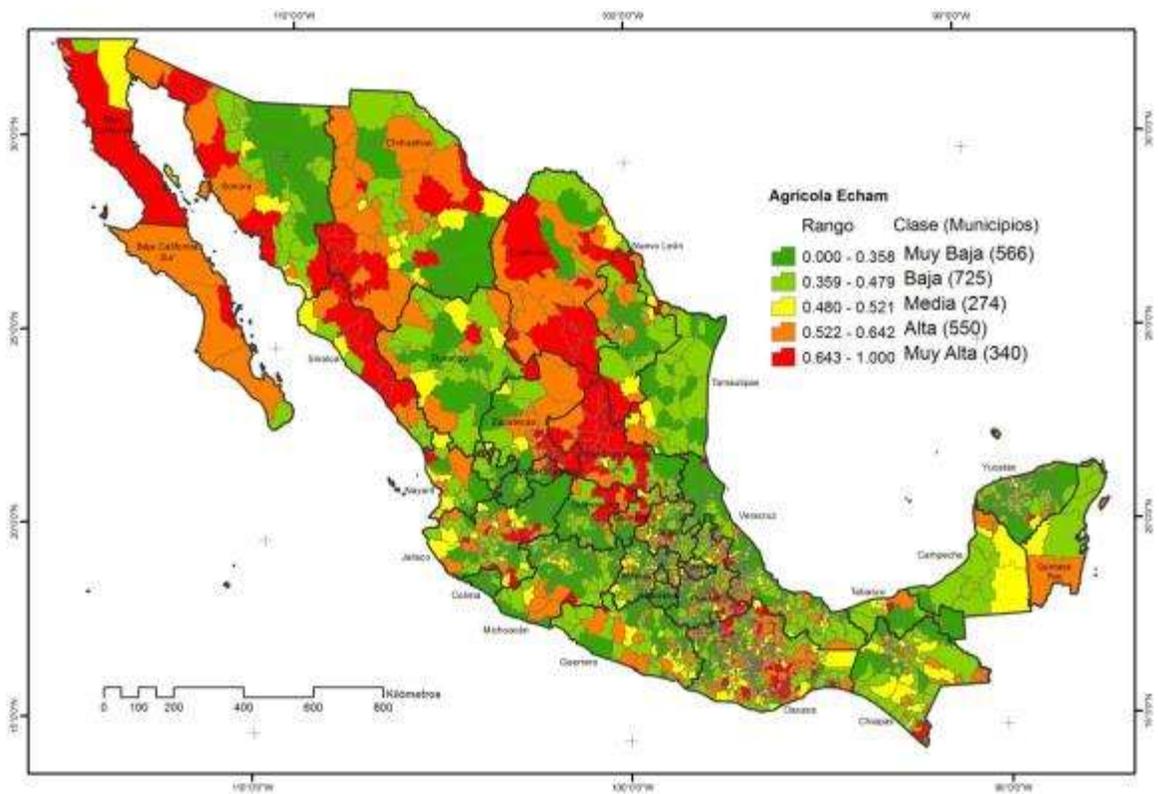
Mapa de sub índice de sensibilidad en población (base).



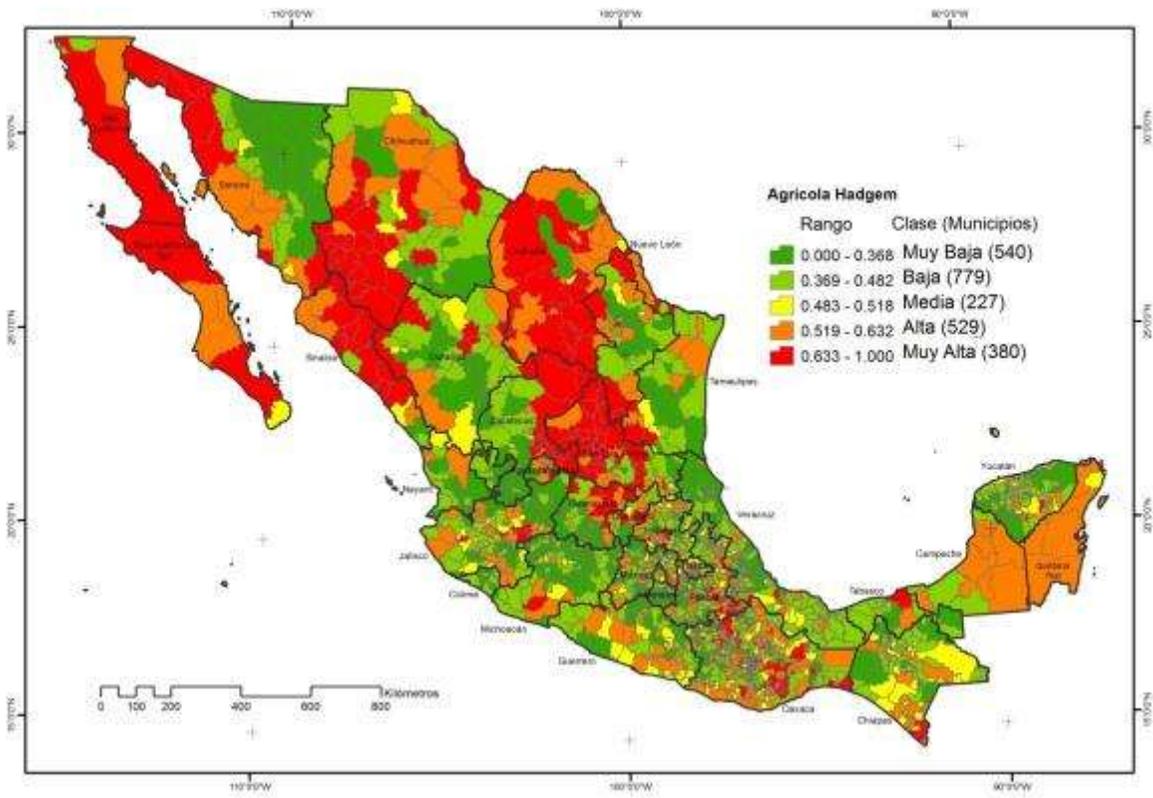
Mapa de sub índice de sensibilidad por salud (base).



Mapa de sub índice de sensibilidad agrícola (base).



Mapa de sub índice de sensibilidad agrícola futuro (MPI ECHAM5).



Mapa de sub índice de sensibilidad agrícola futuro (HADGEM1).

Anexo 2. Información municipal y de población total según severidad en Sensibilidad.

Anexo 2.1. Total de municipios (izquierda) y Población total (derecha) por estado según rango de sensibilidad y escenario base

	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta		Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta	Total
Aguascalientes		1	10			11		82,623	982,793			1,065,416
Baja California			4	1		5			2,430,988	413,481		2,844,469
Baja California Sur		1	4			5		164,162	348,008			512,170
Campeche			7	4		11			619,406	135,324		754,730
Coahuila		6	31	1		38		48,298	2,402,187	44,715		2,495,200
Colima		2	8			10		107,599	460,397			567,996
Chiapas		4	68	46		118		116,881	2,653,811	1,522,767		4,293,459
Chihuahua		10	45	12		67		105,449	2,918,174	217,821		3,241,444
Distrito Federal	3	4	9			16	0	3,986,218	3,463,308			7,449,526
Durango		14	25			39		188,503	1,320,614			1,509,117
Guanajuato		17	24	5		46		2,613,099	2,108,011	172,702		4,893,812
Guerrero		2	50	28	1	81		104,958	2,296,726	703,917	9,601	3,115,202
Hidalgo		1	51	30	2	84		16,493	1,549,419	739,207	40,395	2,345,514
Jalisco	1	26	96	2		125	0	1,532,708	5,159,914	59,491		6,752,113
México		29	92	4		125		3,303,854	10,432,947	270,694		14,007,495
Michoacán		9	101	3		113		295,280	3,630,391	40,402		3,966,073
Morelos		14	19			33		688,469	924,430			1,612,899
Nayarit		4	16			20		459,969	489,715			949,684
Nuevo León		28	21	2		51		2,292,800	1,867,490	39,002		4,199,292
Oaxaca		9	280	263	18	570		21,341	1,696,412	1,725,351	63,717	3,506,821
Puebla		4	124	82	7	217		31,851	3,757,251	1,461,565	132,466	5,383,133
Querétaro		6	11	1		18		454,440	1,118,374	25,325		1,598,139
Quintana Roo			6	2		8			1,037,190	98,119		1,135,309
San Luis Potosí		1	31	26		58		41,052	1,097,643	1,271,719		2,410,414
Sinaloa		1	16	1		18		49,655	2,512,325	46,462		2,608,442
Sonora		40	28	4		72		239,789	1,877,445	277,627		2,394,861
Tabasco			16	1		17			1,947,136	42,833		1,989,969
Tamaulipas		19	22	2		43		1,688,191	1,306,970	29,077		3,024,238
Tlaxcala		11	45	4		60		115,713	917,194	35,300		1,068,207
Veracruz		21	134	54	3	212		694,920	5,437,727	951,741	25,826	7,110,214
Yucatán		13	75	18		106		62,543	1,616,424	139,981		1,818,948
Zacatecas		20	32	6		58		190,507	871,617	305,568		1,367,692
Total	4	317	1501	602	31	2455	0	19,697,365	71,252,437	10,770,191	272,005	101,991,998

Anexo 2.2. Total de municipios (izquierda) y Población total (derecha) por estado según rango de Sensibilidad y escenario MPI ECHAM5, A2 para el 2030

	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta	Total	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta	Total
Aguascalientes		2	8		1	11		198,656	272,351		987,109	1,458,116
Baja California		3	2			5		1,678,038	3,396,948			5,074,986
Baja California Sur		1	4			5		443,544	388,293			831,837
Campeche		2	9			11		337,133	630,129			967,262
Coahuila		19	19			38		582,863	2,471,911			3,054,774
Colima		10				10		733,205				733,205
Chiapas		19	96	3		118		1,543,035	3,658,020	89,174		5,290,229
Chihuahua		40	27			67		2,490,535	1,347,641			3,838,176
Distrito Federal	3	8	5			16	0	5,503,230	1,910,631			7,413,861
Durango		29	10			39		846,632	734,007			1,580,639
Guanajuato		30	16			46		4,626,805	643,578			5,270,383
Guerrero		15	61	5		81		226,165	2,527,948	129,547		2,883,660
Hidalgo		10	70	4		84		398,232	2,075,346	96,274		2,569,852
Jalisco	1	83	41			125	0	3,740,353	4,047,601			7,787,954
México		84	41			125		14,424,246	3,663,814			18,088,060
Michoacán		80	33			113		2,911,473	621,588			3,533,061
Morelos		28	5			33		1,800,046	55,958			1,856,004
Nayarit		12	8			20		797,505	188,824			986,329
Nuevo León		43	8			51		4,959,791	438,596			5,398,387
Oaxaca		59	429	78	4	570		390,459	2,607,321	388,488	11,307	3,397,575
Puebla		44	136	37		217		2,700,749	3,253,486	573,260		6,527,495
Querétaro		11	7			18		1,053,771	1,249,725			2,303,496
Quintana Roo		3	5			8		2,026,912	423,921			2,450,833
San Luis Potosí		9	49			58		332,434	2,262,735			2,595,169
Sinaloa		6	12			18		885,353	1,723,298			2,608,651
Sonora		55	17			72		925,567	1,915,744			2,841,311
Tabasco		2	15			17		668,398	1,496,465			2,164,863
Tamaulipas		31	12			43		3,177,381	646,710			3,824,091
Tlaxcala		18	42			60		428,830	978,120			1,406,950
Veracruz		56	140	16		212		2,780,524	4,365,308	216,944		7,362,776
Yucatán		25	80	1		106		1,244,643	1,135,438	8,205		2,388,286
Zacatecas		35	23			58		345,042	933,534			1,278,576
Total	4	872	1430	144	5	2455	0	65,201,550	52,064,989	1,501,892	998,416	119,766,847

Anexo 2.3. Total de municipios (izquierda) y Población total (derecha) por estado según rango de Sensibilidad y escenario HADGEM1, A2 para el 2030

	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta	Total	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta	Total
Aguascalientes		1	8	2		11		167,336	1,263,754	27,026		1,458,116
Baja California			4	1		5			4,403,324	671,662		5,074,986
Baja California Sur			5			5			831,837			831,837
Campeche			6	5		11			807,229	160,033		967,262
Coahuila		5	32	1		38		31,321	2,836,337	187,116		3,054,774
Colima		2	8			10		19,098	714,107			733,205
Chiapas			73	45		118			3,108,594	2,181,635		5,290,229
Chihuahua		18	36	13		67		267,629	3,337,006	233,541		3,838,176
Distrito Federal	3	1	12			16	0	933,193	6,480,668			7,413,861
Durango		19	19	1		39		185,510	1,393,879	1,250		1,580,639
Guanajuato		16	23	7		46		3,435,741	1,547,966	286,676		5,270,383
Guerrero		2	47	31	1	81		70,034	1,879,665	925,383	8,578	2,883,660
Hidalgo		1	50	31	2	84		21,291	1,724,322	757,129	67,110	2,569,852
Jalisco	1	33	90	1		125	0	1,542,630	6,193,900	51,424		7,787,954
México		35	89	1		125		4,511,986	13,496,883	79,191		18,088,060
Michoacán		20	92	1		113		1,370,290	2,154,334	8,437		3,533,061
Morelos		18	15			33		1,123,356	732,648			1,856,004
Nayarit		6	14			20		628,339	357,990			986,329
Nuevo León		23	27	1		51		1,995,629	3,379,526	23,232		5,398,387
Oaxaca		6	251	286	27	570		40,777	1,576,089	1,672,249	108,460	3,397,575
Puebla		3	127	80	7	217		42,639	5,205,665	1,096,902	182,289	6,527,495
Querétaro		4	14			18		516,468	1,787,028			2,303,496
Quintana Roo			5	3		8			2,163,735	287,098		2,450,833
San Luis Potosí			28	30		58			2,049,512	545,657		2,595,169
Sinaloa			17	1		18			2,570,755	37,896		2,608,651
Sonora		45	26	1		72		531,316	2,292,679	17,316		2,841,311
Tabasco			15	2		17			1,883,351	281,512		2,164,863
Tamaulipas		15	25	3		43		1,077,672	2,725,003	21,416		3,824,091
Tlaxcala		1	53	6		60		3,695	1,320,324	82,931		1,406,950
Veracruz		5	152	50	5	212		325,109	5,929,244	1,038,034	70,389	7,362,776
Yucatán		14	70	22		106		79,943	1,982,704	325,639		2,388,286
Zacatecas		27	24	7		58		257,792	726,066	294,718		1,278,576
Total	4	320	1457	632	42	2455	0	19,178,794	88,856,124	11,295,103	436,826	119,766,847

Anexo 2.4. Promedio de valores en sensibilidad base y con cambio climático por estado.

	Sensibilidad Base	Sensibilidad MPI ECHAM5	Sensibilidad HADGEM1
Aguascalientes	0.5101	0.4965	0.5278
Baja California	0.5408	0.4295	0.5023
Baja California Sur	0.5067	0.4074	0.4996
Campeche	0.5665	0.4711	0.6021
Coahuila de Zaragoza	0.4736	0.3934	0.4877
Colima	0.4368	0.3427	0.4281
Chiapas	0.5638	0.4741	0.5721
Chihuahua	0.5017	0.3938	0.4796
Distrito Federal	0.3839	0.3259	0.4039
Durango	0.4386	0.3460	0.4246
Guanajuato	0.4608	0.3739	0.4573
Guerrero	0.5723	0.4724	0.5746
Hidalgo	0.5849	0.4726	0.5806
Jalisco	0.4417	0.3705	0.4392
México	0.4539	0.3712	0.4455
Michoacán	0.4683	0.3757	0.4485
Morelos	0.4145	0.3428	0.3967
Nayarit	0.4321	0.3863	0.4342
Nuevo León	0.4044	0.3434	0.4202
Oaxaca	0.6024	0.5070	0.6145
Puebla	0.5859	0.4868	0.5903
Querétaro	0.4546	0.3695	0.4438
Quintana Roo	0.5206	0.4408	0.5868
San Luis Potosí	0.5779	0.4773	0.5957
Sinaloa	0.5257	0.4299	0.5118
Sonora	0.4184	0.3411	0.3915
Tabasco	0.5160	0.4371	0.5371
Tamaulipas	0.4254	0.3606	0.4514
Tlaxcala	0.4755	0.4153	0.5182
Veracruz	0.5382	0.4578	0.5536
Yucatán	0.5299	0.4383	0.5448
Zacatecas	0.4593	0.3636	0.4349

CAPÍTULO 4 – CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN EN LOS MUNICIPIOS DE MÉXICO

Resumen

El capítulo trata de un acercamiento en la evaluación de la capacidad adaptativa de los municipios y su gente para hacer frente al cambio climático. El método se organizó en tres etapas: selección de indicadores para evaluar la capacidad de adaptación, obtención de un índice de capacidad adaptativa actual y futura y mapeo de la capacidad de adaptación en los municipios de México. Se seleccionaron cuatro grupos de indicadores organizados en capital humano, capital social, capital financiero y capital natural. En total se seleccionaron 21 indicadores que permitieron clasificar la capacidad de adaptación: cuatro para el grupo capital humano, seis para capital social, ocho para capital financiero y tres para el grupo capital natural. Los indicadores fueron estandarizados estadísticamente para hacerlos comparables entre sí y mediante la aplicación de fórmulas empíricas se obtuvieron dos índices, uno base y uno futuro. Los dos índices fueron normalizados en valores de cero a cien y les fue asignado un valor cualitativo de magnitud. Los resultados fueron cartografiados y representados en mapas del país a escala municipal. Los resultados muestran que en la integración del índice de capacidad de adaptación base se obtuvo una participación mayor con capital humano, seguido por capital financiero, capital natural y por último la dimensión social. De acuerdo con las proyecciones, la capacidad de adaptación futura presenta una tendencia a aumentar, respecto a valores presentes. Para el escenario futuro es posible señalar que más de 63.5 millones de personas en el país (53%) vivirán según la proyección al año 2030 con media a muy baja capacidad de adaptación. Los estados cuyos municipios presentan los valores más bajos de capacidad adaptativa son Chiapas, Oaxaca y Guerrero.

Introducción

La vulnerabilidad es, de acuerdo con el IPCC, “el grado en que los sistemas son capaces o incapaces de afrontar los impactos negativos del cambio climático”, incluyendo la variabilidad y los fenómenos extremos. También se entiende como el grado en que un sistema (o unidad expuesta) puede verse adversamente afectado por un evento dañino (Smithers y Smit, 2009). La vulnerabilidad se encuentra en función del carácter, la dimensión y el índice de variación climática a que está expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación. Así, se puede señalar que los elementos que definen la vulnerabilidad de un sistema son su exposición, su sensibilidad y su capacidad adaptativa, incluidos en una dimensión interna y otra externa (McCarthy et al., 2001; Parry et al., 2007).

La dimensión externa se refiere a la exposición y riesgo a un determinado fenómeno o estresor, mientras que la dimensión interna está representada por la sensibilidad y la capacidad adaptativa del sistema. La vulnerabilidad se relaciona con la capacidad de defensa y seguridad; la capacidad de anticiparse, enfrentar, resistir y recobrase de un determinado impacto o daño. El grado de vulnerabilidad de los sistemas ecológicos o humanos a los cambios en el clima, se encuentra establecido por características internas de cada sistema, como lo es su capacidad de adaptarse (Klein y Nicholls, 1999).

Así, la capacidad adaptativa forma parte de la vulnerabilidad; es uno de los tres factores que permiten caracterizarla junto con la sensibilidad y la exposición (IPCC, 2007). La capacidad adaptativa describe la habilidad de un sistema de ajustarse a condiciones actuales o esperadas, o bien, de enfrentar las consecuencias. Luers et al., (2003) sugieren que es la capacidad de un sistema en modificar sus circunstancias para moverse a una condición menos vulnerable. Puede considerarse una función de la salud, tecnología, educación, información, habilidad, infraestructura, acceso a recursos, estabilidad y capacidad de manejo (Brooks et al., 2005b; McCarthy et al., 2001; O'Brien et al., 2004a) dentro de un sistema.

El propósito de estudiar la capacidad adaptativa de un país o una región es buscar dirigir la adaptación en aquellas zonas con mayor exposición o menor capacidad adaptativa (Smit, 2006). Dos enfoques han sido aplicados para comprender la capacidad adaptativa: inicialmente un escenario, o de arriba para abajo, se usaba para comprender que tan peligroso es el cambio climático, y más recientemente, un sistema, o de abajo para arriba, es analizado para comprender la mejor manera de adaptarse al cambio climático (Huq y Reid, 2009). Sin embargo, no existe un listado de indicadores que permita analizar la capacidad adaptativa, Brooks y Adger (2006) sugieren que deben ser confeccionados en cada caso particular. Aun así, los indicadores seleccionados proveerán información útil de los factores, procesos y estructuras que aumentan o disminuyen la capacidad adaptativa (Adger et al., 2007; Eriksen y Kelly, 2007). Un ejemplo de aplicación de indicadores para medir la capacidad adaptativa lo presenta O'Brien et al., (2004a), quienes evaluaron indicadores biofísicos, socioeconómicos y tecnológicos que influyen en la producción agrícola.

La capacidad adaptativa puede tener dos dimensiones, una genérica y otra específica. La primera se refiere a indicadores del tipo educación, ingreso y salud, mientras que la última hace referencia a indicadores particulares sobre un determinado impacto (sequía, inundación) y se puede relacionar con instituciones, conocimiento y tecnología (Adger et al., 2007; Tol y Yohe, 2007) características de ese sistema.

2. Materiales y Métodos

Se trabajó en tres etapas: selección de indicadores para evaluar la capacidad adaptativa al cambio climático, obtención de dos índices de capacidad de adaptación al cambio climático y mapeo de la capacidad adaptativa frente a cambio climático en los municipios de México. El objetivo fue aplicar indicadores actuales y proyecciones futuras que permitieran evaluar la capacidad para afrontar el cambio climático en los municipios de México, representando así la capacidad adaptativa actual y futura. Se seleccionaron indicadores en cuatro grupos: el primero sobre capital humano, el segundo sobre capital social, el tercero sobre capital financiero y el último sobre capital natural³.

Las principales fuentes de información fueron el Instituto Nacional de Estadística y Geografía en su censo agrícola, pecuario y forestal (INEGI, 2009) así como del conteo de población y vivienda (INEGI, 2006) y el Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2001, 2005, 2006). La información fue procesada geográficamente en ArcGis (versión 10) y estadísticamente en PASW Statistics (versión 18). El proceso se detalla en los siguientes apartados.

³ En este trabajo hago referencia a “capital” como aquel almacén, contenido, reserva o potencial que puede producir un flujo de bienes y servicios capaz de aumentar la capacidad de adaptarse a posibles cambios futuros. Así, el capital humano pretende mostrar el nivel educativo de las personas; el capital social evalúa el grado de organización de la población; el capital financiero intenta medir la situación financiera y el capital natural pretende evaluar el estado actual de los ecosistemas. Todos ellos en el sentir de que es posible traducirlos en mayor capacidad para enfrentar el cambio climático.

2.1 Selección de indicadores

La capacidad adaptativa de una sociedad refleja su habilidad para modificar sus características o comportamientos para enfrentar de una mejor manera, o anticiparse a los factores que lo impulsan, el cambio climático. Se refiere entonces a la capacidad de enfrentar los efectos negativos del cambio climático y al potencial de implementar medidas que ayuden a disminuir los posibles impactos identificados. Para caracterizar lo anterior en los municipios de México se consideraron 21 indicadores en cuatro grupos: a) los que incluyen al capital humano, b) los que se refieren al capital social, c) los indicadores del capital financiero y d) los del grupo capital natural. En el Cuadro 4.1 se presenta información de los indicadores utilizados.

Dentro del capital humano se evaluó el grado de educación de las personas en los municipios. Incluye el nivel de alfabetización en cuanto al porcentaje de población mayor de 15 años que sabe leer, la asistencia a escuelas por población de seis a 24 años y la tasa de alfabetización reportada para los municipios del país. Se incluyeron considerando que al incrementarse las capacidades de comunicación de la gente así como el acceso a información se mejora su capacidad de enfrentar adversidades. La fuente fue el Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2005) e INEGI (2006). También se incluyó el indicador de proyección de la población por municipio para el año 2030 tomado de CONAPO (2006) y sugiere la tendencia de cambio en la cantidad de población dentro de un municipio para ese año. La idea de su uso recae en que a mayor crecimiento de la población será mayor la demanda de alimentos, vestido y empleo entre otros, por lo que puede significar mayor cantidad de gente expuesta y en consecuencia vulnerable.

El grupo de indicadores de capital social comprende las redes conformadas por estos y que permiten el acceso a información, recursos, capacitación y créditos, entre otros. Facilitan la cooperación en temas colectivos, donde la adopción de tecnologías puede ayudar a hacer frente a los cambios. Está representado por seis indicadores: porcentaje de unidades de producción⁴ que están organizadas, porcentaje de unidades que están sin litigios por la tierra, porcentaje de unidades que señalaron no hacerles falta capacitación técnica, porcentaje de unidades sin problemas de acreditar propiedad de la tierra, existencia de unidad de protección civil en el municipio así como de un mapa que muestre las zonas amenazadas a peligros naturales también en el municipio. El primer indicador se refiere al porcentaje de unidades de producción en un municipio y que se encuentran organizadas para poder acceder a algún tipo de apoyo. Se obtuvo la información de INEGI a partir del censo agrícola, ganadero y forestal de 2007 (INEGI, 2009). La hipótesis sobre su uso es que a mayor cantidad de organizaciones de productores dentro de un municipio se tiene mayor capacidad de solicitar y acceder a recursos económicos, por lo que se está en mejores condiciones para enfrentar adversidades de índole climático y en consecuencia menor será su vulnerabilidad. El indicador de litigios por la tierra refleja a los municipios con disputas actuales por definir sus linderos, por lo que son identificados como más vulnerables en comparación con aquellos municipios que si tienen seguridad en sus límites territoriales. Similar al anterior es el indicador de acreditación de la tierra, que se refiere a aquellas unidades de producción dentro de un municipio que pueden demostrar que son propietarios de alguna superficie de tierra. Los dos indicadores anteriores fueron obtenidos de INEGI (2009). El indicador de capacitación toma en cuenta el porcentaje de productores en un municipio que no señalaron en el censo agrícola, ganadero y forestal de INEGI (2009) falta de capacitación técnica para la producción. Lo anterior denota alguna fortaleza en la adopción de tecnologías eficientes para la producción y en consecuencia mayor capacidad de adaptación y de enfrentar el cambio climático. Se incluyó también el indicador de existencia de una unidad de protección civil y de un mapa que muestre las zonas con mayor riesgo de sufrir un fenómeno natural. La fuente fue SEDESOL (2010) y se incluyeron debido a que sugieren capacidad técnica y de personal para enfrentar adversidades.

El tercer grupo de indicadores hace referencia al capital financiero. Los indicadores proveen información general de la situación financiera de los municipios y de sus habitantes, buscando identificar las regiones que se encuentran mejor preparadas en este aspecto para responder a adversidades de índole climático. Los indicadores trabajados fueron ocho: acceso a créditos, remesas del extranjero, ahorro, crédito y seguro, apoyos gubernamentales per cápita, ingreso y producto interno bruto del año 2000 y su proyección al 2030. El indicador de acceso a créditos se refiere al porcentaje de las unidades de producción que no reportaron en el censo agrícola, ganadero y forestal del INEGI (2009) haber tenido algún inconveniente para acceder a algún crédito. El indicador refleja la problemática actual para acceder a algún tipo de crédito por parte de los productores rurales, por lo que entre mayor es el número de unidades de producción sin inconvenientes para

⁴ INEGI define a las Unidades de Producción como el “conjunto formado por los terrenos, con o sin actividad agropecuaria o forestal en el área rural o con actividad agropecuaria en el área urbana, ubicados en un mismo municipio; los animales que se posean o críen; así como los equipos, maquinarias y vehículos destinados a las actividades agrícolas, pecuarias o forestales; siempre que durante el periodo de marzo a septiembre del 2007, todo esto se haya manejado bajo una misma administración”, para el censo agrícola, pecuario y forestal realizado en el año 2007. El INEGI reportó ese año la cantidad de 5 548 845 unidades de producción en el país.

acceder a créditos mayor será su capacidad de adaptación. El indicador de remesas hace referencia al total de unidades de producción de un municipio que reportaron recibir remesas de otros países. Supone que la unidad de producción puede contar con recursos económicos que coadyuven tanto en la producción agrícola, la calidad de vida o bien para enfrentar alguna contingencia climática, resultando así en mayor capacidad de enfrentar cambios en comparación de quien no las recibe. Es un indicador que sugiere además que las remesas recibidas son gastadas, al menos mayormente, dentro del mismo municipio, permitiendo mantener más activa la economía local. El indicador de ahorro comprende las unidades de producción que reportaron tener algún tipo de reserva económica, lo que sugiere que a mayor cantidad de ahorro se cuenta con mayor capacidad de hacer frente a alguna eventualidad climática o de otro tipo, por consecuencia son unidades con mayor capacidad. El indicador de crédito considera a los municipios que reportaron en el censo haber tenido cobertura de algún tipo de crédito y/o seguro. Supone que aquellas unidades que reportan contar con alguna protección son más adaptables que aquellas que no lo tienen. Los apoyos per cápita se incluyeron como indicador de la cantidad de recursos económicos recibidos por programas gubernamentales, donde solo se incluyen el Programa de Empleo Temporal (PET), el Programa de Apoyo al Campo (PROCAMPO) y el Programa de Apoyo a Contingencias Climatológicas (PACC), para los años 2007 al 2009. Se utilizó el indicador como una medida de recursos económicos extraordinarios que reciben los municipios y sus habitantes, resultando en mayor capacidad económica que si no se recibieran. Se incluyó también el producto interno bruto en los municipios como un indicador financiero de los ingresos municipales, tanto para el año 2000 como su proyección para el año 2030, tomados de UNIATMOS (Fernandez et al., 2009). Por último, el indicador de ingreso se refiere al porcentaje de la población ocupada en el municipio con ingresos mayores a dos salarios mínimos mensuales. Un municipio con porcentaje elevado de su población con esa cantidad de ingreso mensual cuenta con mayor capacidad económica para hacer frente a adversidades climáticas anormales, por lo que observa mayor capacidad de adaptación que otros municipios.

Dentro del grupo de capital natural se incluyeron tres indicadores: superficie con bosques y/o selvas, superficie reforestada y recarga de acuíferos. Los dos primeros fueron tomados de INEGI (2005, 2009) mientras que el último de CONAGUA (2009). Se incluyeron como una referencia del grado de conservación de los bosques, selvas y acuíferos, y su capacidad de continuar otorgando servicios ambientales a las personas. A mayores porcentajes de superficies con vegetación se cuenta con mayor capacidad productiva y de servicios ambientales, traduciéndose en mayor capacidad de adaptación por la gente en los municipios.

2.2 Construcción del índice de Capacidad Adaptativa

La capacidad adaptativa mide la habilidad para enfrentar los efectos negativos del cambio climático y el potencial de implementar medidas que ayuden a disminuir los posibles impactos identificados. Para representar dicha capacidad en los municipios de México se propusieron cuatro grupos de indicadores, aquellos que se refieren a los atributos de crecimiento y desarrollo de la población conforman el capital humano, los que tratan sobre la organización y tenencia de la tierra conforman el capital social, los que se refieren al acceso a créditos e insumos se agruparon en el capital financiero y los que describen la riqueza natural se concentraron en el capital natural. Se incluyeron dos indicadores proyectados al futuro: la proyección del cambio en la población municipal para el año 2030 y la proyección del producto interno bruto para el mismo año. En esta investigación se consideró entonces que la capacidad de adaptación en los municipios de México se encuentra en función del capital humano, el capital social, el capital financiero y el capital natural, como se puede representar en la siguiente fórmula:

$$\text{Capacidad Adaptativa} = f(\text{capital humano, capital social, capital financiero, capital natural}) \quad (1)$$

De acuerdo con los indicadores seleccionados (Cuadro 4-1) se obtuvieron seis subíndices, cuatro para condiciones base y dos para condiciones futuras. Todos los subíndices fueron calculados con fórmulas empíricas. Para representar el capital humano base (CH) se consideraron tres indicadores: porcentaje de personas del municipio de 15 años o más que sabe leer, porcentaje de asistencia a escuela por población de 6 a 24 años y tasa de alfabetización por municipio. Por su parte, el capital humano futuro (CHF) consideró, además de los anteriores, el porcentaje de cambio en la población total del municipio entre el año 2005 y la estimada para 2030.

Cuadro 4-1. Indicadores seleccionados para evaluar la capacidad adaptativa frente a cambio climático

Indicador	Descripción y fuente	Hipótesis
A) Capital Humano:		
C1. Alfabetismo	Porcentaje de personas del municipio de 15 años o más que sabe leer, tomado de CONAPO (2005).	A mayor porcentaje de personas que saben leer mayor capacidad de adaptación.
C2. Escolaridad	Porcentaje de asistencia a escuela por población de 6 a 24 años, tomado de INEGI (2006).	A mayor porcentaje de personas que asiste a la escuela mayor capacidad de adaptación.
C3. Alfabetización	Tasa de alfabetización por municipio (CONAPO, 2005)	A mayor porcentaje en la tasa de alfabetización mayor capacidad de adaptación.
C4. Cambio en población	Porcentaje de cambio en la población total del municipio entre el año 2005 y la estimada para 2030, de CONAPO (2006).	A mayor crecimiento de la población menor será su capacidad de adaptación.
B) Capital Social:		
C5. Organización	Porcentaje de las unidades de producción del municipio organizadas para acceder a algún apoyo, según INEGI (2009).	A mayor cantidad de unidades organizadas mayor capacidad de adaptación.
C6 Litigios por tierra	Porcentaje de las unidades de producción del municipio que no señalan litigio o disputas por la tierra, según INEGI (2009).	A mayor porcentaje de unidades sin disputas por la tierra mayor capacidad de adaptación.
C7. Capacitación	Porcentaje de las unidades de producción del municipio que no señalaron falta de capacitación, según INEGI (2009).	A mayor porcentaje sin falta de capacitación mayor será su capacidad de adaptación.
C8. Propiedad de tierras	Porcentaje de las unidades de producción del municipio sin dificultad para acreditar posesión de la tierra, INEGI (2009).	A mayor porcentaje de unidades con seguridad en propiedad mayor será su capacidad adaptativa.
C9. Protección Civil	Existencia de una unidad de protección civil en el municipio, de acuerdo con SEDESOL (2010).	Si existe la unidad de protección civil mayor será la capacidad de adaptarse.
C10. Amenazas	Existencia de un mapa que muestra las principales amenazas naturales en el municipio, según SEDESOL (2010).	Si existe un mapa de amenazas mayor será su capacidad de adaptación.
C) Capital Financiero:		
C11. Acceso a crédito	Porcentaje de unidades de producción del municipio sin dificultad para acceder a crédito, según INEGI (2009).	A mayor porcentaje mayor capacidad de adaptación.
C12. Remesas	Porcentaje de unidades de producción del municipio que reciben remesas de otros países, según INEGI (2009).	A mayor porcentaje mayor capacidad de adaptación.
C13. Ahorros	Porcentaje de unidades de producción del municipio que reportaron algún tipo de ahorro, según INEGI (2009).	A mayor porcentaje mayor capacidad de adaptación.
C14. Crédito	Porcentaje de unidades de producción del municipio con cobertura de crédito y seguro, según INEGI (2009).	A mayor porcentaje mayor capacidad de adaptación.
C15. Apoyos	Total de apoyo económico per cápita en el municipio por Procampo, Pet, Pacc, entre 2007 y 2009. (Cruz, 2011)	A mayor cantidad de apoyo mayor capacidad de adaptación.
C16. PIB 2000	Producto interno bruto por municipio para el año 2000, (Fernandez et al., 2009)	A mayor producto mayor capacidad de adaptación.
C17. Ingreso	Porcentaje de población con ingreso mayor a dos salarios mínimos mensuales, según, INEGI (2006).	A mayor porcentaje mayor capacidad de adaptación.
C18. PIB 2030	Producto interno bruto estimado para 2030, tomado de Uniatmos (Fernandez et al., 2009).	A mayor producto mayor capacidad de adaptación.
D) Capital Natural:		
C19. Bosque y selvas	Superficie total del municipio con presencia de bosques y/o selvas (INEGI, 2009).	A mayor superficie mayor capacidad de adaptación.
C20. Reforestación	Superficie reforestada en el municipio (INEGI, 2005).	A mayor superficie mayor capacidad de adaptación.
C21. Acuíferos	Estimación de la relación entre recarga / extracción de los acuíferos, según CNA (2009)	A mayor recarga mayor capacidad de adaptación.

Para representar el capital social (CS) se consideró a seis indicadores: porcentaje de las unidades de producción del municipio organizadas para acceder a algún apoyo, porcentaje de las unidades de producción del municipio que no señalan litigio o disputas por la tierra, porcentaje de las unidades de producción del

municipio que no señalaron falta de capacitación, porcentaje de las unidades de producción del municipio sin dificultad para acreditar posesión de la tierra, existencia de una unidad de protección civil en el municipio, y existencia de un mapa que muestra las principales amenazas naturales en el municipio. Para este grupo no fue posible proyectar a futuro algún indicador.

Por su parte, el capital financiero base (CF) consideró a siete indicadores: porcentaje de unidades de producción del municipio sin dificultad para acceder a crédito, porcentaje de unidades de producción del municipio que reciben remesas de otros países, porcentaje de unidades de producción del municipio que reportaron algún tipo de ahorro, porcentaje de unidades de producción del municipio con cobertura de crédito y seguro, promedio de apoyo económico *per capita* en el municipio por PROCAMPO, PET, PACC, entre 2007 y 2009, porcentaje de población con ingreso menor a dos salarios mínimos mensuales, y el producto interno bruto por municipio para el año 2000. Para el capital financiero futuro (CFF) se consideraron los anteriores, reemplazando al producto interno bruto por el producto interno bruto estimado para 2030.

El capital natural (CN) tomó tres indicadores y por su naturaleza no fue posible proyectar alguna información a futuro: superficie total del municipio con presencia de bosques y/o selvas, superficie reforestada en el municipio y estimación de la relación entre recarga / extracción de los acuíferos. En el Cuadro 4-2 se presenta información de las unidades de medida de los indicadores, los valores mínimos, máximos, el rango que los separa así como la desviación estándar de cada uno de los indicadores.

En los indicadores se prestó especial atención a que el valor máximo de cada variable reflejara la máxima capacidad de adaptación. En los escenarios futuros no se consideraron probabilidades o riesgos futuros por estar fuera del contexto que se busca reflejar en el índice. Todos los valores (C1...C21) fueron estandarizados para eliminar las escalas de cada indicador de acuerdo con:

$$Z = (X_i - X) / DS \quad (2)$$

Donde Z representa el valor estandarizado, X_i el valor observado, X el valor medio del conjunto de valores i , y DS la desviación estándar del conjunto de valores i . Con los indicadores estandarizados se procedió a obtener sub índices, para cada grupo o dimensión definida: humano, social, financiero y natural. Cada uno de ellos fue calculado bajo una media aritmética de sus indicadores.

Una vez obtenidos los sub índices, se estimaron dos índices de capacidad de adaptación. El primero buscó identificar la capacidad de adaptación base (ICAB) mientras que el otro la capacidad futura (ICAF). Para la construcción del índice de capacidad adaptativa base se aplicaron los subíndices obtenidos anteriormente mediante:

$$ICAB = (CH + CS + CF + CN) \quad (3)$$

La construcción del índice de capacidad de adaptación futura (ICAF) consideró las proyecciones futuras de población y PIB, de acuerdo con:

$$ICAF = (CHF + CS + CFF + CN) \quad (4)$$

Por último, los dos índices finales (ICAB e ICAF) fueron normalizados a valores entre 0 y 100 de acuerdo con la fórmula:

$$N = (X_i - X_m) / (X_M - X_m) \quad (5)$$

Donde N es el valor normalizado entre 0 y 100, X_i es el valor observado, X_m es el valor mínimo observado y X_M el valor máximo observado en el conjunto de datos i .

Cuadro 4-2. Valores estadísticos de los indicadores de capacidad adaptativa

Dimensión	Indicador	Clave	Medida	Min	Max	Rango	Desv. Std
Capital	Alfabetismo	C1	%	24	98	75	11.04
Humano	Escolaridad	C2	%	40	83	43	5.71
	Alfabetización	C3	%	24	98	74	11.03
	Cambio en población	C4	%	-69	440	509	43.17
Capital	Organización	C5	%	41	100	59	4.68
Social	Litigios por tierra	C6	%	72	100	28	1.00
	Capacitación	C7	%	25	100	75	8.57
	Propiedad de tierras	C8	%	13	100	87	2.29
	Protección Civil	C9	Presencia	0	1	1	0.46
	Amenazas	C10	Presencia	0	1	1	0.47
Capital	Acceso a crédito	C11	%	14	100	86	11.89
Financiero	Remesas	C12	%	0	37	37	4.48
	Ahorros	C13	%	0	40	40	2.77
	Crédito	C14	%	0	100	100	28.41
	Apoyos	C15	Total	0	50361	50361	2862.00
	PIB 2000	C16	Dólares	1536	64888740	64887204	7741860.96
	Ingreso	C17	%	1	91	90	18.07
	PIB 2030	C18	Dólares	6871	127791000	127784129	15710000.00
Capital	Bosque y selvas	C19	Ha	0	106352	106352	6181.04
Natural	Reforestación	C20	Ha	0	3385	3385	198.91
	Acuíferos	C21	-	-412	20500	20912	4606.11

2.3 Mapeo de la Capacidad Adaptativa al cambio climático en México

Una vez se construyeron los índices de capacidad de adaptación actual y futura, a cada municipio del país le fue asignado el valor obtenido, permitiendo jerarquizar los municipios. El rango de valores final fue dividido en cinco grupos de acuerdo a una distribución geométrica de las frecuencias y a cada grupo se le asignó un indicador cualitativo de magnitud en su capacidad de adaptación:

Cuadro 4-3. Criterios aplicados para la magnitud de la capacidad adaptativa.

Índice de Capacidad Adaptativa	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Magnitud de la Capacidad Adaptativa	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta

Finalmente, se integraron los resultados en la base de los 2455 municipios de México y se pudo cartografiar el índice y la magnitud de la capacidad adaptativa en mapas a escala municipal.

3. Resultados y Discusión

Los resultados se presentan en dos partes: la primera sobre los resultados de capacidad de adaptación base mientras que la segunda parte versa sobre una estimación de la capacidad futura, al considerar dos indicadores futuros.

3.1 Capacidad Adaptativa base

En este estudio, la capacidad de adaptación fue definida como una función de indicadores humanos, sociales, financieros y naturales. Para cada uno de ellos se calculó un sub índice que refleja el potencial del grupo estudiado. Siguiendo los criterios antes señalados, el potencial (0-100) fue dividido en cinco clases de acuerdo con una distribución geométrica de su histograma o frecuencias: muy baja (0–20), baja (21–40), media (41–60), alta (61–80) y muy alta (81–100).

En la integración del índice de capacidad de adaptación base se obtuvieron correlaciones importantes con capital humano (0.71) y con capital financiero (0.68). En el caso de la dimensión social y natural el valor de correlación fue inferior, de 0.22 en el primero y 0.38 en el segundo (Figura 3-1). Sin embargo, para las cuatro dimensiones es posible afirmar que a mayor cantidad en el capital, así también es su capacidad de adaptarse. Lo anterior se explica por el rango observado en los valores de cada uno de los indicadores, que

elevan los requerimientos municipales para definir la capacidad de adaptación (ver Cuadro 4-2, columna de valores mínimos y máximos).

Se describió además la participación de las variables en cada capital con el índice de capacidad obtenido y el potencial de adaptación. Así, para la dimensión humana se encontró que la variable que menos aporta en explicar la capacidad es el porcentaje de asistencia escolar (Cuadro 4-4). Los valores señalan una diferencia de diez puntos porcentuales ente la categoría de muy baja capacidad y la de muy alta capacidad adaptativa. Para la primera, se tiene 54 por ciento de asistencia a escuela mientras que para la categoría muy alta es de 66 por ciento. Los otros dos indicadores (porcentaje de personas que saben leer y grado de alfabetismo) muestran un mejor comportamiento en cuanto a caracterizar la capacidad adaptativa. Cabe recordar que estos indicadores son de la población total del municipio para el año 2005. En el caso del porcentaje de población que sabe leer en la categoría muy baja se obtuvo un valor de 52 por ciento, y va creciendo para ir aumentando la capacidad adaptativa: 66 por ciento para la clase baja, 84 por ciento para la clase media y 92 y 93 por ciento para las clases alta y muy alta, respectivamente.

Se encontró que 169 municipios presentan un valor muy alto en la dimensión humana de capacidad de adaptación. Por su parte, 622 municipios se definen con valor alto y 1116 con valor medio de severidad en los indicadores humanos. Lo anterior equivale a señalar que 1907 municipios (77 por ciento de los municipios del país) observan capacidad de adaptación de media a muy alta. Por otra parte, con baja y muy baja capacidad de adaptación se encuentran 506 y 42 municipios, respectivamente. Los 548 municipios en estas categorías significan el 23 por ciento del país, con los niveles más bajos de capacidad de adaptación. El mayor potencial adaptativo por la dimensión humana se encuentra en los estados del norte del país (ver mapas Anexo 1), principalmente por sus elevadas tasas de alfabetismo y asistencia escolar. Los estados de Sonora, Baja California y Baja California Sur, Sinaloa, Durango, Estado de México y Distrito Federal son los que mayor porcentaje de capacidad adaptativa muestran. Por su parte, los de menor capacidad son Chihuahua – particularmente en su porción sur, Chiapas, Oaxaca, Guerrero, Puebla y Michoacán.

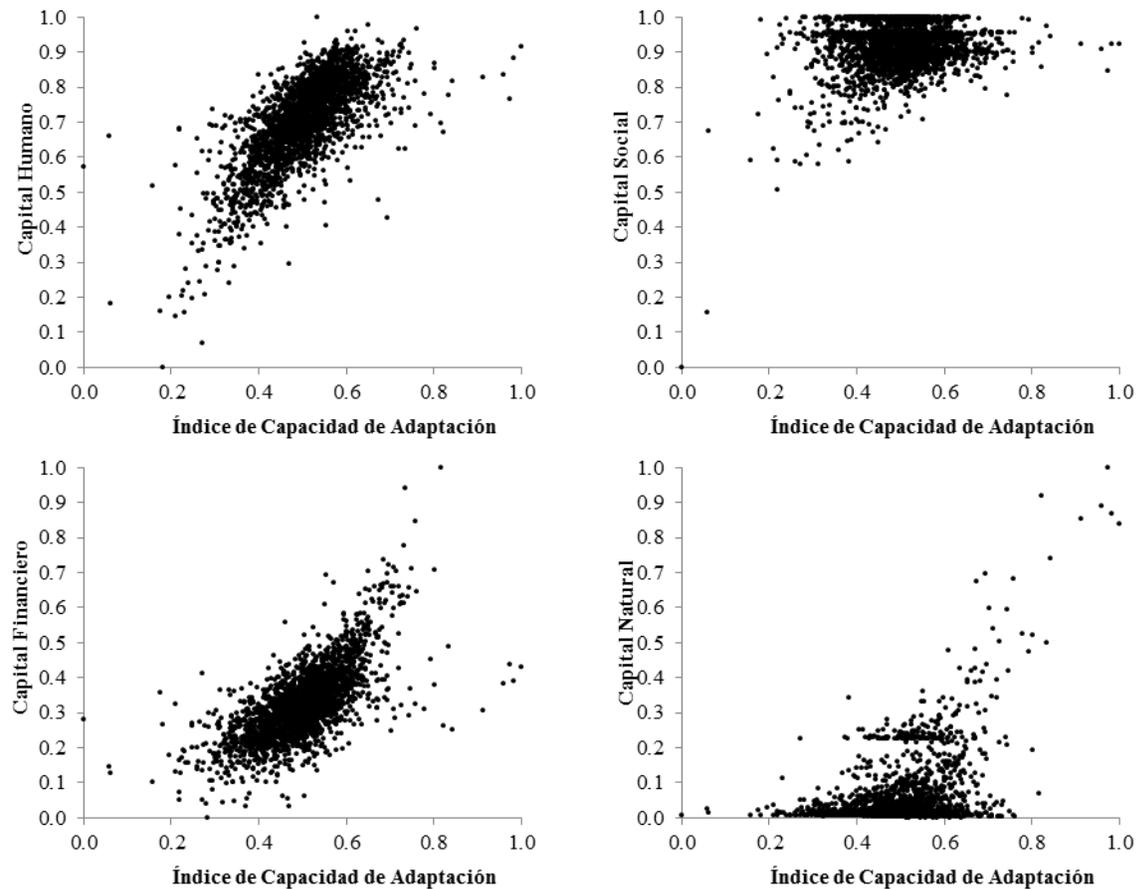


Figura 4-1. Dispersión y correlación para sub índices de capital humano, social, financiero y natural, dentro del índice de capacidad de adaptación.

En lo que se refiere al grupo de dimensión social (Cuadro 4-5), todos los indicadores aportan en describir la capacidad de adaptación de los municipios. Sin embargo, el comportamiento observado es de valores altos en las variables. Por ejemplo, se obtuvieron valores de 87 por ciento en la categoría de muy baja capacidad en el indicador de organización social, mientras que 97 por ciento en la categoría de muy alta capacidad, con una diferencia entre los cinco rangos del 10 por ciento. Lo anterior sugiere que para que se tenga un valor de medio a muy alto en capacidad de adaptación se requiere que las unidades de producción en un municipio se encuentren organizadas en poco más del 97 por ciento del total. Si el porcentaje disminuye por debajo del 87 por ciento, entonces el municipio se encontrará en la categoría de muy baja capacidad. Por su parte, el indicador que muestra la existencia de problemas por la propiedad de la tierra (litigios) señala que las unidades de producción en un municipio tendrán media a muy alta capacidad de adaptación si el 99 por ciento de éstas no tiene problemas. Si el porcentaje baja de 94 por ciento, entonces los municipios tendrán baja capacidad de adaptarse. Esta tendencia es similar en el indicador que muestra la ausencia de capacitación técnica en los municipios. Si el 90 por ciento de las unidades de producción señalan que no les falta capacitación, entonces observarán media a muy alta capacidad de adaptación. Por el contrario, si menos del 90 por ciento de las unidades de producción señala que les falta capacitación, entonces podrán tener baja capacidad de adaptarse. Resultado de lo anterior, se encontró que 1718 municipios (70%) presentan un valor de medio a muy alto en el índice de capacidad de adaptación base. En específico, son 662 municipios con valor muy alto, 294 con valor alto y 762 observan un valor medio. Con valor bajo se encuentran 701 municipios mientras que en muy baja capacidad de adaptación por la dimensión social de los municipios se encuentran 36 de estos (30% en conjunto). La presencia de estos valores bajos y muy bajos de capacidad de adaptación se distribuye en prácticamente todos los estados del país, aunque resaltan los estados de Oaxaca, Chiapas y Yucatán. Cabe señalar que también las altas y muy altas capacidades se distribuyen en todo el país y el estado de Chihuahua, Oaxaca y Michoacán es donde se puede observar que existen estos elevados valores (ver mapa en Anexo 1).

Cuadro 4-4. Participación promedio de indicadores de capital humano según grado de capacidad de adaptación

Grado de capacidad adaptación	Personas saben leer	Asistencia a escuela	Alfabetismo	Cambio en población al 2030
Muy Baja	52.7	54.0	52.6	35.5
Baja	66.7	61.0	66.6	15.5
Media	84.6	64.0	84.5	-7.4
Alta	92.5	66.0	92.4	-4.3
Muy Alta	93.1	66.0	93.0	4.5

Respecto al tercer grupo de indicadores, en la dimensión financiera, se consideró la dificultad de acceso a créditos, remesas económicas de otros países, ahorro, créditos, apoyos gubernamentales, ingreso mayor a 2 salarios mínimos y el producto interno bruto al año 2000. Para todos los indicadores se tiene una tendencia de progresión en su participación para definir la capacidad adaptativa, aunque con algunas excepciones. Así por ejemplo, en el porcentaje de las unidades de producción que señalaron no tener dificultad para el acceso a créditos, se tiene un 74 por ciento para la categoría muy baja y más del 85 por ciento para el grado de muy alta capacidad de adaptación (Cuadro 3-6). Las unidades de producción que manifestaron recibir remesas económicas de otro país van desde un 1.8 por ciento en la categoría de muy baja capacidad hasta un 2.2 por ciento en la categoría muy alta, pasando por 3.4 por ciento en la categoría de alta capacidad, mostrando menor participación en la explicación global del índice de capacidad adaptativa. El indicador de reporte de ahorro en las unidades de producción también es relativamente bajo, ya que sólo el 1.8 por ciento lo reporta en la categoría muy bajo y el 3.3 por ciento para la clase muy alta capacidad. El valor más elevado se encuentra en la categoría de alta capacidad con 3.4 por ciento. La existencia de créditos en los municipios define que se requiere tener más de 30 por ciento de cobertura para estar en condiciones de media a muy alta capacidad de adaptarse a los cambios futuros. Por debajo de esa cifra los municipios se definirían entonces en las categorías de baja y muy baja capacidad. El mejor indicador en cuanto a su participación en el índice de capacidad de adaptación es el ingreso mayor a dos salarios mínimos. Conforme aumenta el porcentaje de población por arriba de dicho nivel de ingreso así también mejorar la capacidad de adaptación. Para que pueda existir una muy alta capacidad de adaptación en el municipio se requiere que más del 50 por ciento de su población reciba más de dos salarios mínimos de ingreso. Esta situación es muy similar en el aporte del producto interno bruto a los grados de capacidad adaptativa.

Cuadro 4-5. Participación promedio de indicadores de capital social según grado de capacidad de adaptación

Grado de capacidad de adaptación	Organización	Sin litigio	Sin falta de capacitación	Sin problema de propiedad	Unidad de protección civil	Mapa de amenazas
Muy Baja	87.6	93.8	78.4	81.6	1.7	1.9
Baja	94.8	99.2	89.2	98.9	1.4	1.8
Media	97.5	99.7	94.2	99.5	1.3	1.6
Alta	98.3	99.7	96.6	99.6	1.2	1.6
Muy Alta	97.3	99.7	94.7	99.6	1.1	1.7

El total de municipios con índice financiero de medio a muy alto es de 2228, lo que equivale al 90 por ciento del total nacional (ver mapa en Anexo 1). De esta cantidad, 53 municipios se encuentran en la clase muy alto y forman parte de los estados de Chihuahua, Durango, Zacatecas, Tamaulipas y el Distrito Federal. En la categoría alto se encuentran 1011 municipios, con valor medio 1164 y 187 y 40 en baja y muy baja capacidad financiera, respectivamente. Los estados cuyos municipios reflejan menor puntaje en su capacidad financiera son Chiapas, Yucatán, Oaxaca, Veracruz, Guerrero y San Luis Potosí.

Cuadro 4-6. Participación promedio de indicadores de capital financiero según grado de capacidad de adaptación

Grado de capacidad de adaptación	Sin dificultad de acceso a créditos	Reportaron Reciben remesas	Reportaron tener ahorro	Con crédito y Seguro	Apoyos promedio	Ingreso mayor a dos salarios mínimos	PIB 2000	PIB 2030
Muy Baja	74.5	1.8	1.8	15.2	1908.2	14.7	1,032,997	2,643,966
Baja	80.2	2.0	1.1	21.7	1311.8	15.7	509,415	1,892,210
Media	89.2	3.2	1.9	34.2	1624.2	33.1	1,509,211	4,513,858
Alta	91.8	3.4	4.1	45.8	3273.3	52.3	9,189,062	18,928,871
Muy Alta	85.8	2.2	3.3	39.6	6836.6	55.8	5,954,299	11,819,697

En el último grupo de indicadores se encuentran aquellos que se refieren al capital natural. El indicador de superficie con selvas y bosques (Cuadro 4-7) es el que menos aporta en describir las categorías de baja y muy baja capacidad de adaptación. Sin embargo, en las categorías media, alta y muy alta sí es posible observar una tendencia significativa de incremento. Conforme aumenta la superficie de bosques y selvas en un municipio así también se espera que incremente la capacidad adaptativa. Si un municipio conserva poco más de 1000 hectáreas forestadas, entonces su capacidad es mayor en comparación con aquellos donde no existe o es menor la superficie. También, es importante subrayar que, a mayor cantidad de superficie que se reforesta se espera que así también se incremente la capacidad adaptativa de los municipios. Cabe también señalar que el comportamiento es similar con la tasa de recarga de los acuíferos, entre mayor sea así también aumentará su capacidad de adaptarse a los cambios.

Cuadro 4-7. Participación promedio de indicadores de capital natural según grado de capacidad de adaptación

Grado de capacidad de adaptación	Superficie con bosque o selvas	Superficie reforestada	Tasa recarga acuíferos
Muy Baja	738.1	8.6	210.6
Baja	424.5	27.6	535.6
Media	930.1	50.8	1245.9
Alta	6046.1	164.0	1459.5
Muy Alta	32015.0	1542.8	2133.3

La integración de los tres indicadores de la dimensión natural refleja que 687 municipios (28%) se encuentran en la categoría de muy baja capacidad, 328 en baja (14%) y 554 con valor medio (22%). Un total de 886 municipios (36%) se encuentran en las clases alta y muy alta capacidad de adaptación por la dimensión natural (ver mapa en anexo 1). Las regiones con bajo capital natural se distribuyen en aquellos estados donde la superficie forestal y la reforestación es baja, además de que se sobre explotan los acuíferos. Son de resaltar, por su bajo índice en capital natural, los estados de Oaxaca, Guerrero, Puebla, Tlaxcala, Guanajuato, Zacatecas, Durango, Nuevo León, Coahuila, Chihuahua, Sonora y Baja California Sur. Por el contrario, son de resaltar por su elevado valor en el índice de capital natural los estados de la Península de Yucatán, aquellos que pertenecen a la Sierra Madre Occidental, Jalisco, Nayarit y Chiapas.

Integrando los cuatro sub índices antes señalados (capital humano, social, financiero y natural) bajo la fórmula 3 se obtuvo el índice de capacidad de adaptación para los municipios de México. El comportamiento y participación de los sub índices se muestran en la Figura 4-2. El capital social y el capital humano son los que presentan valores superiores, en comparación con el capital financiero y natural. El valor del índice de capacidad adaptativa, al igual que sus sub índices, tiene un recorrido que va de 0 a 100, clasificado en cinco rangos: muy bajo (0–20), bajo (21–40), medio (41–60), alto (61–80) y muy alto (81–100). En los rangos de muy baja y baja capacidad de adaptación se encuentran siete y 293 municipios, respectivamente. De media a muy alta capacidad se definieron 2155 municipios, 88 por ciento del total nacional (Figura 4-3). En los rangos alta y muy alta capacidad se encuentran 282 y 11 municipios, respectivamente. Es decir, el 12 por ciento de los municipios del país observan alta y muy alta capacidad adaptativa mientras que el 88 por ciento de los municipios se encuentran en las categorías de media a muy baja capacidad. Los estados cuyos municipios presentan los valores más bajos de capacidad adaptativa son Chiapas, Oaxaca y Guerrero. Sin embargo, también son de resaltar Veracruz, Puebla, Hidalgo, Yucatán, Michoacán y Nayarit.

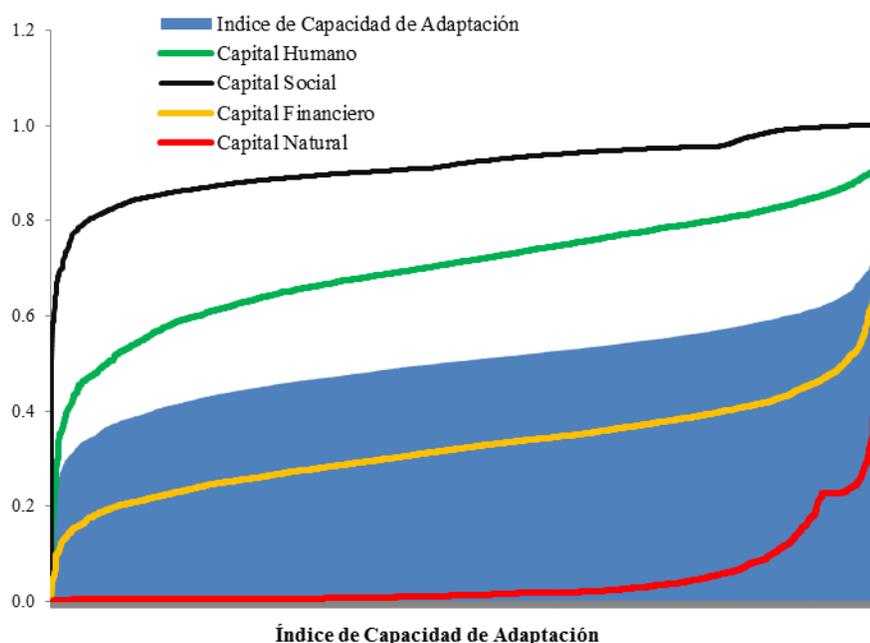


Figura 4-2. Comportamiento del Índice de capacidad de adaptación (base) y subíndices considerados.

Respecto a la población total (censo del año 2005) en cada rango de capacidad adaptativa, con muy alta capacidad se encontraba el 2.3 por ciento de la población nacional (2,367,948 de habitantes). Con alta capacidad 35,507,651 y media capacidad 60,098,781 personas, es decir, 93.8 por ciento del total nacional. En las últimas dos clases, baja y muy baja capacidad, equivalen a 4,017,618 de personas (3.9%). De acuerdo con estos resultados, es posible señalar que más de 64 millones de personas (62.8%) en el país observan de media a muy baja capacidad de adaptación, principalmente por sus capitales humanos, sociales, financieros y naturales que los definen. Tomando en consideración los quince municipios con menor capacidad adaptativa, se observa que la población total para el año 2005 asciende a poco menos de los 200 mil habitantes. Chiapas, Veracruz y Oaxaca son los estados que concentran la mayor población con los valores más bajos de capacidad adaptativa. En los quince municipios con valor más alto en su capacidad de adaptarse la población era superior a los dos millones de habitantes en el mismo año, más de diez veces que los primeros. En este caso, Sonora, Coahuila, Durango y Quintana Roo sobresalen por ser aquellos que más población presentan en esta condición (Cuadro 4-8).

Cuadro 4-8. Capacidad de adaptación en los municipios con menor y mayor puntaje, así como población al 2005.

Valor en Capacidad de Adaptación	Municipios con MENOR capacidad de adaptación	Población al 2005	Valor en Capacidad de Adaptación	Municipios con MAYOR capacidad de adaptación	Población al 2005
0.000000	Magdalena Mixtepec, Oax.	1101	0.759780	Tizimín, Yuc.	69553
0.057846	Osumacinta, Chis.	3440	0.761069	Benito Juárez, DF	0
0.060882	Zinacantán, Chis	31061	0.779574	San Dimas, Dgo.	19303
0.157514	San Andrés Zabache, Oax.	756	0.793248	Temósachi, Chih.	6319
0.176661	Tehuipango, Ver.	20406	0.802153	Saltillo, Coah.	648929
0.179973	Cochoapa el Grande, Gro.	15572	0.802954	Milpa Alta, DF.	115895
0.194876	Chamula, Chis.	67085	0.815339	Cusihuiachi, Chih.	4835
0.209578	Mixtla de Altamirano, Ver.	9572	0.821576	Calakmul, Camp.	23814
0.210933	Pinotepa de Don Luis, Oax.	6703	0.833901	Guerrero, Chih.	37249
0.220117	San Martín Lachilá, Oax.	979	0.843057	Cuatro Ciénegas, Coah.	12220
0.220338	Ayotzintepec, Oax.	6524	0.911447	Parras, Coah.	44715
0.220415	Santa María Temaxcaltepec, Oax.	2628	0.958287	Othón P. Blanco, QRoo.	219763
0.221629	El Bosque, Chis	14932	0.974612	Madera, Chih.	32031
0.224644	Sitalá, Chis	10246	0.981560	Durango, Dgo.	526659
0.229072	Santiago el Pinar, Chis.	2854	1.000000	Hermosillo, Son.	701838

3.2 Capacidad Adaptativa futura

Como se señaló en el apartado metodológico, la capacidad de adaptación futura fue estimada considerando dos proyecciones en igual número de indicadores: crecimiento de la población al año 2030 y el producto interno bruto proyectado al mismo año. Los otros indicadores no fueron proyectados y se consideraron de la misma manera que en el escenario base.

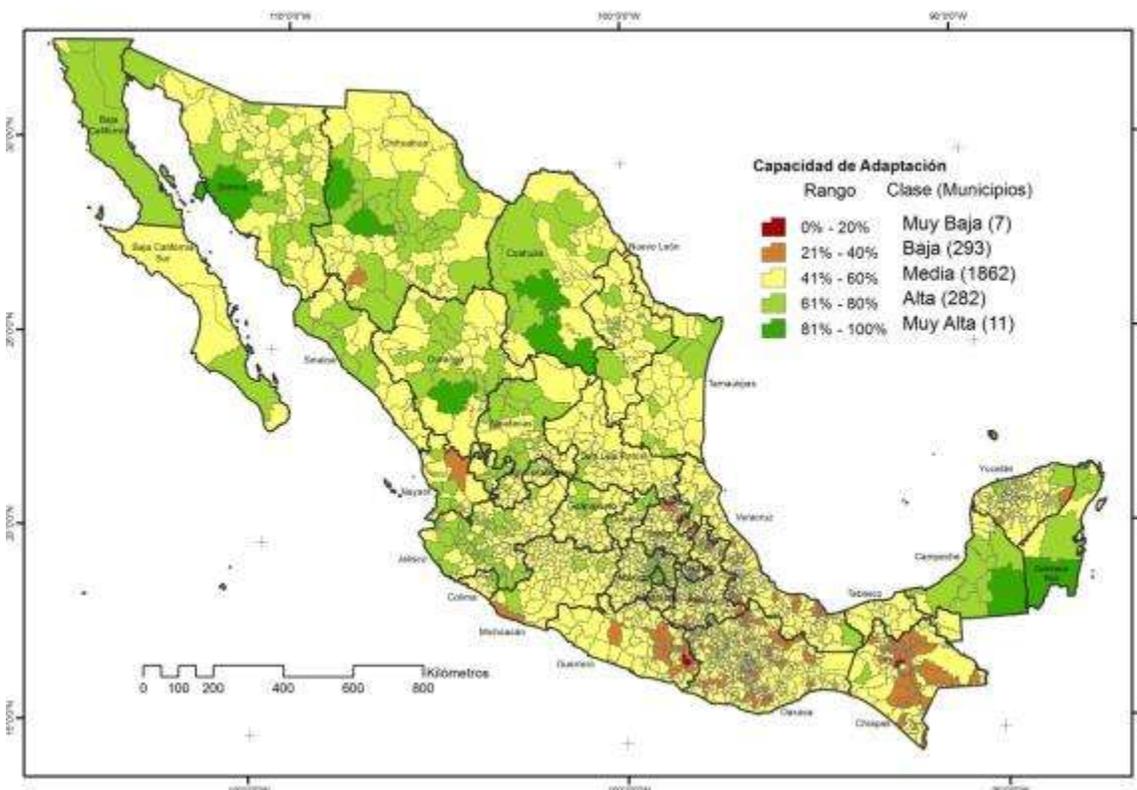


Figura 4-3. Índice de capacidad de adaptación (base)

Resultado de lo anterior, para la capacidad de adaptación futura el sub índice de capital humano futuro mostró un coeficiente de correlación igual a 0.71. Los sub índices social, financiero futuro y natural presentaron valores muy similares a lo encontrado en el escenario base, de 0.19, 0.66 y 0.39, respectivamente. Al comparar los puntajes obtenidos en el escenario base con el escenario futuro, se observa que la capacidad de

adaptación, en general para el país, tiende a aumentar (Figura 4-4). Sin embargo, aquellos municipios con baja capacidad de adaptación en el escenario base podrán mantener la misma tendencia en el futuro. También, en el caso de aquellos que han mostrado alta capacidad de adaptación es muy probable que la mantengan en el futuro. Salvo algunas excepciones que se comentarán más adelante.

El valor del índice de capacidad de adaptación futura se presenta en un recorrido que va de 0 a 100 y es clasificado en cinco rangos: muy bajo (0–20), bajo (21–40), medio (41–60), alto (61–80) y muy alto (81–100). En los rangos de muy baja y baja capacidad se encuentran cuatro y 301 municipios, respectivamente (12.5%). De media a muy alta capacidad se definieron 2150 municipios (87.5%). Lo anterior supone, para los dos primeros rangos, un aumento cinco municipios, mientras que para los últimos rangos disminuye igual número de municipios (Figura 4-5). En los rangos de alta y muy alta capacidad se encuentran 246 y nueve municipios, respectivamente. Es decir, se reduce el 1.6 por ciento de los municipios del país con alta y muy alta capacidad de adaptación, al pasar de 293 (12%) en el escenario base a 255 municipios (10.4%) en el escenario futuro. Los estados en donde se encuentran los municipios con valores más bajos de capacidad de adaptación son Oaxaca y Chiapas. Por su parte, aquellos donde se encuentran los municipios con valores de más alta capacidad adaptativa son Quintan Roo, Campeche, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Durango y el Distrito Federal.

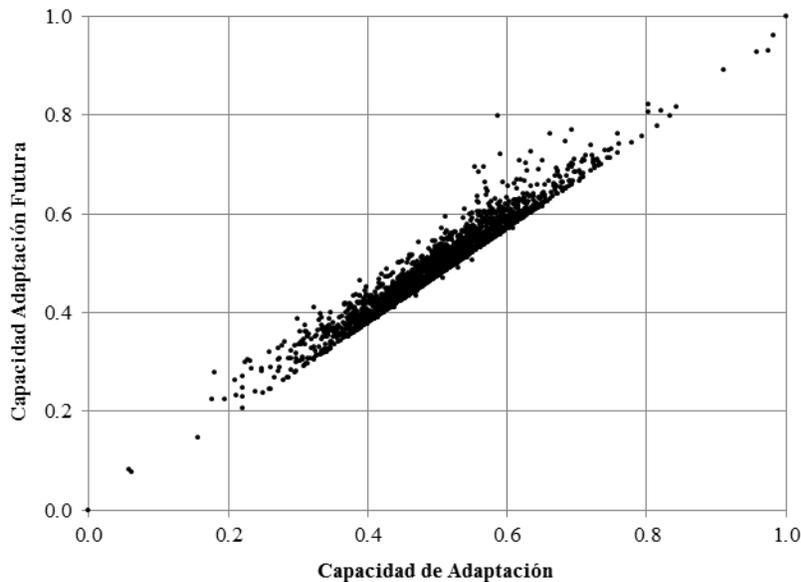


Figura 4-4. Índice de capacidad de adaptación base vs futura

Respecto a la población total (proyección al año 2030) por rango de capacidad de adaptación futura, se encontró que en la clase de muy alta capacidad se encontrarán 3,061,796 habitantes (2.5%), aumentando en 0.2 por ciento respecto al escenario base. Con alta capacidad se hallarán 52,969,859 (44.2%) y media capacidad 59,329,856 personas (49.5%), que significan un aumento de 10 por ciento y disminución de 9 por ciento, respectivamente, con relación al escenario base. En las última clases, de baja y muy baja capacidad, equivalen a 4,405,336 de personas (3.6%), es decir, disminuye 0.3 por ciento respecto del escenario base. Para este escenario y de acuerdo con estos resultados, es posible señalar que más de 63.5 millones de personas (53%) en el país vivirán con media a muy baja capacidad de adaptación. Se espera entonces que la población con capacidad de adaptación media a muy baja descienda 9.8 por ciento, al pasar de un 62.8 por ciento en el escenario base a 53 por ciento en el escenario futuro.

La cantidad de municipios que se mantiene sin cambio de acuerdo con su clase de capacidad de adaptación es de 2219 (90 por ciento del total nacional), al comparar el escenario base con el futuro. Aquellos municipios que aumentarán su capacidad son 97 (4%) y los que disminuyen de acuerdo al modelo son 139 (5%). Aquellos municipios que disminuyen su capacidad de adaptación significan poco más de 3.5 millones de personas, mientras que los que señalan un aumento equivalen a poco menos de 16 millones de personas (Cuadro 4-9).

Cuadro 4-9. Población total al 2030 según grado de capacidad adaptativa base y futura.

Grado	Capacidad Adaptativa Futuro*					Total
	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	
Capacidad Adaptativa	Muy Bajo	38,437 (4)	171,620 (3)			210,057 (7)
	Bajo		3,844,368 (248)	1,165,885 (45)		5,010,253 (293)
	Medio		350,911 (50)	54,882,386 (1763)	14,572,046 (49)	69,805,343 (1862)
	Alto			3,281,585 (87)	38,369,226 (195)	41,650,811 (282)
	Muy Alto				28,587 (2)	3,061,796 (9)
Total	38,437 (4)	4,366,899 (301)	59,329,856 (1895)	52,969,859 (246)	3,061,796 (9)	119,766,847 (2455)

* Entre paréntesis se muestra el total de municipios

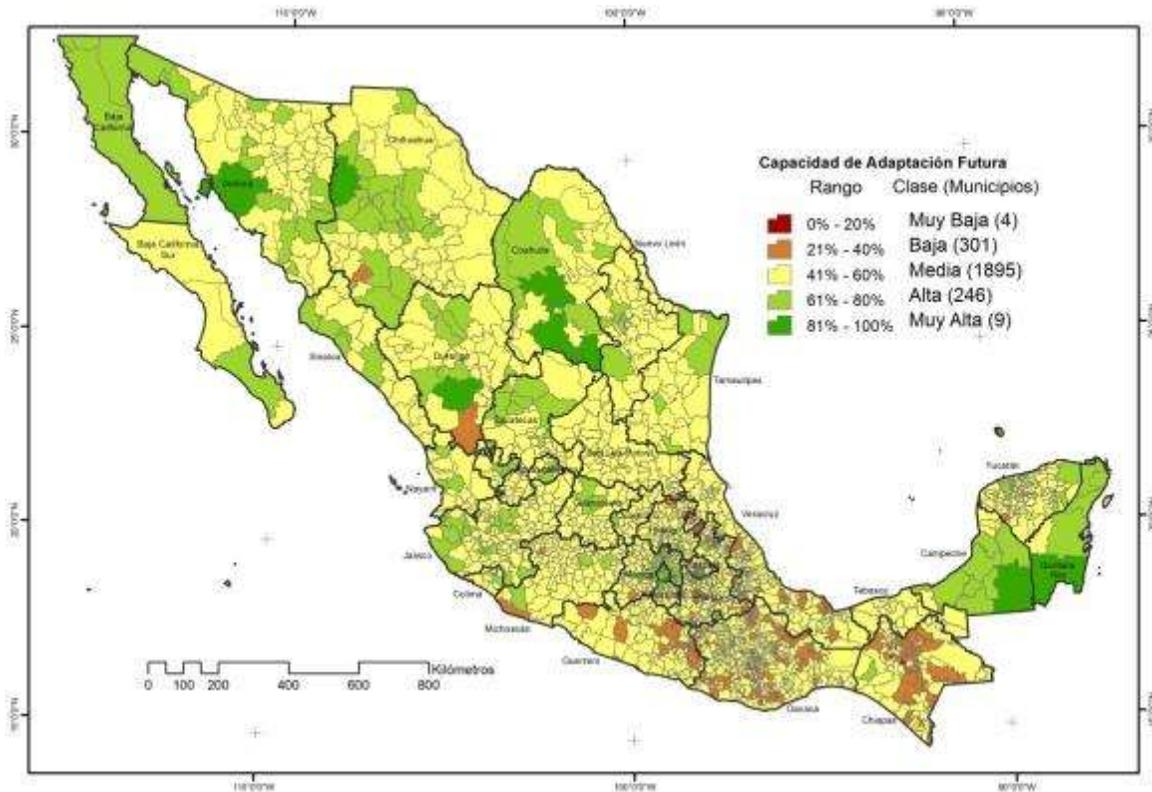


Figura 4-5. Índice de capacidad de adaptación (futura)

3.3 Grados de Capacidad Adaptativa en México

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

- *Muy baja capacidad adaptativa.* La capacidad adaptativa está definida por tener 67 por ciento o menos de su población que sabe leer y el 64 por ciento o menos de sus jóvenes asiste a la escuela. La tasa de alfabetización municipal es del 50 por ciento. Las unidades de producción están organizadas hasta en un 80 por ciento y el 25 por ciento de estas señalan falta de capacitación técnica. Menos del 13 por ciento de su población tiene ingreso mayor a dos salarios mínimos, menos del 15 por ciento de las unidades de producción cuentan con algún crédito o seguro y los apoyos de gobierno federal son menores a mil pesos por productor. Son municipios con menos de 400 hectáreas de bosques o selvas y donde se reforestaron

menos de diez hectáreas en el año 2005. La proyección de población para los municipios es de incremento en más del 15 por ciento.

- *Baja capacidad adaptativa.* La capacidad adaptativa está definida por tener 70 por ciento o menos de su población que sabe leer y el 64 por ciento o menos de sus jóvenes asiste a la escuela. La tasa de alfabetización municipal es del 60 por ciento. Las unidades de producción están organizadas hasta en un 90 por ciento y el 20 por ciento de estas señalan falta de capacitación técnica. Hasta un 15 por ciento de su población tiene ingreso mayor a dos salarios mínimos, 20 por ciento de las unidades de producción cuentan con algún crédito o seguro y los apoyos de gobierno federal son de aproximadamente 1.3 miles de pesos por productor. Son municipios con hasta 800 hectáreas de bosques o selvas y donde reforestaron, en promedio, 30 hectáreas en el año 2005. La proyección de población para los municipios es de incremento en más de 10 a 15 por ciento.
- *Media capacidad adaptativa.* La capacidad adaptativa está definida por tener 82 por ciento de su población que sabe leer y el 64 por ciento de sus jóvenes asiste a la escuela. La tasa de alfabetización municipal es del 80 por ciento. Las unidades de producción están organizadas hasta en un 95 por ciento y el 10 por ciento de estas señalan falta de capacitación técnica. Hasta un 35 por ciento de su población tiene ingreso mayor a dos salarios mínimos, 35 por ciento de las unidades de producción cuentan con algún crédito o seguro y los apoyos de gobierno federal son de aproximadamente 1.6 miles de pesos por productor. Son municipios con hasta 1000 hectáreas de bosques o selvas y donde reforestaron, en promedio, 50 hectáreas en el año 2005. La proyección de población para los municipios es de incremento en menos del 10 por ciento.
- *Alta capacidad adaptativa.* La capacidad adaptativa está definida por tener 90 por ciento de su población que sabe leer y más del 64 por ciento de sus jóvenes asiste a la escuela. La tasa de alfabetización municipal es del 90 por ciento. Las unidades de producción están organizadas hasta en un 98 por ciento y el 5 por ciento de estas señalan falta de capacitación técnica. Hasta un 50 por ciento de su población tiene ingreso mayor a dos salarios mínimos, 45 por ciento de las unidades de producción cuentan con algún crédito o seguro y los apoyos de gobierno federal son de aproximadamente 3.2 miles de pesos por productor. Son municipios con hasta 6000 hectáreas de bosques o selvas y donde reforestaron, en promedio, 160 hectáreas en el año 2005. La proyección de población para los municipios es de reducir hasta el 10 por ciento.
- *Muy alta capacidad adaptativa.* La capacidad adaptativa está definida por tener más del 90 por ciento de su población que sabe leer y más del 70 por ciento de sus jóvenes asiste a la escuela. La tasa de alfabetización municipal es mayor del 90 por ciento. Las unidades de producción están organizadas hasta en un 98 por ciento y el 5 por ciento de estas señalan falta de capacitación técnica. Más del 50 por ciento de su población tiene ingreso mayor a dos salarios mínimos, más del 45 por ciento de las unidades de producción cuentan con algún crédito o seguro y los apoyos de gobierno federal son superiores a los 3 mil pesos por productor. Son municipios con más de 6000 hectáreas de bosques o selvas y donde reforestaron, en promedio, más de mil hectáreas en el año 2005. La proyección de población para los municipios es de reducir hasta el 10 por ciento.

4. Conclusiones

La capacidad de adaptación en los municipios del país fue entendida como una función de atributos de la población (capital humano), sus formas de organización (capital social), variables económicas (capital financiero) así como indicadores que reflejan el capital natural con que cuentan los municipios. Los cuatro capitales o dimensiones fueron los que permitieron caracterizar la capacidad adaptativa.

Sobre las cuatro dimensiones se concluye que:

En dimensión humana, el porcentaje de personas que saben leer y el grado de alfabetismo fueron las variables que aportan mayor participación, comparado con el porcentaje de asistencia escolar que tu-

vo la participación más baja. En esta dimensión para los rangos baja y muy baja se encuentran 506 y 42 municipios, respectivamente, que significan el 23 por ciento del país en su conjunto. El mayor potencial adaptativo por la dimensión humana se encuentra en los estados del norte del país.

En lo que se refiere a la dimensión social, todos los indicadores aportan en describir el comportamiento del grupo, aunque es de resaltar la organización, la capacitación y las unidades de producción son problemas de propiedad. La presencia de valores bajos y muy bajos se distribuye en prácticamente todos los estados del país, aunque merecen atención los estados de Oaxaca, Chiapas y Yucatán.

Para la dimensión financiera el mejor indicador en su definición fue el ingreso mayor a dos salarios mínimos, seguido de dos indicadores más: unidades de producción que reportaron tener crédito y seguro así como la facilidad de acceder a estos últimos. Son 227 municipios (9.2%) los que presentan valores de bajo y muy bajo en esta dimensión. Los estados cuyos municipios reflejan menor puntaje en su capacidad financiera son Chiapas, Yucatán, Oaxaca, Veracruz, Guerrero y San Luis Potosí.

En cuanto al capital natural, la superficie reforestada, y la recarga de acuíferos fueron los indicadores mejor posicionados en la dimensión, seguidos de la superficie con bosques y selvas. En general, conforme aumenta la superficie de bosques y selvas, reforestación y acuíferos en un municipio, así también se espera que incremente la capacidad adaptativa. En el 28 por ciento de los municipios (687) se encuentra la categoría de muy baja capacidad y en 328 municipios (14%) baja capacidad por esta dimensión.

A partir de la integración de estas dimensiones se construyeron dos índices de capacidad adaptativa: uno para el escenario base y uno que consideró un escenario futuro.

Sobre el índice de capacidad de adaptación base se concluye que:

En la integración del índice de capacidad de adaptación base se obtuvo una participación mayor con capital humano (0.71), seguido por capital financiero (0.68), capital natural (0.38) y por último la dimensión social (0.22).

En los rangos de muy baja y baja capacidad de adaptación se encuentran siete y 293 municipios, respectivamente, que equivalen al 12 por ciento del país.

De media a muy alta capacidad de adaptación se definieron 2155 municipios, 88 por ciento del total nacional. También, el 88 por ciento de los municipios se encuentran en las categorías de media a muy baja capacidad de adaptación.

En los rangos alta y muy alta capacidad se encuentran 282 y 11 municipios, respectivamente, es decir, el 12 por ciento de los municipios del país.

Los estados cuyos municipios presentan los valores más bajos de capacidad adaptativa son Chiapas, Oaxaca y Guerrero.

Las clases de baja y muy baja capacidad de adaptación equivalían a 4,017,618 de personas (3.9%), según el conteo de población del año 2005.

De acuerdo con estos resultados, es posible señalar que más de 64 millones de personas en el país (62.8%) observan de media a muy baja capacidad de adaptación,

En los quince municipios con menor capacidad adaptativa, se observa que la población total para el año 2005 asciende a poco menos de los 200 mil habitantes. Chiapas, Veracruz y Oaxaca son los estados que concentran la mayor población con los valores más bajos de capacidad adaptativa.

En los quince municipios con valor más alto en su capacidad de adaptarse la población era superior a los dos millones de habitantes en el mismo año. En este caso, pertenecen a los estados Sonora, Coahuila, Durango y Quintana Roo.

Por otra parte, sobre la capacidad de adaptación futura se concluye que:

La capacidad de adaptación futura fue estimada considerando únicamente dos proyecciones en igual número de indicadores: crecimiento de la población al año 2030 y el producto interno bruto proyectado al mismo año.

De acuerdo con las proyecciones, la capacidad de adaptación futura presenta una tendencia a aumentar, respecto a valores presentes. Sin embargo, en aquellos municipios con baja capacidad de adaptación en el escenario base podrán mantener la misma tendencia en el futuro. También, en el caso de aquellos que han mostrado alta capacidad de adaptación es muy probable que la mantengan en el futuro.

En los rangos de muy baja y baja capacidad de adaptación se encontrarán cuatro y 301 municipios, respectivamente (12.5%), de acuerdo con la proyección al año 2030. Aumentando 5 por ciento respecto al escenario base.

Con alta y muy alta capacidad de adaptación se prevé se encuentren 255 municipios (10.4%), reduciendo un 1.6 por ciento respecto del escenario base.

Los rangos de baja y muy baja capacidad de adaptación equivalen a 4,405,336 de personas (3.6%), es decir, disminuye 0.3 por ciento respecto del escenario base.

Para el escenario futuro es posible señalar que más de 63.5 millones de personas en el país (53%) vivirán según la proyección al año 2030 con media a muy baja capacidad de adaptación.

Se esperaría que la población con capacidad de adaptación media a muy baja descienda 9.8 por ciento, al pasar de un 62.8 por ciento en el escenario base a 53 por ciento en el escenario futuro.

La cantidad de municipios que se mantiene sin cambio de acuerdo con su clase de capacidad de adaptación es de 2219 (90 por ciento del total nacional), los que aumentan su capacidad son 97 (4%) y los que disminuyen son 139 (6%).

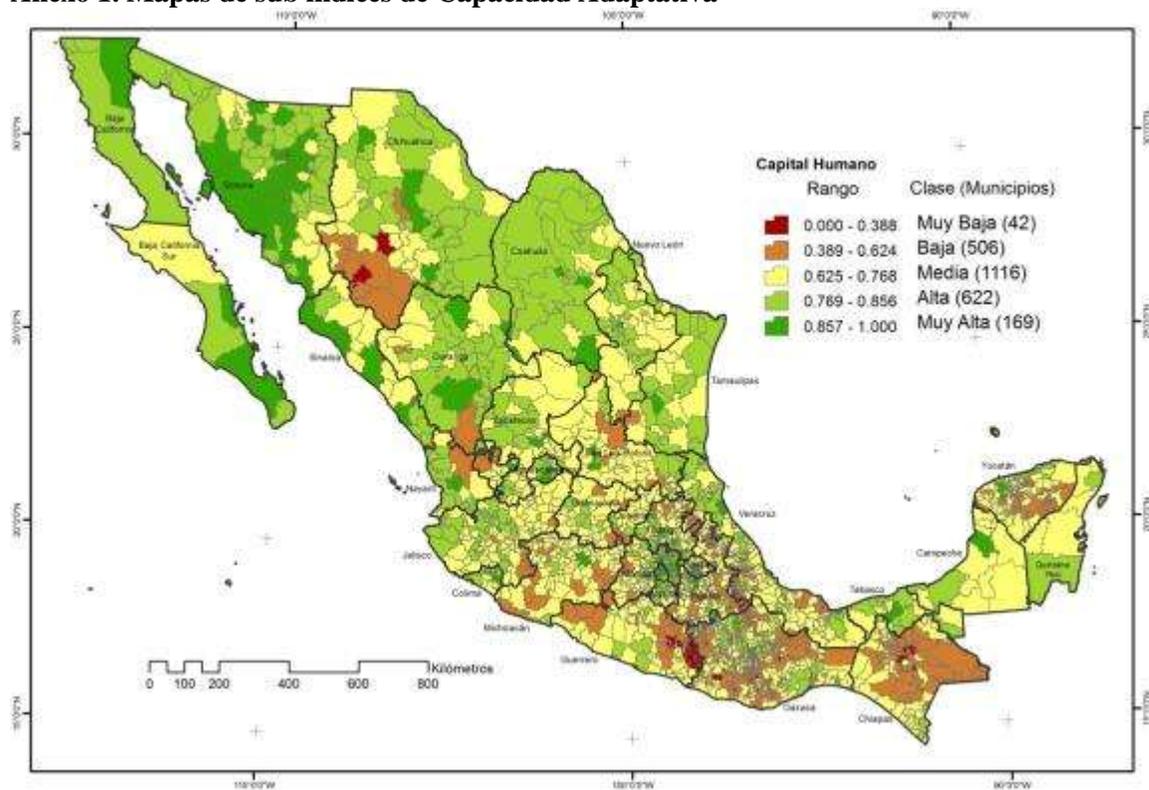
Aquellos municipios que disminuyen su capacidad de adaptación significan poco más de 3.5 millones de personas, mientras que los que señalan un aumento equivalen a poco menos de 16 millones de personas.

5. Literatura Citada

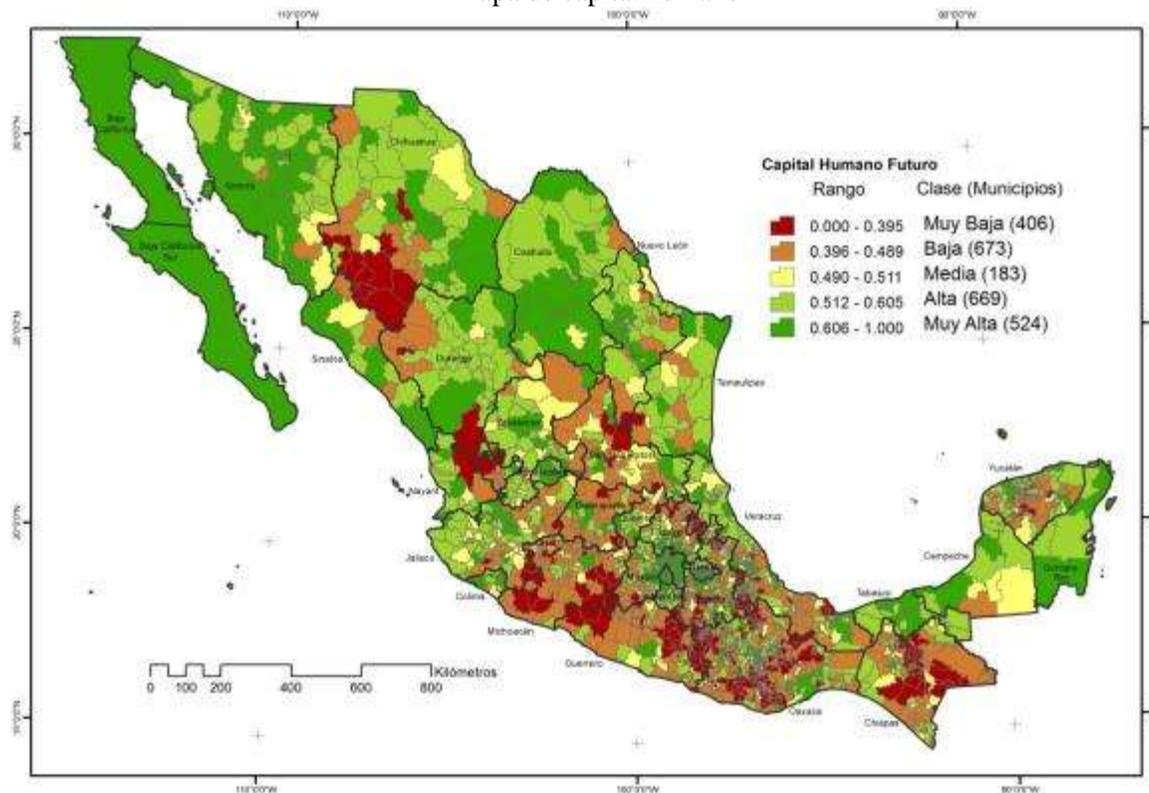
- Adger, W.N., Agrawala, S., Mirza, M.M., Conde, C., O'Brien, K., Pulhin, J., Pulwarty, R., Smit, B. y Takahashi, K. (2007) Chapter 17. Assessment of adaptation practices, options, constraints and capacity. , in: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., Linden, P.J., Hanson, C.E. (Eds.), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Brooks, N. y Adger, W.N. (2006) Technical paper 7. Evaluación y aumento de la capacidad de adaptación, in: Lim, B., Spanger, E. (Eds.), *Adaptation Policy Framework*. United Nations Development Program., New York, USA, p. 251.
- Brooks, N., Adger, W.N. y Kelly, P.M. (2005) The determinant of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environmental Change* 15, 151-163.

- CONAGUA. (2009) Usos del agua por región hidrológico-administrativa, cubo de usos del agua 2005. Comisión Nacional del Agua.
- CONAPO. (2001) Índice de desarrollo humano, 2000. Consejo Nacional de Población, México, D.F.
- CONAPO. (2005) Grados de Marginación en México 2005, 1 ed. Consejo Nacional de Población - CONAPO, México D.F.
- CONAPO. (2006) Proyecciones de la población de México 2005-2050, 1 ed. Consejo Nacional de Población - CONAPO, México, DF.
- Cruz, D. (2011) Reporte técnico entregado a Banco Mundial sobre amenazas a sequia, vulnerabilidad agrícola e índice de riesgo en agricultura. Banco Mundial, México D.F.
- Eriksen, S.H. y Kelly, P.M. (2007) Developing credible vulnerability indicators for climate adaptation policy assessment. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 12, 495-524.
- Fernandez, E.A., Zavala, H.J. y Romero, C.R. (2009) Atlas Climático Digital de México. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM., México D.F.
- Huq, S. y Reid, H. (2009) Mainstreaming adaptation in development., in: Schipper, L., Burton, I. (Eds.), *The Earthscan Reader on Adaptation to climate change*. The EarthscanReader, Sterling VA, USA, p. 459.
- INEGI. (2005) Principales acciones seleccionadas en materia ambiental: Reforestación 2005. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (2006) Resultados del Censo de población y vivienda 2005. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- INEGI. (2009) Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI, Aguascalientes, México.
- IPCC. (2007) Summary for Policymakers, in: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., Linden, P.J., Hanson, C.E. (Eds.), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Klein, R. y Nicholls, R. (1999) Assessment of coastal vulnerability to climate change. *Ambio* 28, 182-187.
- Luers, A.L., Lobell, D.B., Skar, L.S., Addams, C.L. y Matson, P.A. (2003) A method for quantifying vulnerability, applied to the agricultural system of the Yaqui Valley, México. *Global Environmental Change* 13, 255-267.
- McCarthy, J., Canziani, O., Leary, N., Dokken, D. y White, K. (2001) *Climate Change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge, UK.
- O'Brien, K.L., Leichenko, R.M., Kelkar, U., Venema, H.M., Aandahl, G., Tompkins, H., Javed, A., Bhadwal, S., Barg, S., Nygaard, L. y West, J. (2004) Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization un India. *Global Environmental Change* 14, 303-313.
- Parry, M., Canziani, O., Palutikof, J.P. y Coautores. (2007) Resumen técnico. Cambio Climático 2007: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Aportes del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. Cambridge, U.K.
- SEDESOL. (2010) Observatorio de Información Municipal. SEDESOL, Secretaría de Desarrollo Social, México, D.F.
- Smit, B. (2006) Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change* 16, 282-292.
- Smithers, J. y Smit, B. (2009) Human adaptation to climatic variability and change., in: Schipper, L., Burton, I. (Eds.), *The Earthscan Reader on Adaptation to climate change*. The EarthscanReader, Sterling VA, USA, p. 459.
- Tol, R.S.J. y Yohe, G.W. (2007) The weakest link hypothesis for adaptive capacity: An empirical test. *Global Environmental Change* 17, 218-227.

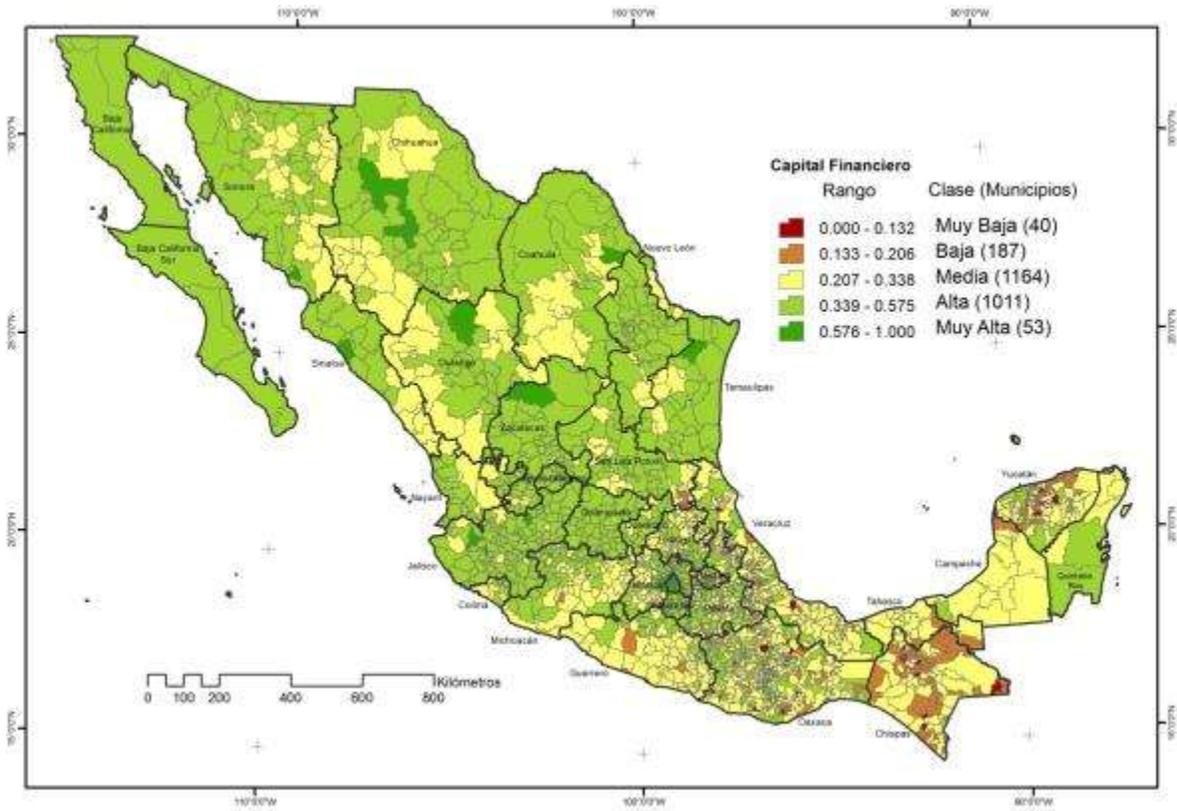
Anexos
Anexo 1. Mapas de sub índices de Capacidad Adaptativa



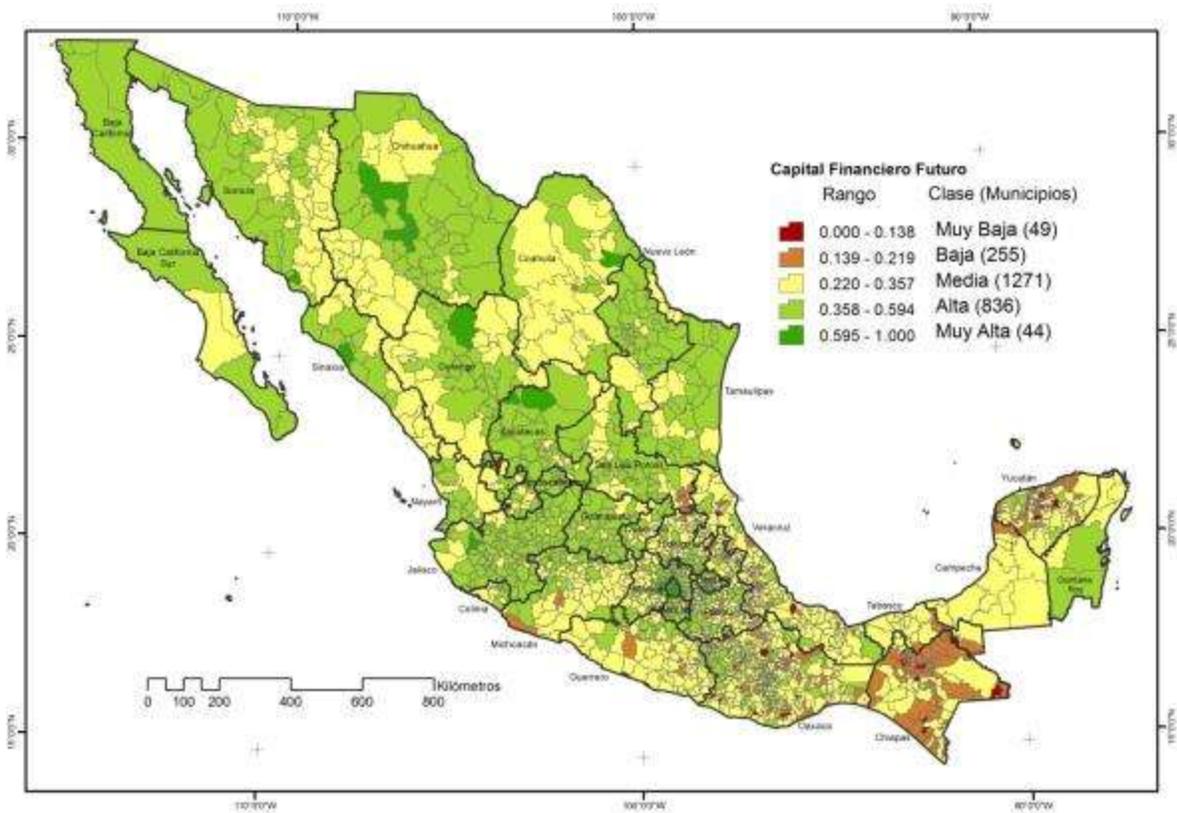
Mapa de capital humano



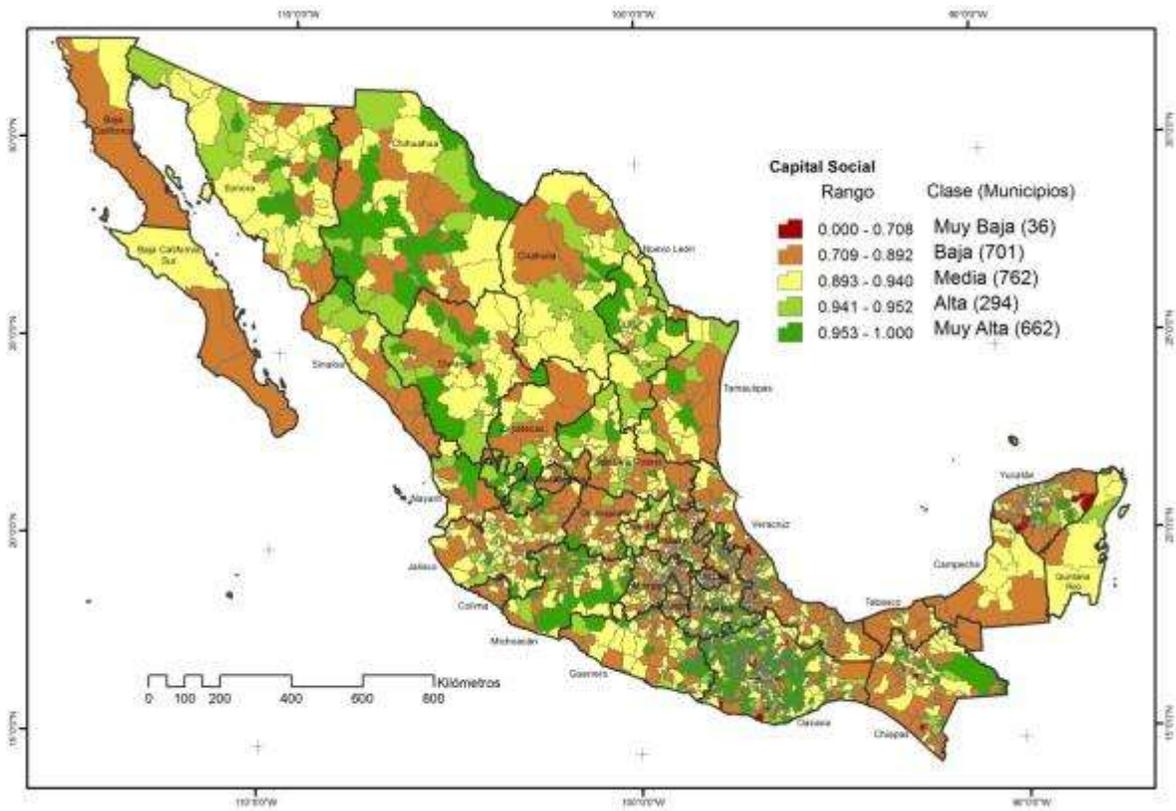
Mapa de capital humano futuro



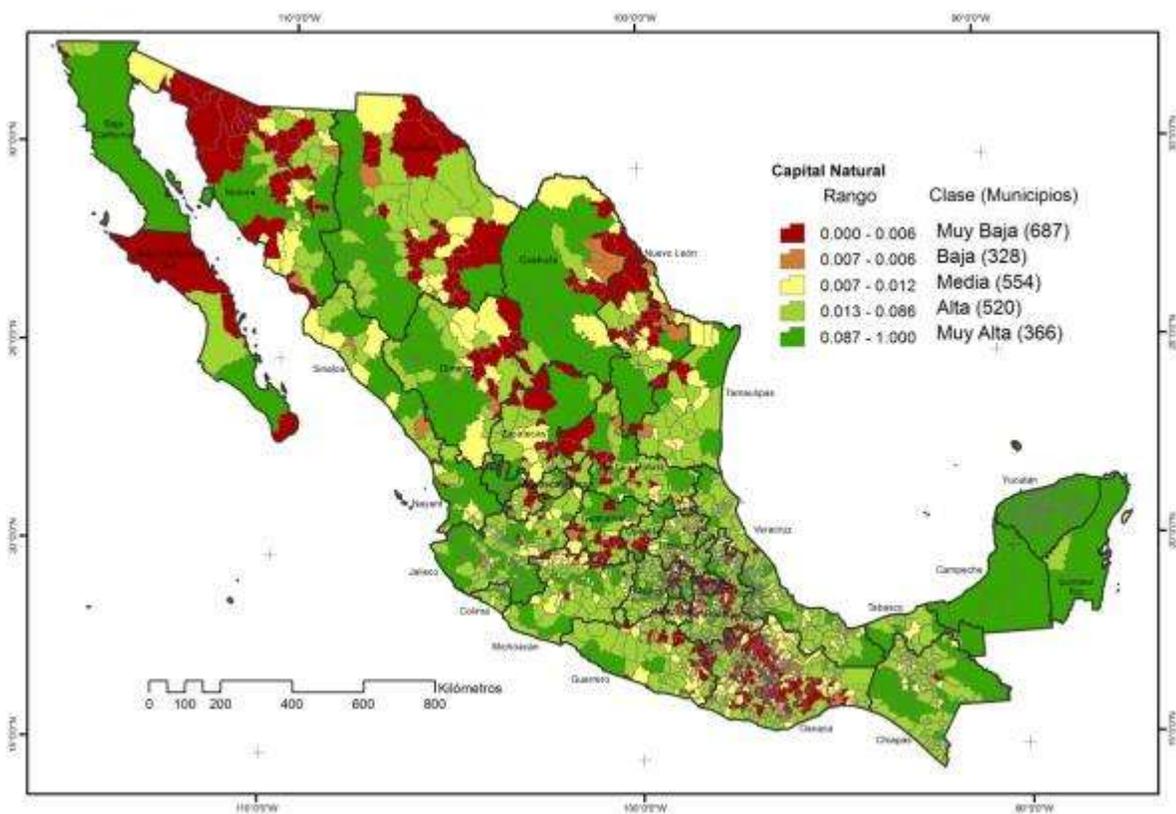
Mapa de capital financiero



Mapa de capital financiero futuro



Mapa de capital social



Mapa de capital natural

Anexo 2. Información municipal y de población total según capacidad adaptativa.

Anexo 2.1. Total de municipios y población por estado según rango de capacidad adaptativa, escenario base.

	MUNICIPIOS					POBLACIÓN AL 2005						
	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	Total	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	Total
Aguascalientes			9	2		11			1,017,238	48,178		1,065,416
Baja California			1	4		5			1,410,687	1,433,782		2,844,469
Baja California Sur			4	1		5			292,574	219,596		512,170
Campeche			4	6	1	11			94,163	636,753	23,814	754,730
Coahuila			28	7	3	38			1,552,189	237,147	705,864	2,495,200
Colima			7	3		10			310,026	257,970		567,996
Chiapas	3	63	51	1		118	101,586	1,441,473	2,714,569	35,831		4,293,459
Chihuahua		1	37	26	3	67		13,298	1,679,189	1,474,842	74,115	3,241,444
Distrito Federal				15	1	16				7,333,631	115,895	7,449,526
Durango			26	12	1	39			763,520	218,938	526,659	1,509,117
Guanajuato			43	3		46			4,509,911	383,901		4,893,812
Guerrero	1	17	63			81	15,572	436,756	2,662,874			3,115,202
Hidalgo		10	70	4		84		203,627	1,927,078	214,809		2,345,514
Jalisco			80	45		125			4,519,497	2,232,616		6,752,113
México			95	30		125			5,844,953	8,162,542		14,007,495
Michoacán		2	108	3		113		30,458	3,123,003	812,612		3,966,073
Morelos			30	3		33			1,235,384	377,515		1,612,899
Nayarit		1	12	7		20		30,551	397,843	521,290		949,684
Nuevo León			39	12		51			1,948,043	2,251,249		4,199,292
Oaxaca	2	114	437	17		570	1,857	555,924	2,844,834	104,206		3,506,821
Puebla		34	180	3		217		329,461	3,493,036	1,560,636		5,383,133
Querétaro			14	4		18			797,745	800,394		1,598,139
Quintana Roo			4	3	1	8			254,766	660,780	219,763	1,135,309
San Luis Potosí		1	55	2		58		93,811	2,253,167	63,436		2,410,414
Sinaloa			11	7		18			816,428	1,792,014		2,608,442
Sonora			49	22	1	72			775,541	917,482	701,838	2,394,861
Tabasco			17			17			1,989,969			1,989,969
Tamaulipas			37	6		43			2,081,958	942,280		3,024,238
Tlaxcala		2	54	4		60		16,881	874,845	176,481		1,068,207
Veracruz	1	44	164	3		212	20,406	685,110	6,252,324	152,374		7,110,214
Yucatán		4	92	10		106		40,847	784,430	993,671		1,818,948
Zacatecas			41	17		58			876,997	490,695		1,367,692
Total	7	293	1862	282	11	2455	139,421	3,878,197	60,098,781	35,507,651	2,367,948	101,991,998

Anexo 2.2. Total de municipios y población por estado según rango de capacidad adaptativa, escenario futuro.

	MUNICIPIOS						POBLACIÓN AL 2005					
	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	Total	Muy Bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto	Total
Aguascalientes			7	4		11			191,469	1,266,647		1,458,116
Baja California				5		5				5,074,986		5,074,986
Baja California Sur			4	1		5			569,934	261,903		831,837
Campeche			4	6	1	11			110,784	830,424	26,054	967,262
Coahuila			29	6	3	38			1,786,442	281,081	987,251	3,054,774
Colima			8	2		10			394,390	338,815		733,205
Chiapas	2	59	56	1		118	37,186	1,939,064	3,282,086	31,893		5,290,229
Chihuahua		1	43	22	1	67		12,428	517,861	3,288,091	19,796	3,838,176
Distrito Federal				15	1	16				7,205,270	208,591	7,413,861
Durango		1	30	7	1	39		18,608	946,436	48,690	566,905	1,580,639
Guanajuato			43	3		46			4,899,563	370,820		5,270,383
Guerrero		18	63			81		416,695	2,466,965			2,883,660
Hidalgo		9	71	4		84		167,596	2,110,626	291,630		2,569,852
Jalisco			95	30		125			3,629,746	4,158,208		7,787,954
México			1	80	44	125		16,799	5,345,805	12,725,456		18,088,060
Michoacán		4	106	3		113		53,265	2,552,821	926,975		3,533,061
Morelos			29	4		33			1,376,210	479,794		1,856,004
Nayarit			17	3		20			507,911	478,418		986,329
Nuevo León			40	11		51			2,961,868	2,436,519		5,398,387
Oaxaca	2	128	425	15		570	1,251	579,284	2,671,022	146,018		3,397,575
Puebla		38	176	3		217		281,094	4,034,033	2,212,368		6,527,495
Querétaro			16	2		18			1,003,300	1,300,196		2,303,496
Quintana Roo			2	5	1	8			143,921	2,111,291	195,621	2,450,833
San Luis Potosí		1	57			58		120,021	2,475,148			2,595,169
Sinaloa			13	5		18			996,961	1,611,690		2,608,651
Sonora			59	12	1	72			727,885	1,055,848	1,057,578	2,841,311
Tabasco			17			17			2,164,863			2,164,863
Tamaulipas			38	5		43			1,766,213	2,057,878		3,824,091
Tlaxcala		1	53	6		60		18,250	1,110,833	277,867		1,406,950
Veracruz		37	175			212		731,141	6,631,635			7,362,776
Yucatán		3	90	13		106		12,654	1,031,346	1,344,286		2,388,286
Zacatecas			49	9		58			921,779	356,797		1,278,576
Total	4	301	1895	246	9	2455	38,437	4,366,899	59,329,856	52,969,859	3,061,796	119,766,847

Anexo 2.3. Capacidad de adaptación futura en los municipios con menor y mayor puntaje, así como su población al año 2030.

Valor en Capacidad de Adaptación	Municipios con MENOR capacidad de adaptación	Población al 2030	Valor en Capacidad de Adaptación	Municipios con MENOR capacidad de adaptación	Población al 2030
0.000000	Magdalena Mixtepec, Oax.	785	0.763089	Tizimín, Yuc.	95838
0.077011	Zinacantán, Chis.	32795	0.763325	Tlajomulco de Zúñiga, Jal.	688046
0.081896	Osumacinta, Chis.	4391	0.770313	Ixtapaluca, Méx.	1116198
0.145575	San Andrés Zabache, Oax.	466	0.778271	Cusihuirachi, Chih.	2982
0.204984	San Martín Lachilá, Oax.	604	0.797946	Solidaridad, QRoo.	712057
0.223320	Chamula, Chis.	93440	0.799382	Guerrero, Chih.	25605
0.223376	Tehuipango, Ver.	35012	0.806341	Saltillo, Coah.	930523
0.228809	El Bosque, Chis.	15211	0.808281	Calakmul, Camp.	26054
0.233384	Pinotepa de Don Luis, Oax.	8982	0.816515	Cuatro Ciénegas, Coah.	10517
0.236767	Aquila, Ver.	998	0.821883	Milpa Alta, DF.	208591
0.240439	Santa María la Asunción, Oax.	2872	0.891075	Parras, Coah.	46211
0.245006	Santiago Xanica, Oax.	1880	0.929039	Othón P. Blanco, QRoo.	195621
0.245042	San Baltazar Yatzachi el Bajo, Oax.	428	0.931589	Madera, Chih.	19796
0.248105	Ayotzintepec, Oax.	9555	0.960752	Durango, Dgo.	566905
0.262161	Mixtla de Altamirano, Ver.	17923	1.000000	Hermosillo, Son.	1057578

Anexo 2.4. Promedio de valores en capacidad de adaptación base y futura por estado.

	Promedio de Capacidad Adaptación Base	Promedio de Capacidad Adaptación Futura		Promedio de Capacidad Adaptación Base	Promedio de Capacidad Adaptación Futura
Aguascalientes	0.567124	0.5732710	Morelos	0.548415	0.549028
Baja California	0.640118	0.6794417	Nayarit	0.569615	0.553501
Baja California Sur	0.547913	0.5583626	Nuevo León	0.569811	0.564890
Campeche	0.639895	0.6360402	Oaxaca	0.463336	0.452814
Coahuila	0.583838	0.5717419	Puebla	0.464070	0.460947
Colima	0.544569	0.5363105	Querétaro	0.525848	0.533699
Chiapas	0.380193	0.3916658	Quintana Roo	0.642343	0.673512
Chihuahua	0.590174	0.5695145	San Luis Potosí	0.511382	0.497108
Distrito Federal	0.723422	0.7091463	Sinaloa	0.575839	0.560087
Durango	0.587994	0.5641866	Sonora	0.586791	0.568071
Guanajuato	0.513498	0.5019749	Tabasco	0.504914	0.502344
Guerrero	0.441808	0.4374497	Tamaulipas	0.554512	0.538737
Hidalgo	0.490580	0.4859261	Tlaxcala	0.532325	0.539164
Jalisco	0.581212	0.5625238	Veracruz	0.456414	0.454815
México	0.551010	0.5649096	Yucatán	0.525957	0.528284
Michoacán	0.495848	0.4786912	Zacatecas	0.562546	0.542752

**CAPÍTULO 5 – UN MÉTODO PARA ESTIMAR LA VULNERABI-
LIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS MUNICIPIOS DE
MÉXICO**

1. Introducción

En materia de cambio global, vulnerabilidad se ha definido como “el grado al que un humano o sistema ambiental esta propenso a experimentar daño debido a una perturbación o estrés” (Luers et al., 2003). Smit (2006) considera que la vulnerabilidad “es una función de la exposición y sensibilidad de un sistema ante condiciones de daño, y la habilidad, capacidad o resiliencia del sistema, para enfrentar, adaptarse o recobrase de los efectos de esas condiciones”. Nótese como cambia la apreciación de sufrir un daño, en la primera definición se considera una posibilidad mientras que en la segunda se refiere a su ocurrencia y manifestación. Lo anterior fue considerado en la última definición adoptada por el IPCC (Parry et al., 2007), que señala que la vulnerabilidad es “el grado de susceptibilidad o incapacidad de un sistema para afrontar los efectos negativos del cambio climático”, incluyendo además la variabilidad y los fenómenos extremos. Esta definición subraya que la vulnerabilidad se encuentra en función del carácter, la dimensión y el índice de variación climática a que está expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación. En el presente capítulo se sigue la definición de vulnerabilidad adoptada por el IPCC.

La evaluación de la vulnerabilidad debe tratar de responder a preguntas fundamentales como: quién o qué es vulnerable, a qué se es vulnerable, su grado de vulnerabilidad, las causas que lo hacen vulnerable así como qué puede disminuir dicha vulnerabilidad. Ante esta diversidad de elementos, definir criterios para cuantificar la vulnerabilidad se torna difícil, en parte porque como lo menciona Downing et al (2001) la vulnerabilidad no es un fenómeno de observación directa. Además, la evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático (actual o futura) deberá ser capaz de integrar tanto la dimensión social como la biofísica de una región. Para ello, los métodos deben de considerar indicadores que se enfoquen en los determinantes de la capacidad adaptativa (en orden de examinar las respuestas potenciales), la sensibilidad (que describen las condiciones del ambiente humano) y el grado de exposición (al peligro directo, su naturaleza y extensión).

De acuerdo con Leichenko y O'Brien (2001) los indicadores de vulnerabilidad son necesarios para el proceso de toma de decisiones dado que proveen de información sobre dónde se encuentran las regiones y personas más expuestas, sensibles y, en consecuencia, más vulnerables. Vogel y O'Brien (2004) señalan que identificar los elementos de vulnerabilidad es un prerrequisito para la formulación e implementación de políticas que pueden promover el desarrollo equitativo y sustentable.

La literatura especializada provee dos enfoques en cuanto a conceptualizar la vulnerabilidad. Uno ve a la vulnerabilidad como un “punto final”, en términos de la cantidad de daño potencial causado a un sistema por un evento en particular. El otro enfoque considera la vulnerabilidad como un “punto de inicio”, como el estado que existe dentro de un sistema antes de enfrentarse a un determinado fenómeno (Kelly y Adger, 2000). Es posible encontrar ejemplos de evaluación de vulnerabilidad desde el primer enfoque (o punto final) ante amenazas específicas asociadas a ellos, como por ejemplo a la elevación del nivel del mar (El-Raey et al., 1999; Mimura, 1999; Nicholls, 2002; Pelling, 1999; Wu et al., 2002), a la sequía (Alderwish y Al-Eryani, 1999; Fowler et al., 2003; Krol et al., 2001; Liverman, 1999), y a tormentas tropicales (Connor y Hiroki, 2005; Kelly y Adger, 1999; Kelly y Adger, 2000; Schreider et al., 2000), entre otros. Quizás el grupo más amplio es aquel enfocado en la evaluación de los posibles impactos del cambio climático (Barr et al., 2010; DARA, 2010; DEFRA, 2010; Füssel, 2009; Harmeling, 2011; Hinkel, 2011; IMN y MINAE, 2005; Quinn et al., 2001; UNFCCC, 2008; Young et al., 2011). En este enfoque tradicional, se analiza el estresor y su correspondiente impacto, para examinar el sistema que es estresado y su capacidad de respuesta (Luers et al., 2003; Ribot, 1995).

Mas recientemente se encuentran ejemplos del enfoque de punto de inicio, como aquellos que proponen medir la vulnerabilidad social (Adger y Kelly, 1999; Brooks et al., 2005a; Cutter et al., 2009; Cutter et al., 2003; Dwyer et al., 2004; Guillaumont y Simonet, 2011; Sullivan y Meigh, 2005), la vulnerabilidad institucional (Aall y Norland, 2005), vulnerabilidad y gobernanza (Davis et al., 2010), vulnerabilidad enfocada a adaptación (DEFRA, 2010; Harley et al., 2008; Mitchell et al., 2010; Natural-England, 2010; UNEP, 2009). Algunos ejemplos de enfoque de evaluación de la vulnerabilidad por sectores aplicado a la agricultura pueden encontrarse en (Antle et al., 2004; Eakin, 2005; Hareau et al., 1999; Luers et al., 2003; Wheeler, 2011).

Como es de esperarse, se tienen diversas propuestas de métodos cuantitativos y semi cuantitativos de evaluación de la vulnerabilidad. Si se considera el enfoque y los métodos de evaluación entonces es posible identificar evaluaciones basadas en: 1) impactos del cambio climático, 2) adaptación al cambio climático, 3) vulnerabilidad ante cambio climático, 4) métodos que integran los anteriores, 5) aquellos enfocados en el manejo de riesgos y 6) basado en políticas (Carter et al., 2007). Los primeros cuatro enfoques encajan en los estudios de la vulnerabilidad ya señalados, desde un punto de inicio o punto final.

El enfoque de riesgos se asienta en una comprensión de probabilidades de ocurrencia de un evento que lo impulsa, una gama de posibles impactos y el análisis de diferentes respuestas. Aquí la vulnerabilidad es entendida como la exposición y susceptibilidad a tener pérdidas ante un peligro potencial (amenaza). La debilidad del concepto es que no muestra qué es lo que causa dicha vulnerabilidad, se limita a una relación de amenazas menos pérdidas. Por su parte, el enfoque basado en políticas (Marco de Políticas de Adaptación PNUD) identifica opciones de políticas para reducir los impactos del cambio climático. De esta forma, las políticas pueden orientarse hacia ciertos aspectos de una estrategia nacional de desarrollo, hacia un área geográfica o hacia algún sector importante de la economía (PNUD, 2005).

En el presente capítulo se propone un método que permite evaluar la vulnerabilidad del sector agrícola ante escenarios de cambio climático, con el fin de contribuir en su estudio y así contar con mayores elementos de decisión en la formulación de estrategias y políticas de adaptación en el sector.

2. Materiales y métodos

La evaluación de la vulnerabilidad partió de la definición del IPCC (2007), que la señala como “la medida en la que un sistema es capaz o incapaz de afrontar los efectos negativos del cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y los fenómenos extremos”. De tal manera que su evaluación “está en función del carácter, la magnitud y el índice de variación climática al que está expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación”. La estimación de la vulnerabilidad se aplicó sobre el sector agrícola mexicano, considerando indicadores que reflejan el grado de exposición al cambio climático, indicadores de sensibilidad a esos cambios así como indicadores que muestran la magnitud de su capacidad adaptativa. Se buscó que la evaluación fuera una evaluación integrada en tanto que los indicadores seleccionados fueran representativos de las condiciones biofísicas del campo mexicano y describieran además las condiciones socioeconómicas de las regiones del país. El procedimiento general en la evaluación se muestra en la Figura 5-1 y es descrito a continuación.



Figura 5-1. Marco general de construcción de índices de vulnerabilidad actual y futuros.

2.1 Búsqueda de información

En México existen fuentes de información en diferentes niveles gubernamentales y privados, en muchos casos la información es detallada y muy valiosa. Sin embargo, se decidió que la selección de información debía ser de fácil acceso, disponible a todo público y que además cumpliera el requisito de escala municipal. En un nivel jerárquico mayor, como los estados de la República, es posible perder precisión al generalizar las observaciones. Por su parte, es posible aplicar el método a niveles jerárquicos inferiores, como lo son las comunidades o grupos de población y sus territorios, pero obedecen a estudios locales que deben ser llevados a cabo considerando las particularidades heterogéneas del país.

La principal fuente de información en el país es el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), que es el organismo federal encargado del acopio y procesamiento de información en diversos temas. Tiene a su cargo aplicar los censos y conteos de población, censos económicos, agrícolas y generar estadísticas socioeconómicas y ambientales para el país. Además, existen otros organismos federales encargados de obtener y procesar información de acuerdo a su naturaleza y objeto de trabajo. Ejemplos son el Consejo Nacional de Población (CONAPO), la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Secretaría de Economía, entre otros. Se requiere en este proceso consultar todas las fuentes de información posibles de acuerdo al tipo de evaluación que se llevará a cabo. Para motivos del presente trabajo la búsqueda de información fue para todo el país, en escala municipal y bajo la premisa de ser información primaria, es decir, sin haber sido procesada estadísticamente reflejando algún índice compuesto. Resultado de la búsqueda de información se obtuvo un primer listado de posibles indicadores a ser utilizados en la evaluación de la vulnerabilidad.

2.2 Selección de indicadores

En el primer listado se obtuvo información de más de cien indicadores, a escala municipal. Se observó en algunos casos que existía información duplicada o bien, que mostraba información semejante entre sí. Lo anterior se entiende dado que la información primaria es usada por diversos organismos para construir mediciones o índices compuestos, que en su momento, parten de la misma información primaria. Así, se revisó nuevamente el listado de indicadores y algunos de ellos fueron eliminados. Toda vez que se obtuvo una base depurada fue necesario llevar a cabo consultas externas para conocer la opinión de expertos y posibles usuarios de la información. Se llevaron a cabo reuniones de revisión y validación con autoridades ambientales, en particular con la Secretaría de Agricultura (SAGARPA), la Secretaría de Medio Ambiente (SEMARNAT) y el Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, recibiendo sus comentarios e incorporando sus observaciones.

Después de la revisión y validación externa, los indicadores seleccionados se limitaron a 60, distribuidos de la siguiente manera: 16 para caracterizar la exposición, 23 para sensibilidad y 21 para capacidad adaptativa (Cuadro 5-1). De los indicadores seleccionados, 48 corresponden a información considerada base mientras que 10 son resultado de considerar dos modelos de cambio climático y dos son proyecciones socioeconómicas a futuro. A partir de lo anterior se procedió al acopio y procesamiento de las bases de datos para la construcción de los subíndices e índices.

Cuadro 5-1. Indicadores de vulnerabilidad, variables y fuente de información.

COMPO-NENTE	INDICADOR	DESCRIPCIÓN	MEDIDA	FUNCIÓN HIPOTÉTICA	FUENTE ¹
EXPOSICIÓN:					
Fenómenos Extremos	Amenaza a Sequía	Probabilidad de que exista lluvia por debajo de 400 milímetros.	%	A mayor valor, mayor exposición	A
	Inundaciones	Frecuencia reportada de inundaciones por municipio entre 1985 y 2000	Total	A mayor frecuencia, mayor exposición	B
	Heladas y granizadas	Frecuencia reportada de heladas y granizadas por municipio entre 1985 y 2000	Total	A mayor frecuencia, mayor exposición	B
	Deslizamientos	Frecuencia reportada de deslizamientos por municipio entre 1985 y 2000	Total	A mayor frecuencia, mayor exposición	B
	Lluvia intensa	Frecuencia reportada de lluvias intensas por municipio entre 1985 y 2000	Total	A mayor frecuencia, mayor exposición	B
	Otros tipos	Frecuencia reportada de otro tipo de fenómenos extremos por municipio entre 1985 y 2000	Total	A mayor frecuencia, mayor exposición	B
Problemática Ambiental	Problemática	Total de cinco problemas ambientales reportados por municipio (tala ilegal, incendios, plagas, pérdida de biodiversidad y contaminación de agua)	Total	A mayor cantidad, mas expuesto	C
	Sin vegetación	Porcentaje de la superficie sin vegetación aparente	%	A mayor %, mayor exposición	D
	Pérdidas por clima	Porcentaje de unidades de producción en el municipio que reportaron pérdidas por algún tipo climático	%	A mayor %, mayor exposición	D
	Pérdidas por fertilidad	Porcentaje de unidades de producción que reportaron pérdidas por falta de fertilidad en suelos	%	A mayor %, mayor exposición	D
Climatología	Temperatura base	Temperatura media anual (°C) observada para el periodo 1950-2000	°C	Escenario base	E
	Precipitación base	Precipitación media anual (mm) observada para el periodo 1950-2000	mm	Escenario base	E
Cambio Climático	Temperatura modelo ECHAM5	Temperatura futura (°C) modelo MPI ECHAM5, A2, al 2030	°C	Escenario de Cambio Climático	E
	Precipitación modelo ECHAM5	Precipitación futura (mm) modelo MPI ECHAM5, A2, al 2030	mm	Escenario de Cambio Climático	E
	Temperatura modelo HADGEM1	Temperatura futura (°C) modelo HADGEM1, A2, al 2030	°C	Escenario de Cambio Climático	E
	Precipitación modelo HADGEM1	Precipitación futura (mm) modelo HADGEM1, A2, al 2030	mm	Escenario de Cambio Climático	E
SENSIBILIDAD:					
Población	Jefatura femenina	Porcentaje de jefatura femenina de hogares en el municipio	%	A mayor %, mayor sensibilidad	F
	Hogares indígenas	Porcentaje de hogares indígenas en el municipio	%	A mayor %, mayor sensibilidad	F
	Pobreza alimentaria	Porcentaje de población en pobreza alimentaria	%	A mayor %, mayor sensibilidad	A
	Actividades primarias	Porcentaje de población en actividades primarias	%	A mayor %, mayor sensibilidad	D
Salud	Baja talla	Porcentaje de menores de cinco años con baja talla al nacer en comunidades rurales	%	A mayor %, mayor sensibilidad	A
	Bajo peso	Porcentaje de menores de cinco años con bajo peso al nacer en comunidades rurales	%	A mayor %, mayor sensibilidad	A
	Servicios de salud	Porcentaje de población sin acceso a servicios de salud	%	A mayor %, mayor sensibilidad	F
Agrícola	Superficie en actividades primarias	Superficie de tierras dedicadas a actividades primarias en el municipio	ha	A mayor %, mayor sensibilidad	D
	Riego	Porcentaje de unidades de producción sin algún sistema de riego	%	A mayor %, mayor sensibilidad	D
	Rendimientos para maíz de temporal	Rendimientos observados en maíz de temporal para el ciclo p-v en 2005	tn/ha	Escenario base	G

COMPONENTE	INDICADOR	DESCRIPCIÓN	MEDIDA	FUNCIÓN HIPOTÉTICA	FUENTE ¹
Agrícola Futuro	Bajo rendimiento en Maiz	Probabilidad de obtener bajo rendimiento en maíz	%	Escenario base	A
	Bajo rendimiento en Frijol	Probabilidad de obtener bajo rendimiento en frijol	%	Escenario base	A
	Bajo rendimiento en Sorgo	Probabilidad de obtener bajo rendimiento en sorgo	%	Escenario base	A
	Bajo rendimiento en Cebada	Probabilidad de obtener bajo rendimiento encebada	%	Escenario base	A
	Aptitud agrícola	Tipo de aptitud agrícola de la tierra para maíz de temporal en condiciones base (50-00)	Tipo	Escenario base	H
	Potencial ganadero	Tipo de potencial ganadero de la tierra en condiciones base (50-00)	Tipo	Escenario base	I
	Potencial forestal	Tipo de potencial forestal de la tierra en condiciones base (50-00)	Tipo	Escenario base	J
	Aptitud agrícola Modelo MPI ECHAM5 al 2030	Tipo de aptitud agrícola futura de la tierra para maíz de temporal bajo modelo MPI ECHAM5 A2 al 2030	Tipo	Escenario de Cambio Climático	H
	Potencial ganadero Modelo MPI ECHAM5 al 2030	Tipo de potencial ganadero futuro de la tierra bajo modelo MPI ECHAM5 A2 al 2030	Tipo	Escenario de Cambio Climático	I
	Potencial forestal Modelo MPI ECHAM5 al 2030	Tipo de potencial forestal futuro de la tierra bajo modelo MPI ECHAM5 A2 al 2030	Tipo	Escenario de Cambio Climático	J
Aptitud agrícola Modelo HADGEM1 al 2030	Tipo de aptitud agrícola futura de la tierra para maíz de temporal bajo modelo HADGEM1 A2 al 2030	Tipo	Escenario de Cambio Climático	H	
Potencial ganadero Modelo HADGEM1 al 2030	Tipo de potencial ganadero futuro de la tierra bajo modelo HADGEM1 A2 al 2030	Tipo	Escenario de Cambio Climático	I	
Potencial forestal Modelo HADGEM1 al 2030	Tipo de potencial forestal futuro de la tierra bajo modelo HADGEM1 A2 al 2030	Tipo	Escenario de Cambio Climático	J	
CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN:					
Capital Humano	Alfabetos	Porcentaje de personas del municipio de 15 años o más que sabe leer	%	A mayor %, mayor capacidad	K
	Asistencia escolar	Porcentaje de asistencia a escuela por población de 6 a 24 años,	%	A mayor %, mayor capacidad	F
	Alfabetización	Tasa de alfabetización por municipio	%	A mayor %, mayor capacidad	K
Capital Humano futuro	Cambio en población al 2030	Porcentaje de cambio en la población total del municipio entre el año 2005 y la estimada para 2030,	%	Escenario de Cambio Climático	L
Capital Social	Organización	Porcentaje de las unidades de producción del municipio organizadas para acceder a algún apoyo,	%	A mayor %, mayor capacidad	D
	Litigios por tierra	Porcentaje de las unidades de producción del municipio que no señalan litigio o disputas por la tierra,	%	A mayor %, mayor capacidad	D
	Capacitación	Porcentaje de las unidades de producción del municipio que no señalaron falta de capacitación,	%	A mayor %, mayor capacidad	D
	Propiedad	Porcentaje de las unidades de producción del municipio sin dificultad para acreditar posesión de la tierra,	%	A mayor %, mayor capacidad	D
	Protección Civil	Existencia de una unidad de protección civil en el municipio,	presencia	Si existe la unidad, hay mas CA	C
Capital Financiero	Amenazas	Existencia de un mapa que muestra las principales amenazas naturales en el municipio,	presencia	Si existe el mapa, hay mas CA	C
	Acceso a crédito	Porcentaje de unidades de producción del municipio sin dificultad para acceder a crédito,	%	A mayor %, mayor capacidad	D
	Remesas	Porcentaje de unidades de producción del municipio que reciben remesas de otros países	%	A mayor %, mayor capacidad	D

COMPONENTE	INDICADOR	DESCRIPCIÓN	MEDIDA	FUNCIÓN HIPOTÉTICA	FUENTE ¹	
Capital financiero futuro	Ahorro	Porcentaje de unidades de producción del municipio que reportaron algún tipo de ahorro	%	A mayor %, mayor capacidad	D	
	Crédito y seguro	Porcentaje de unidades de producción del municipio con cobertura de crédito y seguro	%	A mayor %, mayor capacidad	D	
	Apoyos	Total de apoyo económico per cápita en el municipio (PROCAMPO, PET, PACC) entre 2007 y 2009,	Total	A mayor cantidad, mayor capacidad	A	
	Ingreso	Porcentaje de población con ingreso menor a dos salarios mínimos mensuales,	%	A mayor %, mayor capacidad	F	
	PIB 2000	Producto interno bruto por municipio para el año 2000,	US\$	A mayor cantidad, mayor capacidad	F	
	PIB 2030	Producto interno bruto estimado para 2030,	US\$	A mayor cantidad, mayor capacidad	E	
	Capital Natural	Bosques y selvas	Superficie total del municipio con presencia de bosques y/o selvas	Ha	A mayor %, mayor capacidad	D
		Reforestación	Superficie reforestada en el municipio	Ha	A mayor cantidad, mayor capacidad	F
		Acuíferos	Estimación de la relación entre recarga / extracción de los acuíferos,	-	A mayor cantidad, mayor capacidad	M

¹ Las fuentes de información fueron: A=BM, B=(CENAPRED, 2010), C=(SEDESOL, 2010), D=(INEGI, 2009), E=(Fernandez et al., 2009), F=(INEGI, 2006), G=(SAGARPA, 2009), H=(Monterroso et al., 2011a), I=(Monterroso et al., 2011b), J=(Gómez et al., 2011), K=(CONAPO, 2005), L=(CONAPO, 2006), M=(CONAGUA, 2009).

2.3 Tratamiento de los datos

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

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

Donde Z representa el valor estandarizado de la variable v , X_i el valor observado de v , X el valor medio del conjunto de valores i , y DS la desviación estándar del conjunto de valores i . Con los datos estandarizados se procedió al cálculo de cada uno de los subíndices de exposición, sensibilidad, capacidad adaptativa y vulnerabilidad, descritos más adelante. Una vez calculados los subíndices, fueron normalizadas sus distancias a valores que recorren de 0 a 100, de acuerdo con la fórmula:

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

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

2.4 Obtención de subíndices

Exposición

La exposición, como se describió en el Capítulo 2 de este trabajo, se refiere al grado de estrés climático sobre una unidad particular de análisis, puede estar representada por cambios en las condiciones climáticas o bien por cambios en la variabilidad climática, donde se incluye la magnitud y frecuencia de eventos extremos (O'Brien et al., 2004a). Con el objetivo de construir un índice capaz de comparar a los municipios de México

en cuanto a su exposición climática y al cambio climático, se optó por la construcción de un índice sintético que fuera capaz de incorporar los indicadores seleccionados. Para ello, se consideraron tres grupos de indicadores: a) frecuencia de eventos extremos, b) problemática ambiental y b) cambios modelados en el clima.

- Frecuencia de eventos extremos. Una amenaza a la actividad agrícola en el país es la alta variabilidad climática que históricamente ha incluido eventos de fenómenos extremos. En regiones con alta frecuencia de eventos como sequías e inundaciones, la producción agrícola se encuentra más expuesta. Se consideró la amenaza a sequía, reporte de inundaciones, heladas y granizadas, deslizamientos de tierra, lluvias intensas y otros tipos de fenómenos naturales.
- Problemática ambiental. Incluye la presencia de cinco problemas ambientales (tala ilegal, incendios, plagas y enfermedades, pérdida de biodiversidad y contaminación de agua), porcentaje de la superficie municipal sin vegetación, porcentaje de unidades de producción⁵ que reportaron pérdidas por cuestiones climáticas y también porcentaje de unidades de producción con pérdidas por falta de fertilidad en los suelos.
- Cambios modelados en el clima. Se miden los cambios modelados por cambio climático que las regiones del país podrán experimentar, entre más adversos sean los cambios mayor dificultad se experimentará para poder ajustar la producción agrícola. Incluyen temperatura y precipitación media anuales, así como las proyecciones futuras en temperatura y precipitación para los modelos HADGEM1 y MPI ECHAM5, bajo el escenario A2 para el año 2030 (Fernandez et al., 2009).

Los indicadores estandarizados se integraron por una media aritmética y se calcularon tres subíndices: con 12 indicadores se construyó el subíndice de exposición base, y el mismo número de indicadores para los subíndices de exposición futura, tanto del modelo HADGEM1 como del modelo MPI ECHAM5 (Figura 5-2). Por último, aplicando la fórmula (2) se normalizaron sus distancias.

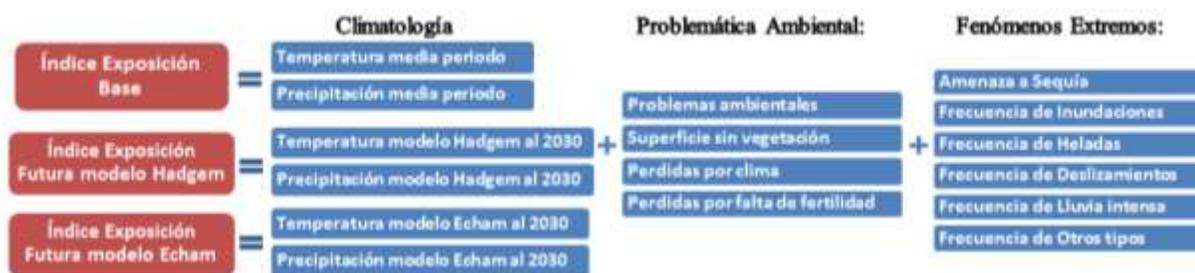


Figura 5-2. Indicadores y secuencia de creación de subíndices de exposición.

Sensibilidad

La sensibilidad es el grado en el que un sistema es potencialmente modificado o afectado por un disturbio, interno, externo o un grupo de ellos. Esta medida determina el grado en el que un sistema se puede ver afectado por un estrés, son las condiciones humanas y ambientales que pueden empeorar o disminuir los impactos por un determinado fenómeno. La evaluación de la sensibilidad, como se presentó en el Capítulo 3 de esta tesis, se agrupó en tres: a) población, b) salud y c) agrícola.

- Población. Se enfoca en evaluar las características de los grupos humanos, en cuanto a sus particularidades de sensibilidad. Incluye el porcentaje de hogares con jefatura femenina, porcentaje en hogares indígenas, porcentaje con pobreza alimentaria y en actividades primarias.
- Salud. Permite evaluar el acceso a servicios de salud y la capacidad de respuesta ante problemas sanitarios, dado que un sistema con fortaleza será menos sensible ante cambios en alguna variable climática. Se

⁵ INEGI define a las Unidades de Producción como el “conjunto formado por los terrenos, con o sin actividad agropecuaria o forestal en el área rural o con actividad agropecuaria en el área urbana, ubicados en un mismo municipio; los animales que se posean o críen; así como los equipos, maquinarias y vehículos destinados a las actividades agrícolas, pecuarias o forestales; siempre que durante el periodo de marzo a septiembre del 2007, todo esto se haya manejado bajo una misma administración”, para el censo agrícola, pecuario y forestal realizado en el año 2007. El INEGI reportó ese año la cantidad de 5 548 845 unidades de producción en el país.

consideró al porcentaje de menores de cinco años con baja talla al nacer, porcentaje con bajo peso y porcentaje de la población sin acceso a servicios de salud.

- Agrícola. Son considerados los elementos sensibles de la evaluación o el sistema evaluado. Evalúa el estado de potencial productivo de la tierra, dado que algún cambio desfavorable en ellos significará una reducción en la capacidad agrícola productiva. Se tomaron los indicadores de porcentaje de superficie en actividades primarias, porcentaje de unidades de producción que no reportaron tener riego, rendimientos promedio para maíz de temporal, probabilidad de bajo rendimiento en el cultivo de maíz, frijol, sorgo y cebada, así como aptitud para la agricultura, para la ganadería y aptitud para el crecimiento de especies forestales. Sobre las aptitudes también se incluyeron las proyecciones de acuerdo a los dos modelos de cambio climático antes señalados.

La construcción de cada uno de los subíndices de sensibilidad consideró los grupos de población, salud, agrícola y aptitud agrícola o aptitud agrícola futura, según el caso, mediante una media aritmética de sus indicadores y componentes. Los tres subíndices obtenidos fueron normalizados de acuerdo con la fórmula (2).

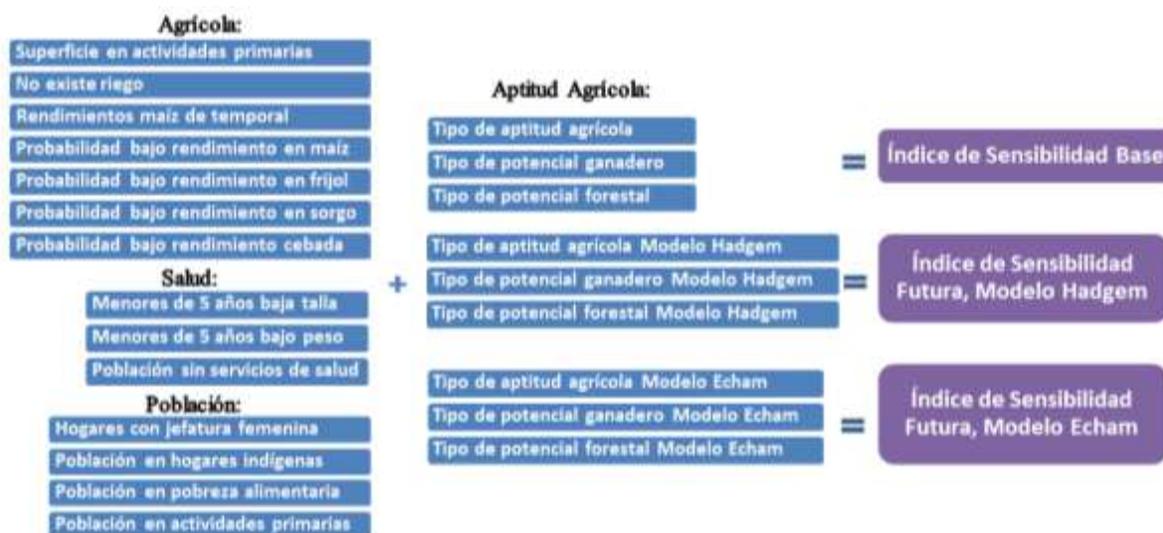


Figura 5-3. Indicadores y secuencia de creación de subíndices de sensibilidad.

Capacidad adaptativa

Se abordó en el Capítulo 4 de esta tesis y se refiere a la capacidad de un sistema de enfrentar los efectos del cambio climático, al potencial de implementar medidas que ayuden a disminuir los posibles impactos identificados. La capacidad adaptativa de una sociedad refleja su capacidad de modificar sus características o comportamientos para enfrentar de una mejor manera o anticiparse a los factores que impulsan el cambio. Se consideraron 21 indicadores en cuatro grupos: a) capital humano, b) capital social, c) capital financiero y d) el grupo capital natural.

- Capital humano. Se evalúan las condiciones de vida de las personas como una medida de capacidad para hacer frente a vulnerabilidades. Se incluye el porcentaje de población mayor de 15 años que sabe leer, la asistencia a escuelas por población de seis a 24 años, la tasa de alfabetización reportada y la proyección de la población por municipio para el año 2030.
- Capital social. Se representa por la organización de los productores, donde las redes conformadas permiten el acceso a información, recursos y créditos. Además, facilitan la cooperación en temas colectivos, donde la adopción de tecnologías puede ayudar a hacer frente a los cambios. Está representado por seis indicadores: porcentaje de unidades de producción organizadas, porcentaje de unidades sin litigios por la tierra, porcentaje de unidades que señalan no faltarles capacitación técnica, unidades de producción sin problemas de acreditación de la propiedad de la tierra, existencia de unidad de protección civil así como de un mapa que muestre las zonas amenazadas a peligros naturales en un municipio.

- Capital financiero. Proveen información general de la situación económica de los municipios, buscando identificar las regiones que se encuentran mejor preparadas para responder a adversidades. Fueron ocho indicadores los considerados: acceso a créditos, remesas del extranjero, ahorro, crédito y seguro, promedio de apoyos gubernamentales per cápita en un municipio, ingreso y producto interno bruto del año 2000 y su proyección al 2030.
- Capital natural. Es una medida del grado de riqueza de ecosistemas y sus funciones, así como de las acciones para incrementar su superficie. Se incluyeron tres indicadores: superficie con bosques y/o selvas, superficie reforestada y recarga de acuíferos.

Para capacidad adaptativa se construyeron dos subíndices: la construcción del subíndice base consideró los capitales social, natural, financiero y humano. El subíndice de capacidad adaptativa futura se construyó reemplazando dos indicadores (PIB y Población total) proyectados al año 2030, por tanto, los otros se consideraron constantes para el mismo año 2030. Los dos subíndices se obtuvieron a partir de la media aritmética de sus indicadores y al después fueron normalizados de la misma forma que los anteriores.



Figura 5-4. Indicadores y secuencia de creación de subíndices de capacidad adaptativa.

2.5 Vulnerabilidad base y futura.

Después de estandarizar los datos y de obtener los subíndices de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa se calculó la vulnerabilidad base y futura por dos métodos: un análisis de componentes principales y por medio de una media aritmética. El primero, bajo la idea de asignar diferentes pesos a los indicadores y el segundo, a través de asignar el mismo peso al conjunto de indicadores. De acuerdo con la literatura existen tres formas de asignar peso a los indicadores: 1) a través de juicio de expertos (Brooks et al., 2005b; Moss et al., 2001), 2) asignando un mismo peso (Lucas y Hilderink, 2004; O'Brien et al., 2004a) y 3) por medio de métodos estadísticos, como el análisis de componentes principales o análisis factorial (Cutter et al., 2003; Thornton et al., 2006). Por lo anterior, se decidió aplicar los dos métodos estadísticos para tener dos diferentes salidas y comprobar los puntajes finales de vulnerabilidad en los municipios, evaluando aquellos que de

acuerdo a los dos métodos reflejan igual magnitud en la severidad de su vulnerabilidad. No se incluyó una asignación de pesos por la vía de expertos clave debido a la escala municipal de trabajo, que implicaría haber tomado en cuenta a todos los involucrados, es un trabajo que absorbe mucho tiempo y que muestra dificultad para llegar a un consenso entre los participantes clave (Lowry et al., 1995).

Componentes principales

El análisis de componentes principales (ACP) es una técnica para extraer (o reducir), de un grupo amplio de variables, aquellas combinaciones lineales que mejor capturan la información. Se definió, de acuerdo con Filmer y Pritchett (2001) y con CONAPO (2005), el primer componente principal extraído del grupo de variables como el índice que captura la mayor cantidad de información de todas las variables. Así, junto con el valor medio (m), la desviación estándar (s) y los pesos (f_n) de cada indicador (i), se obtuvo el puntaje final del primer componente principal extraído, aquí llamado Índice de Vulnerabilidad (IV):

$$IV = f_1(i_{1j} - m_1)/(s_1) + \dots + f_n(i_{Nj} - m_N)/(s_N) \quad (3)$$

Cabe señalar que el ACP se aplicó para obtener un índice de vulnerabilidad denominado base. Consistió en incluir todas las variables de los grupos exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa antes descritos, considerando además aquellas variables que fueron proyectadas bajo escenarios de cambio climático (Figura 5-5).

Pesos iguales

El otro método aplicado fue la asignación de mismos pesos a todas las variables, a partir de obtener la suma aritmética de los subíndices de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa. Se construyó un índice de vulnerabilidad base y dos índices de vulnerabilidad futura, uno para cada modelo de cambio climático aplicado, considerando los subíndices futuros antes señalados (Figura 5-2) y de acuerdo con:

$$\text{Vulnerabilidad Base} = (\text{exposición} + \text{sensibilidad}) - \text{capacidad de adaptación} \quad (4)$$

Una vez obtenidos los índices de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa, se construyó el índice de vulnerabilidad y a cada municipio del país le fue asignado el valor obtenido, permitiendo jerarquizar el grado de vulnerabilidad por municipio en el país. El rango de valores final fue dividido en cinco grupos de acuerdo a una distribución geométrica de las frecuencias y a cada grupo se le asignó un indicador cualitativo de severidad en su vulnerabilidad:

Cuadro 5-2. Criterios aplicados para definir la vulnerabilidad en los municipios de México

Índice de vulnerabilidad	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Severidad de la vulnerabilidad	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta

Finalmente, con la información obtenida se pudieron cartografiar los índices y la severidad de la vulnerabilidad en mapas a nivel municipal.

3. Resultados

3.1 Vulnerabilidad base

Como se señaló en el apartado metodológico, la estimación del índice de vulnerabilidad comparó dos métodos: un análisis de componentes principales y la asignación de mismos pesos a las variables. De esta manera, en el mismo orden se presentan los resultados.

3.1.1 Vulnerabilidad a partir de componentes principales

Los resultados del análisis factorial fueron obtenidos a través del software estadístico SPSS (ver. 18). El número de factores que se extrajeron fue uno, es decir, la primera componente principal formada (en este caso, el índice de vulnerabilidad) tal como se extrajo, en México, el índice de marginación de CONAPO (2005). De los 60 indicadores utilizados, la primera componente está compuesta por el 30.5 por ciento del total de la varianza explicada, es decir, las variables de entrada muestran una baja correlación entre ellas. La prueba

para evaluar la adecuación del modelo fue el índice de KMO (medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin) comúnmente utilizado en el análisis factorial. El valor encontrado fue de 0.829, calificado como meritorio (según Kaiser) y resulta bastante aceptable.

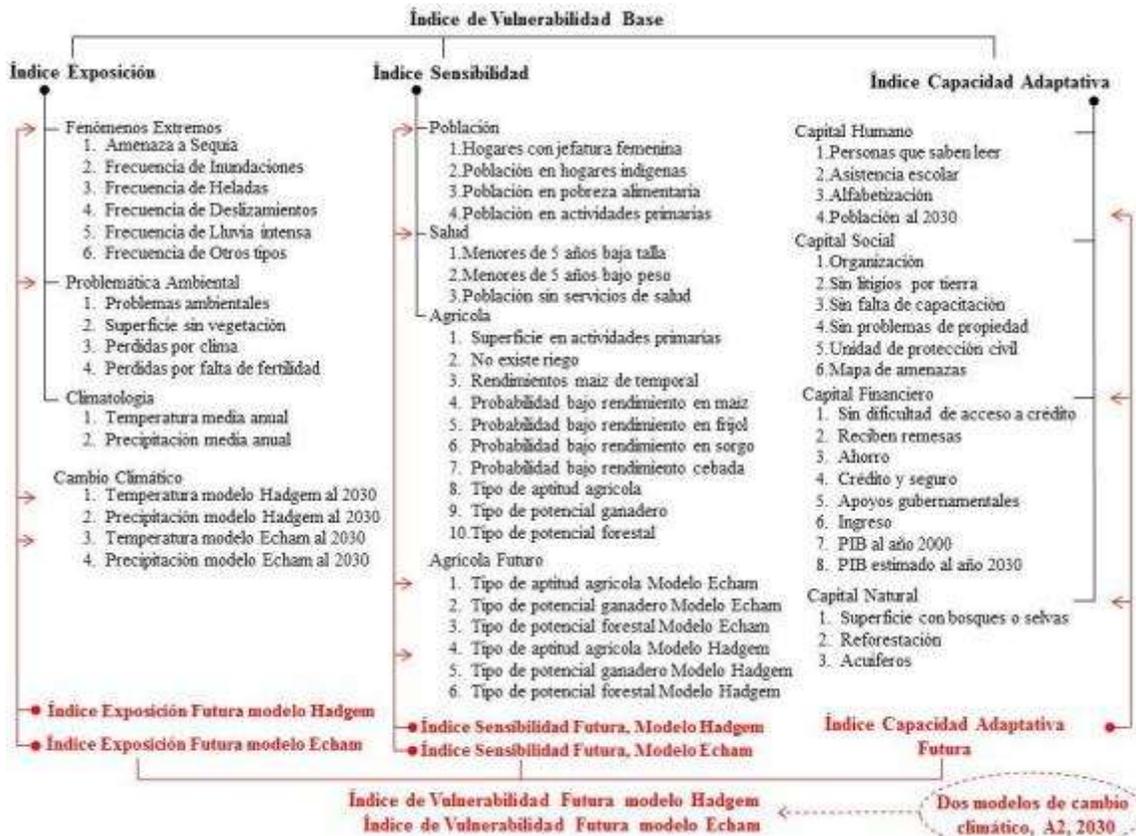


Figura 5-5. Indicadores y marco general de evaluación de la Vulnerabilidad Base y Futura.

Al evaluar cada una de las variables introducidas al análisis factorial, se observa que los indicadores que más aportan en la conformación de la primera componente principal (comunalidades) fueron 16: amenaza a la sequía, los problemas ambientales, hogares con jefatura femenina, unidades de producción que señalaron no tener riego, vulnerabilidad del maíz, frijol, cebada y sorgo, aptitud agrícola según el modelo MPI ECHAM5, aptitud agrícola y ganadera según el modelo HADGEM1, protección civil, mapa de amenazas, unidades de producción con remesas de otros países, con crédito y seguro y los apoyos recibidos por programas federales; todos ellos con comunalidad superior a 0.6. No está por demás señalar que el resto de los indicadores (44) tuvieron comunalidades menores a 0.6 por lo que su aporte a la primera componente no es significativo. Así, 16 indicadores son los que resultaron significativos.

El análisis factorial, como un método de reducción de dimensiones, permite establecer pesos ponderados para cada variable. De tal manera que para la obtención del índice de vulnerabilidad se obtuvieron los coeficientes (pesos) de cada indicador para el cálculo de las puntuaciones finales. La matriz de coeficientes resultó bipolar para el índice de vulnerabilidad, es decir, existen 35 indicadores con valores positivos (aumentan) y 25 con valores negativos (disminuyen la vulnerabilidad). En el anexo 5 se presentan los puntajes y comunalidades obtenidas para cada indicador.

A partir de los pesos obtenidos para cada indicador se obtuvo el índice de vulnerabilidad por componentes principales. La severidad de la vulnerabilidad fue clasificada en muy baja (0-20), baja (21-40), media (41-60), alta (61-80) y muy alta (81-100). En la figura 5-7 se presenta la distribución territorial del índice. En esta, se muestra que con grado de vulnerabilidad muy alta se definen 39 municipios (1.6%) y con alta 279, o bien el 11.4 por ciento de los municipios del país. Para la categoría media vulnerabilidad hay 823 municipios (33.5%), y en los grados baja y muy baja vulnerabilidad 1141 (46.5%) y 173 (7%) municipios, respectiva-

mente. Si se agrupan las categorías con alta y muy alta vulnerabilidad, entonces se refieren a 318 municipios o el 13 por ciento del país.

De acuerdo con el método de componentes principales, el 13 por ciento de los municipios del país se define con alta y muy alta vulnerabilidad. Si se considera la población al año 2005, entonces se tiene que el 4.5 por ciento de los habitantes del país se encuentran en esta condición de vulnerabilidad (poco más de 4.3 millones). Con grado de vulnerabilidad media se encuentra el 17.5 por ciento de la población, poco más de lo 17.5 millones de personas. En los dos últimos grados de vulnerabilidad, bajo y muy bajo, se encuentran el 78 por ciento de los habitantes (más de 79 millones de personas).

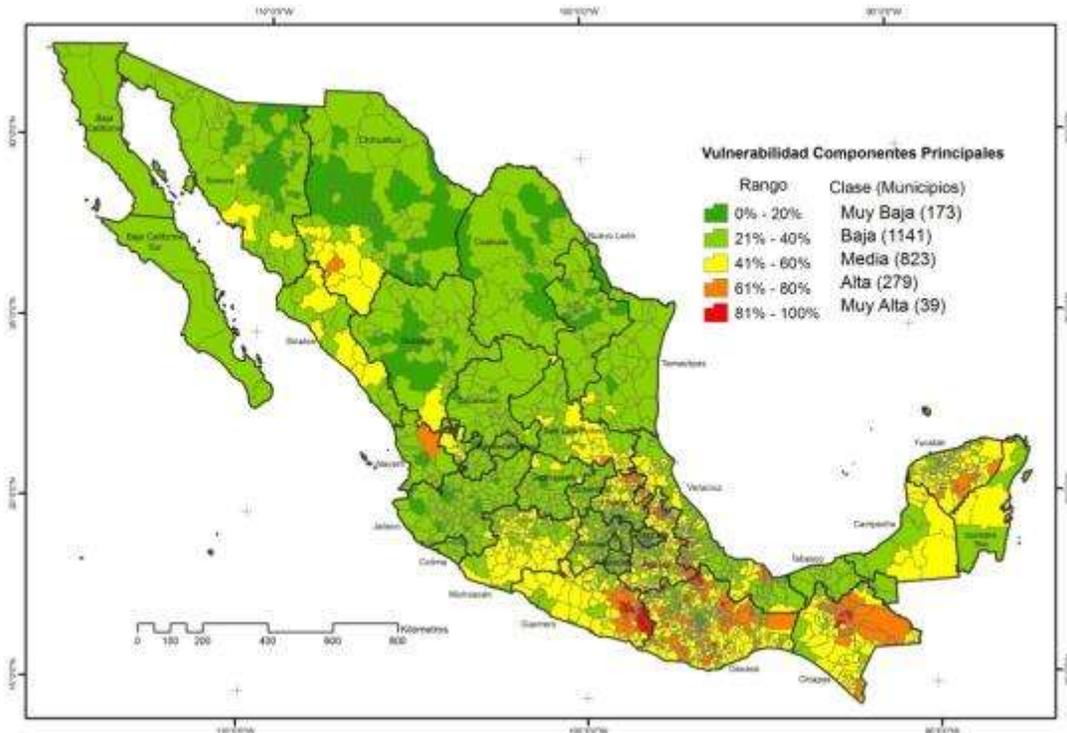


Figura 5-6. Índice de vulnerabilidad por componentes principales (base)

3.1.2 Vulnerabilidad a partir de mismos pesos

El segundo método aplicado fue la asignación de mismos pesos a los indicadores considerados. El objetivo fue contrastar los resultados para evaluar el comportamiento y la semejanza con ambos criterios. En este sentido, es importante recordar que la exposición fue analizada en el Capítulo 2, la sensibilidad en el Capítulo 3 y la capacidad de adaptación en el Capítulo 4 de esta tesis. El primero consistió en evaluar tres ejes: fenómenos extremos, problemática ambiental así como climatología y escenarios de cambio climático futuros. El segundo también fue analizado en tres ejes: población, salud y agrícola. Por último, la capacidad de adaptación incluyó la evaluación de cuatro capitales: humano, social, financiero y natural. Para cada uno de ellos se calcularon sub índices que refleja la severidad del grupo estudiado.

3.1.2.1 Exposición, Sensibilidad y Capacidad Adaptativa

En la integración del índice de vulnerabilidad base se obtuvieron correlaciones positivas de 0.73 con el índice de exposición y 0.75 con el índice de sensibilidad. En el caso del índice de capacidad adaptativa la correlación fue negativa con valor de -0.73. Lo anterior se explica dado que los dos primeros, exposición y sensibilidad, al incrementar su magnitud aumentan la vulnerabilidad del municipio. Por su parte, la capacidad adaptativa es reflejo del potencial que guarda el municipio y su población de hacer frente a los cambios, por lo tanto, a mayor capacidad tiende a disminuir su vulnerabilidad (Figura 5-6). Aunque para los tres ejes las correlaciones son significativas al ser mayores de 0.7, el grado de ajuste a un comportamiento lineal para los 2455 municipios del país (R^2) es de 0.53 para el índice de exposición, en sensibilidad equivalente a 0.55 y en capacidad adaptativa es de 0.53.

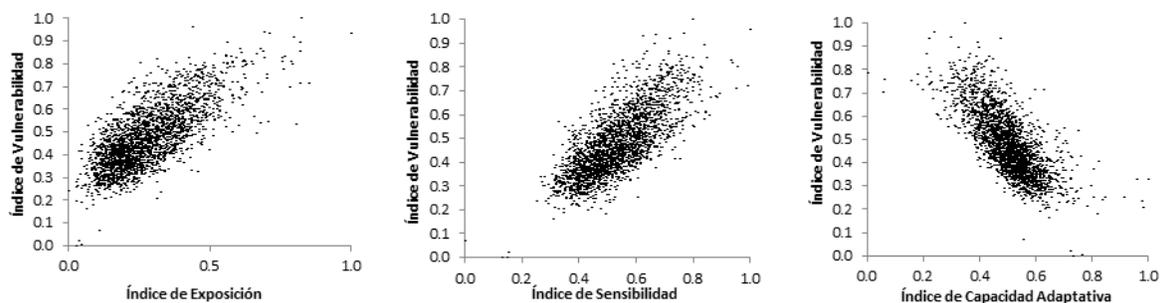


Figura 5-7. Dispersión y correlación para índices de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación, dentro del índice de vulnerabilidad.

En el caso de exposición y sensibilidad, como ya se ha mencionado, tienden a incrementar la vulnerabilidad conforme aumenta la severidad de cada una. Así por ejemplo, en exposición se observa el menor valor que define la vulnerabilidad de algún municipio en el país. Si se tiene un valor de 5.5 en exposición se espera un grado de vulnerabilidad muy baja, 28.0 para el grado medio y 62.2 para la categoría de muy alta vulnerabilidad (Cuadro 5-3). Si la exposición fue evaluada a partir de fenómenos extremos, problemática ambiental y valores climáticos, entonces lo anterior sugiere que basta un cambio en la presencia u ocurrencia de alguno de ellos para elevar la vulnerabilidad del municipio. Incluso, desde un valor de 62.2 en exposición se espera muy alta vulnerabilidad, situación que no ocurre con sensibilidad (72.3). En este caso de sensibilidad, se requieren cambios más significativos en sus variables para definir algún grado de vulnerabilidad. En la clase muy baja vulnerabilidad se observa un valor de 25, poco más del doble (54) para la categoría media y casi el triple (72.3) para la categoría de muy alta vulnerabilidad. La capacidad adaptativa por su parte tiende a disminuir la vulnerabilidad, entre mayor es su valor se espera aumento en capacidad de adaptarse y en consecuencia menor vulnerabilidad. En el grado de vulnerabilidad muy alta se tiene una capacidad de adaptación de 35.4, en media es de 49.6 y en muy baja vulnerabilidad de 68.9, casi el doble que la primera. Los cuatro capitales estudiados (humano, social, financiero y natural) presentan en su conjunto el nivel inferior más alto (35.4) de los tres componentes de vulnerabilidad (exposición 5.5 y sensibilidad 25).

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

En resumen, los grupos de indicadores que mejor correlación mostraron en la caracterización de la vulnerabilidad son, para exposición el clima y los problemas ambientales. En sensibilidad la población y la salud. En capacidad adaptativa los indicadores de la dimensión humana y financiera. Por su parte, los que menos correlación mostraron fueron, para exposición la frecuencia de fenómenos extremos, para sensibilidad las aptitudes agrícolas y para capacidad de adaptación la dimensión de organización social y el capital natural. Mas información al respecto de las correlaciones y los errores estimados para los sub índices se presentan en los anexos 1 a 4 al final de esta tesis.

Cuadro 5-3. Participación promedio de índices de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación según grado de vulnerabilidad base.

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

En cuanto al total de municipios expuestos en el país, en los grados de muy baja y baja exposición se encuentran 762 y 1275 municipios, respectivamente. De medio a muy alto se definieron 418 municipios, 17 por ciento del total nacional. En los rangos alto y muy alto se encuentran 44 y siete municipios, respectivamente. Es decir, el 2 por ciento de los municipios del país observan alto y muy alto valor en su exposición climática. La población que habita en los municipios con muy alta exposición, según el conteo del año 2005, es de 3,644,601 de habitantes (3.6%), con alta exposición 6,719,103 (6.6%) y media exposición 21,962,429 personas (21.5%). En las últimas dos clases, de baja y muy baja exposición equivalen a 49,628,638 (48.7%) y 20,037,227 (19.6%), respectivamente. De acuerdo con estos resultados, es posible señalar que más de diez millones de personas (10.2%) en el país han observado alta y muy alta exposición en los últimos años, principalmente por la ocurrencia de fenómenos extremos, problemas ambientales y clima severo. Los estados cuyos municipios presentan los valores más altos en exposición son Oaxaca, Chiapas, Chihuahua, Sonora y el Distrito Federal. Sin embargo, también es de resaltar que los estados que muestran valor alto en el índice de exposición son aquellos que tienen costas, sobresaliendo la Península de Yucatán, la vertiente del Golfo de México y del Pacífico.

Para sensibilidad se encontró que en los grados de muy baja y baja sensibilidad se encuentran 4 y 317 municipios, respectivamente. De medio a muy alto se definieron 2134 municipios, 87 por ciento del total nacional. En los grados de alta y muy alta sensibilidad se encuentran 602 y 31 municipios, respectivamente. Es decir, el 26 por ciento de los municipios del país observan alta y muy alta sensibilidad. Respecto a la población total (censo del año 2005) con muy alta sensibilidad se encontraban 272,005 de habitantes (0.2%), con alta exposición 10,770,191 (10.5%) y media 71,252,437 (69.8%) de personas. En las últimas dos clases, baja y muy baja sensibilidad, equivalen a 19,697,365. De acuerdo con estos resultados, es posible señalar que más de once millones de personas (10.7%) en el país observan alta y muy alta sensibilidad, principalmente por sus grupos de población, salud y actividades agrícolas. Los estados cuyos municipios presentan los valores más altos de sensibilidad son Oaxaca, Puebla y Guerrero. Sin embargo, también es de resaltar que los estados que muestran valor alto en el índice de sensibilidad son Chiapas, Hidalgo, Guanajuato, San Luís Potosí, Chihuahua, Coahuila, Sonora y Baja California.

La capacidad adaptativa muestra que de muy baja y baja capacidad de adaptación se encuentran siete y 293 municipios, respectivamente. De media a muy alta capacidad se definieron 2155 municipios, 88 por ciento del total nacional. En los rangos alta y muy alta capacidad se encuentran 282 y 11 municipios, respectivamente. Es decir, el 12 por ciento de los municipios del país observan alta y muy alta capacidad adaptativa mientras que el 88 por ciento de los municipios se encuentran en las categorías de media a muy baja capacidad. Según el conteo de población del año 2005, con muy alta capacidad de adaptación se encontraba el 2.3 por ciento de la población nacional (2,367,948 de habitantes). Con alta capacidad 35,507,651 (34.8%) y media capacidad 60,098,781 (58.9%) de personas, es decir, 93.8 por ciento del total nacional en conjunto. En las últimas dos clases, baja y muy baja capacidad, equivalen a 4,017,618 de personas (3.9%). De acuerdo con estos resultados, es posible señalar que más de 64 millones de personas (62.8%) en el país observan de media a muy baja capacidad de adaptación, principalmente por sus capitales humanos, sociales, financieros y naturales que los definen. Los estados cuyos municipios presentan los valores más bajos de capacidad adaptativa son Chiapas, Oaxaca y Guerrero. Sin embargo, también son de resaltar Veracruz, Puebla, Hidalgo, Yucatán, Michoacán y Nayarit.

3.1.2.2 Índice de Vulnerabilidad

Toda vez que se obtuvieron los índices para cada dimensión de la vulnerabilidad se integraron bajo la diferencia de la suma de exposición y sensibilidad menos la capacidad adaptativa. La distribución espacial de la vulnerabilidad bajo este método se presenta en la figura 5-8. La vulnerabilidad fue clasificada en cinco grupos: muy baja (0-20), baja (21-40), media (41-60), alta (61-80) y muy alta (81-100). Con grado de vulnerabilidad muy alta se definen 39 municipios (1.6%) y con alta 405, o bien el 16.5 por ciento de los municipios del país. Para la categoría media vulnerabilidad hay 1239 municipios (50.5%), y en los grados baja y muy baja vulnerabilidad 764 (31%) y 8 (0.4%) municipios, respectivamente. Si se agrupan las categorías con alta y muy alta vulnerabilidad, entonces se refieren a 444 municipios o el 18.1 por ciento del país.

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

39.5 millones de personas). Si se integran los grados de media, alta y muy alta vulnerabilidad, entonces mas de 62.5 millones de personas (61%) en el país son vulnerables.

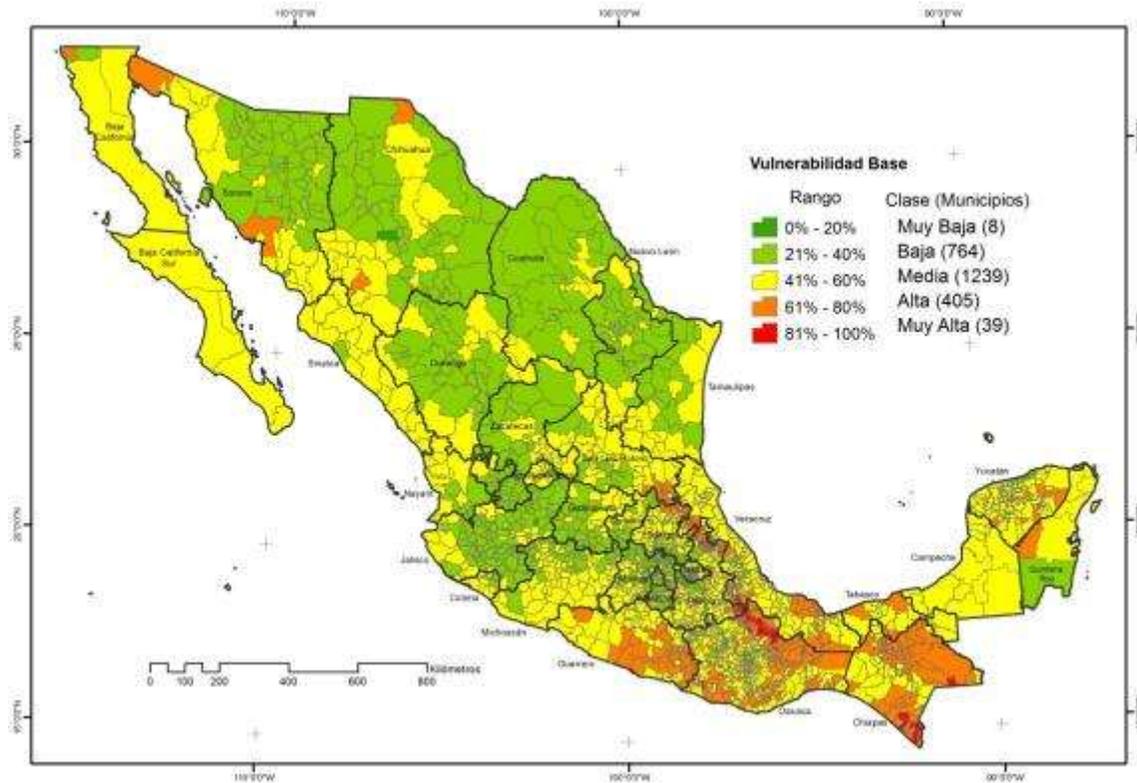


Figura 5-8. Índice de vulnerabilidad (base)

Para los quince municipios con menor vulnerabilidad, su población total para el año 2005 asciende a 1.5 millones de habitantes. Distrito Federal, Estado de México y Durango son los estados que concentran la mayor población con los valores más bajos de vulnerabilidad. En los quince municipios con valor más alto en vulnerabilidad la población era superior a los quinientos mil habitantes en el mismo año, tres veces menos que los primeros. En este caso Oaxaca, Chiapas, Veracruz y Puebla sobresalen por ser aquellos que más población presentan en esta condición (Cuadro 5-4).

Cuadro 5-4. Municipios con menor y mayor vulnerabilidad, así como su población al año 2005.

Valor en Vulnerabilidad	Municipios con MENOR vulnerabilidad	Población al 2005	Valor en Vulnerabilidad	Municipios con MAYOR vulnerabilidad	Población al 2005
0.16307	Tonanitla, Méx.	8081	0.84192	San Juan Petlapa, Oax.	2717
0.18256	Cusihuiriacchi, Chih.	4835	0.84731	San Pedro Ixcatlán, Oax.	10931
0.19117	Tequixquiác, Méx.	31080	0.85277	Santa María Chilchotla, Oax.	20577
0.19718	Jilotzingo, Méx.	13825	0.85816	Escuintla, Chis.	27364
0.20221	Apaxco, Méx.	25738	0.85835	Santiago Jocotepec, Oax.	12423
0.20575	Durango, Dgo.	526659	0.86559	Zongolica, Ver.	39156
0.20728	Chalchihuites, Zac.	10519	0.86763	Pinotepa de Don Luis, Oax.	6703
0.20780	Bustamante, NL.	3326	0.89374	Filomeno Mata, Ver.	14426
0.21153	San Dimas, Dgo.	19303	0.89765	San Felipe Jalapa de Díaz, Oax.	25395
0.21645	Melchor Ocampo, Méx	37706	0.91848	San Lucas Ojitlán, Oax.	19871
0.21934	Susticacán, Zac.	1235	0.93290	Tapachula, Chis.	282420
0.21966	Zumpango, Méx	127988	0.93467	Ayotzintepec, Oax.	6524
0.22330	Coyoacán, DF.	628063	0.93971	Hueyapan, Pue.	11105
0.22437	Santa María de la Paz, Zac.	2601	0.96052	Santa María la Asunción, Oax.	3223
0.22730	Huehuetoca, Méx.	59721	1.00000	San José Tenango, Oax.	18120

3.1.3 Comparación de métodos

Con el objetivo de comparar las dos salidas de los índices de vulnerabilidad denominados base se presenta la Figura 5-9. Los municipios que obtuvieron valores semejantes en ambos métodos y para todos los rangos son 1377, o bien el 56 por ciento del total nacional. En general, el método de componentes principales tiende a observar un comportamiento menos drástico de severidad en la vulnerabilidad, comparado con una asignación de mismos pesos. Así por ejemplo, 148 municipios (6%) fueron definidos con mayor vulnerabilidad en comparación con la asignación de mismos pesos. Mientras que 930 municipios (38%) fueron calificados con menor puntaje, comparados con el método de mismos pesos.

El grado de vulnerabilidad medio es el que observa mayor diferencia entre los dos métodos. En el método de asignación de mismos pesos se definieron 1239 municipios, mientras que en componentes principales 823. Sin embargo, únicamente 606 municipios coinciden con una calificación de afectación media. En esta clase media, la vulnerabilidad definida por componentes principales le otorga un puntaje menor a 545 municipios, respecto al método de mismos pesos.

El método de reducción de dimensiones o componentes principales resultó ser un método más fácil de aplicar aunque sus resultados son menos severos en la definición de vulnerabilidad. Debido a que en este método todos los indicadores son ingresados para un análisis general, se dispersa el sentir de la exposición y sensibilidad, que en conjunto aumentan la vulnerabilidad, así como la capacidad de adaptación, que disminuye la vulnerabilidad. Para componentes principales los resultados muestran que 35 indicadores tienen valores positivos (es decir, aumentan la vulnerabilidad) y 25 indicadores presentan valores negativos (es decir, disminuyen la vulnerabilidad). Por el contrario, en el método de mismos pesos fue posible definir 39 indicadores que aumentan la vulnerabilidad (16 de exposición y 23 de sensibilidad) y 21 indicadores que la disminuyen (capacidad adaptativa).

Existen indicadores que claramente deben definir en mayor medida la vulnerabilidad de un municipio. Es el caso, por ejemplo, de la frecuencia de ocurrencia de fenómenos extremos. A mayor cantidad observada en un mismo municipio debe ser calificado con mayor vulnerabilidad por el método seleccionado. Bajo el criterio de componentes principales tres de estos indicadores (heladas, deslizamientos y otros) resultaron con signo negativo (Anexo 5), es decir, un aporte de disminución de la vulnerabilidad. Lo mismo sucede con otros indicadores, como el producto interno bruto, que a mayor cantidad el método de componentes les asigna un valor negativo. Es en este sentido que se engloban los resultados de menor severidad general en la definición de la vulnerabilidad municipal. El comportamiento de los indicadores, bajo componentes principales, no permite diferenciar la severidad (impactos) de la capacidad de adaptación. Caso que si es posible en el método de asignación de mismos pesos en la integración del índice de vulnerabilidad.

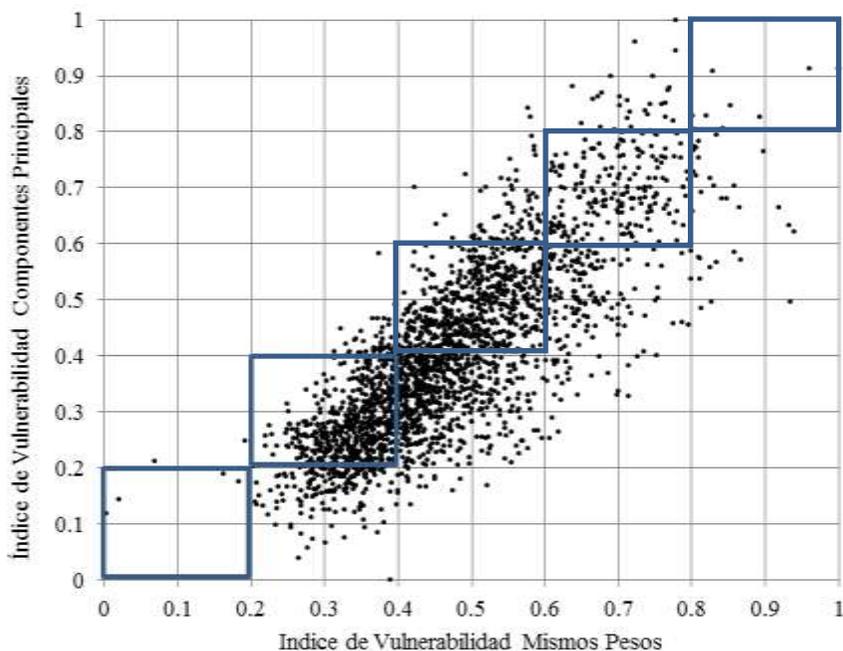


Figura 5-9. Comparación de los dos métodos utilizados para definir la vulnerabilidad base

La distribución geográfica de la vulnerabilidad por el método de componentes principales se presentó en la Figura 5-6, mientras que aquella obtenida por la asignación de mismos pesos se presentó en la Figura 5-8. Los dos métodos coinciden en que 39 municipios son de muy alta vulnerabilidad aunque su distribución es diferente. Para el método de componentes principales los municipios más vulnerables se encuentran en Guerrero, Oaxaca, Chiapas y Puebla. Para el método de mismos pesos se definen en Oaxaca, Chiapas, Puebla y Veracruz. En el grado de vulnerabilidad alta para el método de componentes principales se definieron 279 municipios y en el de mismos pesos 405. A pesar de esta diferencia, las regiones con este grado de vulnerabilidad son similares, a excepción de algunos municipios en Baja California, Sonora y Nayarit. Un comportamiento similar se observa en las clases definidas como de media vulnerabilidad, aunque bajo el método de mismos pesos se definieron más municipios que en componentes principales.

De manera general, se pueden definir zonas con tendencia similar en los dos métodos: con vulnerabilidad media la región sur del estado de Chihuahua, centro y norte de Sinaloa, sur de Durango y norte de Jalisco, todo el estado de Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Puebla, Hidalgo, Campeche, Yucatán, y el sureste de San Luís Potosí y norte de Quintana Roo. Con alta y muy alta vulnerabilidad coinciden los dos métodos en las regiones sureste de Guerrero, sur y norte de Chiapas, norte de Oaxaca (límites con Veracruz y Puebla), norte de Puebla, noreste de Hidalgo y límites con Veracruz.

Así pues, se debe tomar en cuenta esta consideración para la selección del método a utilizarse. La reducción de dimensiones por el método de componentes principales permite hacer evaluaciones más rápidas de la vulnerabilidad, pero con menor correlación con sus variables, en comparado con la asignación de mismos pesos. Por su parte, el método de mismos pesos es más complicado pero permite otorgar mejor a cada dimensión de la vulnerabilidad su aporte y tendencia en la evaluación. Si se desea conocer el aporte de la exposición y sensibilidad a la vulnerabilidad sólo se puede lograr con el método de asignación de mismos pesos. Además, si se consideran los objetivos de mayor precisión y de planeación de medidas de adaptación a partir de la evaluación de la vulnerabilidad se define mejor la aplicación del método de asignación de mismos pesos. Por lo anterior y de acuerdo con los resultados aquí presentados, para definir la vulnerabilidad base de los municipios del país se consideró mantener aquella definida con el método de mismos pesos. También, es el método que se seleccionó para la definición de la vulnerabilidad futura, presentada en el siguiente apartado.

3.2 Índices de Vulnerabilidad futura en México

La definición de dos índices de vulnerabilidad futura en los municipios del país consistió en aplicar dos modelos de cambio climático sobre variables climáticas (temperatura y precipitación), su aplicación en cambios de aptitud para actividades agrícolas, ganaderas y forestales, así como proyecciones de crecimiento de población y del producto interno bruto. Los indicadores fueron integrados en dos índices de vulnerabilidad futura, cada uno denominado por el modelo que lo rige, ya sea MPI ECHAM5 o HADGEM1, ambos para el horizonte del año 2030 y bajo el escenario A2. Los resultados se presentan a continuación.

3.2.1 Índice de Vulnerabilidad futura: MPI ECHAM5

En la integración del índice de vulnerabilidad futura bajo este modelo se obtuvieron correlaciones positivas de 0.76 con el índice de exposición y 0.74 con el índice de sensibilidad. En el caso del índice de capacidad adaptativa la correlación fue negativa con valor de -0.73. Lo anterior se explica dado que los dos primeros, exposición y sensibilidad, al incrementar su magnitud aumentan la vulnerabilidad del municipio. Por su parte, la capacidad adaptativa es reflejo del potencial que guarda el municipio y su población de hacer frente a los cambios, por tanto, a mayor capacidad tiende a disminuir su vulnerabilidad. Del mismo modo que los mapas anteriores, la vulnerabilidad futura bajo este modelo fue clasificada en cinco grupos: muy baja (0-20), baja (21-40), media (41-60), alta (61-80) y muy alta (81-100).

En promedio, si se tiene un valor de 8.2 en exposición se espera un grado de vulnerabilidad muy baja, 25.8 para el grado medio y 56.6 para la categoría de muy alta vulnerabilidad (Cuadro 5-5). Es importante subrayar que para el escenario base se encontró un valor de 5.5 para el grado muy bajo y de 62.2 para el muy alto. Lo anterior denota que la participación de la exposición futura en definir la vulnerabilidad futura muestra que los extremos se reducen. Es decir, si en el escenario base se tiene un valor de 62.2 para ser considerado como de muy alta vulnerabilidad, en el modelo MPI ECHAM5 el valor, para ser considerado en la misma categoría, se reduce a 56.6.

En el caso de sensibilidad y para la clase de muy baja vulnerabilidad se observa un valor de 24.8, poco menos del doble (43.9) para la categoría media y desde 60.5 para la categoría de muy alta vulnerabilidad. Sobre esta última, en el escenario base se encontró un valor de 72.3, lo que denota la alta sensibilidad que muestra el modelo en su comportamiento futuro.

Cuadro 5-5. Participación promedio de índices de exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación según grado de vulnerabilidad futura.

Grado de Vulnerabilidad	HADGEM1			MPI ECHAM5		
	Exposición	Sensibilidad	Capacidad Adaptación Futura	Exposición	Sensibilidad	Capacidad Adaptación Futura
Base Muy Baja	8.2	30.5	71.6	8.2	24.8	71.6
Baja	18.7	42.0	57.1	18.5	35.2	57.1
Media	26.6	53.5	49.5	25.8	43.9	49.5
Alta	39.8	64.7	41.7	38.1	53.2	41.7
Muy Alta	57.1	72.4	34.9	56.6	60.5	34.9

La capacidad adaptativa por su parte tiende a disminuir la vulnerabilidad, entre mayor es su valor se espera aumento en capacidad de adaptarse y en consecuencia menor vulnerabilidad. En el grado de vulnerabilidad muy alta se tiene una capacidad de adaptación de 34.9 y para la categoría media es de 49.5, muy similar al escenario base. En el grado de muy baja vulnerabilidad para el escenario base se encontró de 68.9 mientras que para este modelo fue de 71.6. Es decir, el nivel para ser considerado en la categoría de muy baja vulnerabilidad sube para el escenario futuro en casi 3 puntos porcentuales.

En su distribución geográfica (Figura 5-10) y con grado de vulnerabilidad muy alta se definieron 52 municipios (2.1%) y con alta 405, o bien el 16.5 por ciento de los municipios del país. Para la categoría de media vulnerabilidad hay 1212 municipios (49.5%), y en los grados baja y muy baja vulnerabilidad 768 (31.5%) y 18 (0.4%) municipios, respectivamente. Si se agrupan las categorías con alta y muy alta vulnerabilidad, entonces se refieren a 457 municipios o el 18.6 por ciento del país.

Poco más del 18 por ciento de los municipios del país se definen con alta y muy alta vulnerabilidad según el modelo. Si se considera la población al año 2030, entonces se tiene que el 13.8 por ciento de los habitantes del país se encuentran en esta condición de vulnerabilidad (poco más de 16.5 millones), cuatro millones más que en el escenario base. Con grado de vulnerabilidad media se encuentra el 40.2 por ciento de la población, poco más de lo 48 millones de personas. En los dos últimos grados de vulnerabilidad, bajo y muy bajo, se encuentran el 46 por ciento de los habitantes (más de 55.5 millones de personas), es decir, 16 millones de personas menos, comparado con escenario base. Si se integran los grados de media, alta y muy alta vulnerabilidad, entonces más de 64.5 millones de personas (45%) en el país serán vulnerables, lo que significa un incremento de 2 millones de personas al comparar con escenario base.

Al comparar los resultados del modelo con el escenario base, se tiene que la cantidad de municipios que se mantiene sin cambio de acuerdo con su clase de vulnerabilidad es de 2161 (88% del total nacional). Aquellos municipios que aumentan su exposición son 148 (6%) y los que disminuyen de acuerdo al modelo son 146 (6%). Aquellos municipios que disminuyen su vulnerabilidad significan poco más de doce millones de personas, mientras que los que señalan un aumento de vulnerabilidad equivalen a poco más de 5.3 millones de habitantes (Cuadro 5-6).

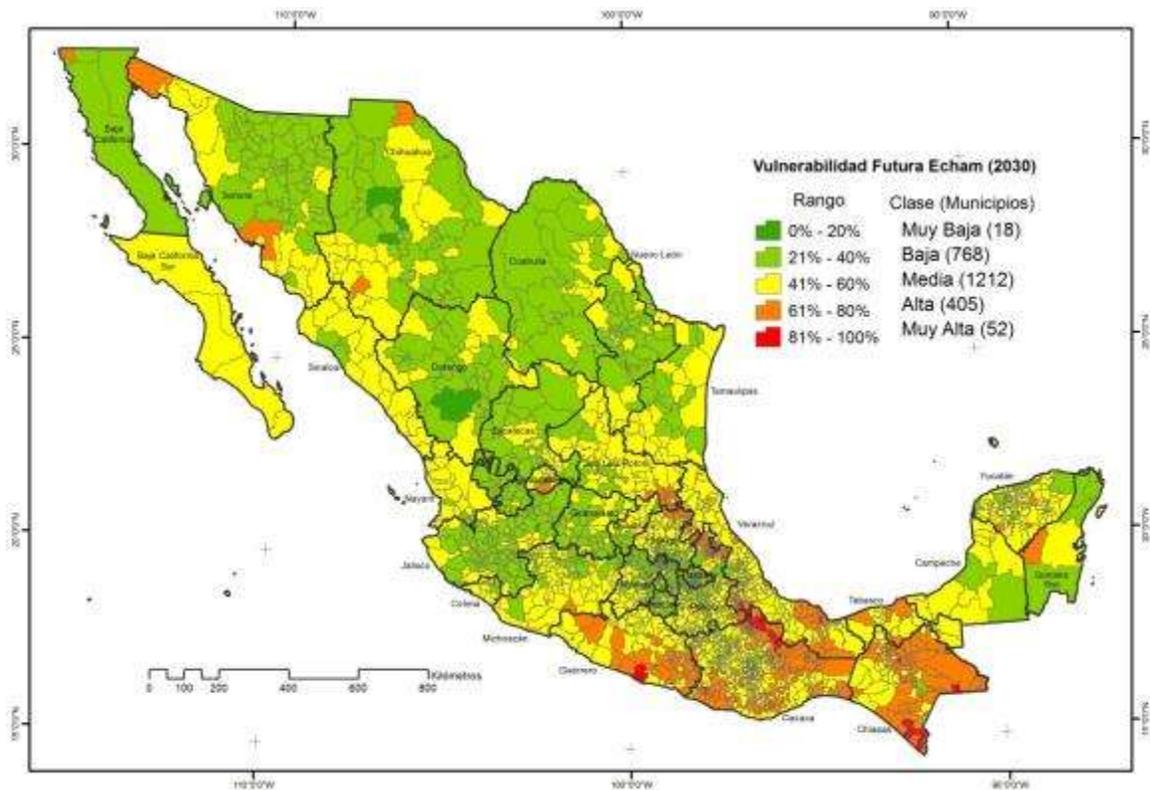


Figura 5-10. Índice de vulnerabilidad futura (MPI ECHAM5)

Tomando en consideración los quince municipios con menor vulnerabilidad obtenida por el modelo, se tiene que la población total para el año 2030 asciende a poco más de 2.5 millones de habitantes. Estado de México, Durango, Chihuahua e Hidalgo son los estados que concentran la mayor población con los valores más bajos de vulnerabilidad. En los quince municipios con valor más alto en vulnerabilidad de acuerdo al modelo la población será poco menos del medio millón de habitantes para el mismo año, cuatro veces menos que los primeros. En este caso, Chiapas, Oaxaca, Puebla y Veracruz sobresalen por ser aquellos que más población presentan en esta condición (Cuadro 5-7).

Cuadro 5-6. Población total al 2030 según grado de vulnerabilidad base y futura.

Grado de Vulnerabilidad	Vulnerabilidad Futura: MPI ECHAM5*					Total	
	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta		
Base	Muy Baja	77,680 (8)				77,680 (8)	
	Baja	2,499,720 (10)	43,616,481 (680)	2,928,488 (74)		49,044,689 (764)	
	Media		8,835,047 (88)	44,353,338 (1095)	1,693,041 (56)	54,881,426 (1239)	
	Alta			924,851 (43)	13,390,081 (344)	675,950 (18)	14,990,882 (405)
	Muy Alta				77,314 (5)	694,856 (34)	772,170 (39)
Total	2,577,400 (18)	52,451,528 (768)	48,206,677 (1212)	15,160,436 (405)	1,370,806 (52)	119,766,847 (2455)	

* Entre paréntesis se muestra el total de municipios

Cuadro 5-7. Municipios con menor y mayor vulnerabilidad (MPI ECHAM5), así como su población al año 2030.

Valor en Vulnerabilidad	Municipios con MENOR vulnerabilidad	Población al 2030	Valor en Vulnerabilidad	Municipios con MAYOR vulnerabilidad	Población al 2030
0.13340	Mineral de la Reforma, Hgo.	198838	0.87404	Santa María Chilchotla, Oax.	18122
0.13531	Huehuetoca, Méx.	174665	0.87820	Huehuetla, Pue.	13413
0.15123	Cusihuiriacih, Chih.	2982	0.88397	Unión Juárez, Chis.	8418
0.15695	Tonanitla, Méx.	16500	0.88498	Zongolica, Ver.	34002
0.16581	Durango, Dgo.	566905	0.89050	San Felipe Jalapa de Díaz, Oax.	40071
0.17505	Zumpango, Méx.	262755	0.89079	Cacahoatán, Chis.	30999
0.17577	Cuautitlán, Méx.	266387	0.90674	Pinotepa de Don Luis, Oax.	8982
0.17833	Milpa Alta, DF.	208591	0.91234	Hueyapan, Pue.	18715
0.18697	Tecamac, Méx.	769885	0.91375	Tuzantán, Chis.	24876
0.18731	Tequixquiac, Méx.	47190	0.95505	Santa María la Asunción, Oax.	2872
0.18770	Namiquipa, Chih.	12540	0.96361	San Bartolomé Ayautla, Oax.	3658
0.18867	Riva Palacio, Chih.	4797	0.96556	Ayotzintepec, Oax.	9555
0.19063	Jilotzingo, Méx.	11008	0.96874	San Lucas Ojitlán, Oax.	20371
0.19473	Apaxco, Méx.	34357	0.97141	Tapachula, Chis.	247192
0.20082	San Dimas, Dgo.	12020	1.00000	San José Tenango, Oax.	13458

3.2.2 Índice de Vulnerabilidad futura: HADGEM1

En la integración del índice de vulnerabilidad futura bajo este modelo se obtuvieron correlaciones positivas de 0.74 con el índice de exposición y 0.77 con el índice de sensibilidad. En el caso del índice de capacidad adaptativa la correlación fue negativa con valor de -0.71. Lo anterior se explica dado que los dos primeros, exposición y sensibilidad, al incrementar su magnitud aumentan la vulnerabilidad del municipio. Por su parte, la capacidad adaptativa es reflejo del potencial que guarda el municipio y su población de hacer frente a los cambios, por lo tanto, a mayor capacidad tiende a disminuir su vulnerabilidad. Del mismo modo que los mapas anteriores, la vulnerabilidad futura bajo este modelo fue clasificada en cinco grupos: muy baja (0-20), baja (21-40), media (41-60), alta (61-80) y muy alta (81-100).

En promedio para el componente de exposición, si se tiene un valor de 8.2 se espera un grado de vulnerabilidad muy baja, 26.6 para el grado medio y 57.1 para la categoría de muy alta vulnerabilidad (Cuadro 5-5). Es importante subrayar que para el escenario base se encontró un valor de 5.5 para el grado muy bajo y de 62.2 para el muy alto. Lo anterior denota que la participación de la exposición futura en definir la vulnerabilidad también futura muestra que los extremos se reducen. Es decir, si en el escenario base se tiene un valor de 62.2 para ser considerado como de muy alta vulnerabilidad, en el modelo HADGEM1 el valor, para ser considerado en la misma categoría, se reduce a 57.1, es decir, reduce en 5 por ciento el límite.

En el caso de sensibilidad y para la clase de muy baja vulnerabilidad se observa un valor de 30.5, poco menos del doble (53.5) para la categoría media y desde 72.4 para la categoría de muy alta vulnerabilidad. El comportamiento es muy parecido al escenario base.

La capacidad adaptativa por su parte tiende a disminuir la vulnerabilidad, entre mayor es su valor se espera aumento en capacidad de adaptarse y en consecuencia menor vulnerabilidad. En el grado de vulnerabilidad muy alta se tiene una capacidad de adaptación de 34.9 y para la categoría media es de 49.5, muy similar al escenario base. En el grado de muy baja vulnerabilidad para el escenario base se encontró de 68.9 mientras que para este modelo fue de 71.6. Es decir, el nivel para ser considerado en la categoría de muy baja vulnerabilidad sube para el escenario futuro en casi 3 puntos porcentuales.

En su distribución geográfica (Figura 5-11) y con grado de vulnerabilidad muy alta se definieron 64 municipios (2.6%) y con alta 518, o bien el 21 por ciento de los municipios del país. Para la categoría de media vulnerabilidad hay 1217 municipios (49.5%), y en los grados baja y muy baja vulnerabilidad 644 (26.5%) y 12 (0.4%) municipios, respectivamente. Si se agrupan las categorías con alta y muy alta vulnerabilidad, entonces se refieren a 582 municipios o el 23.6 por ciento del país.

Poco más del 23 por ciento de los municipios del país se definen con alta y muy alta vulnerabilidad según el modelo. Si se considera la población al año 2030, entonces se tiene que el 15.1 por ciento de los habitantes del país se encuentran en esta condición de vulnerabilidad (poco más de 18 millones), dos y medio millones más que en el escenario base. Con grado de vulnerabilidad media se encontrará el 45.2 por ciento de la población, poco más de lo 54 millones de personas. En los dos últimos grados de vulnerabilidad, bajo y muy bajo, se encontrará el 39.6 por ciento de los habitantes (más de 47 millones de personas), es decir, 2 millones de personas menos, comparado con escenario base. Si se integran los grados de media, alta y muy alta vulnerabilidad, entonces más de 72 millones de personas (60%) en el país serán vulnerables, lo que significa un incremento de 2 millones de personas al comparar con escenario base.

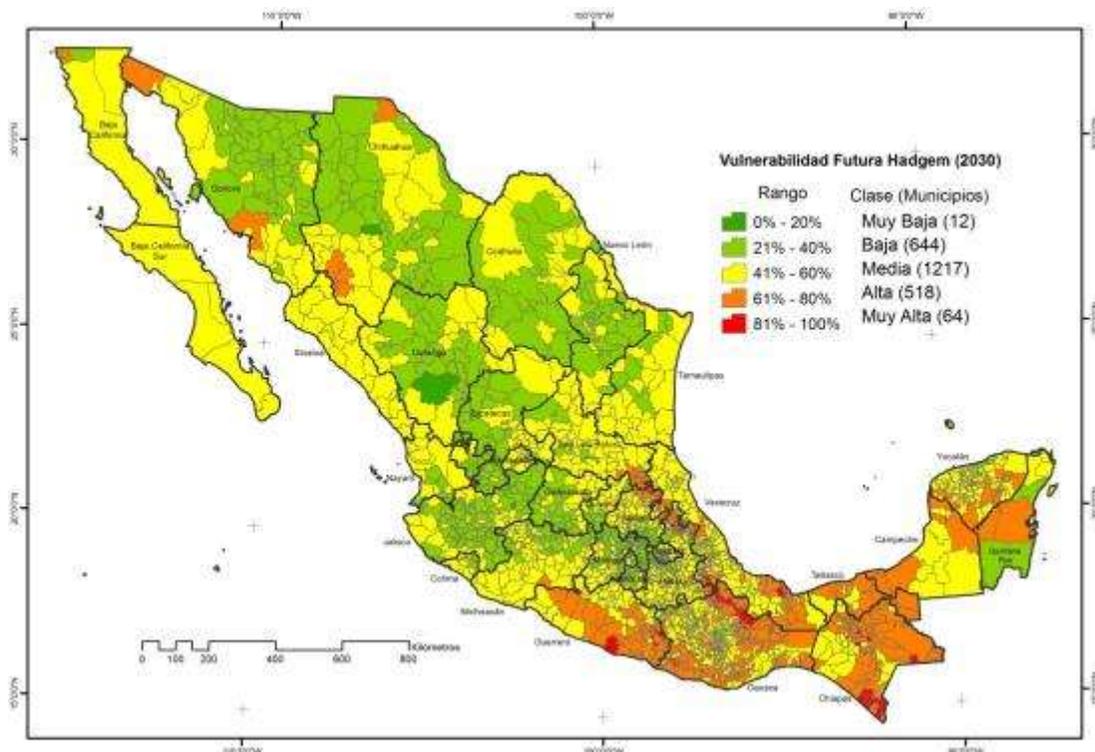


Figura 5-11. Índice de vulnerabilidad futura (HADGEM1)

Al comparar los resultados del modelo con el escenario base, se tiene que la cantidad de municipios que se mantiene sin cambio de acuerdo con su clase de vulnerabilidad es de 2102 (86% del total nacional). Aquellos municipios que aumentan su exposición son 314 (12.5%) y los que disminuyen de acuerdo al modelo son 39 (1.5%). Aquellos municipios que disminuyen su vulnerabilidad significan poco más de cuatro millones de personas, mientras que los que señalan un aumento de vulnerabilidad equivalen a poco más de 8.1 millones de habitantes (Cuadro 5-8).

Cuadro 5-8. Población total al 2030 según grado de vulnerabilidad base y futura.

Grado de Vulnerabilidad	HADGEM1*					Total
	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta	
Muy Baja	77,680 (8)					77,680 (8)
Baja	1,206,795 (4)	43,362,544 (617)	4,475,350 (143)			49,044,689 (764)
Media		2,878,489 (27)	49,365,370 (1069)	2,637,567 (143)		54,881,426 (1239)
Alta			285,453 (5)	13,628,393 (372)	1,077,036 (28)	14,990,882 (405)
Muy Alta				37,410 (3)	734,760 (36)	772,170 (39)
Total	1,284,475 (12)	46,241,033 (644)	54,126,173 (1217)	16,303,370 (518)	1,811,796 (64)	119,766,847 (2455)

* Entre paréntesis se muestra el total de municipios

Tomando en consideración los quince municipios con menor vulnerabilidad obtenida por el modelo, se tiene que la población total para el año 2030 asciende a poco más de 2.5 millones de habitantes. Estado de México, Durango, Chihuahua, Zacatecas e Hidalgo son los estados que concentran la mayor población con los valores más bajos de vulnerabilidad. En los quince municipios con valor más alto en vulnerabilidad de acuerdo al modelo la población será poco menos del medio millón de habitantes para el mismo año, cuatro veces

menos que los primeros. En este caso, Chiapas, Oaxaca y Puebla sobresalen por ser aquellos que más población presentan en esta condición (Cuadro 5-9).

Cuadro 5-9. Municipios con menor y mayor vulnerabilidad (HADGEM1), así como su población al año 2030.

Valor en Vulnerabilidad	Municipios con MENOR vulnerabilidad	Población al 2030	Valor en Vulnerabilidad	Municipios con MAYOR vulnerabilidad	Población al 2030
0.15040	Huehuetoca, Méx.	174665	0.87875	Huautepec, Oax.	3525
0.17094	Mineral de la Reforma, Hgo.	198838	0.88128	Unión Juárez, Chis.	8418
0.17651	Tonanitla, Méx.	16500	0.88249	Santa María Jacatepec, Oax.	5549
0.18885	Durango, Dgo.	566905	0.88526	San Pedro Atoyac, Oax.	2145
0.19149	Tequixquiác, Méx.	47190	0.90768	San Pedro Mártir, Oax.	1100
0.19536	Jilotzingo, Méx.	11008	0.91331	San Felipe Jalapa de Díaz, Oax.	40071
0.19663	Cuautitlán, Méx.	266387	0.91410	Tuzantán, Chis.	24876
0.19899	Cusihuiachi, Chih.	2982	0.94235	San Bartolomé Ayautla, Oax.	3658
0.20956	Santa María de la Paz, Zac.	1596	0.94242	Hueyapan, Pue.	18715
0.21268	Ocoyoacac, Méx.	78473	0.96019	Pinotepa de Don Luis, Oax.	8982
0.21383	Chalchihuites, Zac.	6460	0.96712	Santa María la Asunción, Oax.	2872
0.21442	Tecámac, Méx.	769885	0.97782	Ayotzintepec, Oax.	9555
0.21539	Capulhuac, Méx.	42398	0.98857	San Lucas Ojitlán, Oax.	20371
0.21589	Zumpango, Méx.	262755	0.99493	Tapachula, Chis.	247192
0.21772	Atenco, Méx.	87745	1.00000	San José Tenango, Oax.	13458

3.3 Grados de Vulnerabilidad en México

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

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

– *Alta vulnerabilidad.* En estos municipios la temperatura promedio en el periodo mayo – agosto es de 23°C a 23.5°C mientras que la precipitación va de 111 a los 118 milímetros en el mismo periodo. En el periodo comprendido entre 1980 y el año 2000 se observaron más de seis inundaciones, más de dos heladas o granizadas, más de dos lluvias fuertes e incluso también más de un eventos de deslizamientos de tierra. También son municipios que tienen un 15 por ciento o más de su superficie sin algún tipo de vegetación y más del 56 por ciento de sus unidades de producción han reportado pérdidas por cuestiones climáticas y más del 25 por ciento reporta pérdidas por falta de fertilidad en sus suelos. La superficie municipal que se dedica al sector primario es mayor al 65 por ciento. Respecto a la población, el porcentaje indígena es de 60 por ciento o mayor en el municipio, su población se encuentra en pobreza alimentaria arriba del 55 por ciento y poco más del 19 por ciento de la población municipal se dedica a actividades primarias. La capacidad adaptativa está definida por tener 70 por ciento o menos de su población que sabe leer y el 64 por ciento o menos de sus jóvenes asiste a la escuela. Hasta un 15 por ciento de su población tiene ingre-

so mayor a dos salarios mínimos, 20 por ciento de las unidades de producción cuentan con algún crédito o seguro y los apoyos de gobierno federal son de aproximadamente 1.3 miles de pesos por productor. Son municipios con hasta 800 hectáreas de bosques o selvas y donde reforestaron, en promedio, 30 hectáreas en el año 2005. Los escenarios futuros de cambio climático señalan un aumento de entre 1.5 y 2°C en el periodo estudiado y una reducción de entre 20 y 50 milímetros. La proyección de población para los municipios es de incrementar en más de 10 a 15 por ciento.

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

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

– *Muy baja vulnerabilidad.* En estos municipios la temperatura promedio en el periodo mayo – agosto es menor a 17.7°C mientras que la precipitación puede ser mayor a los 400 milímetros en el mismo periodo. En el periodo comprendido entre 1980 y el año 2000 se observaron una inundación, una helada o granizada, una lluvia fuerte y uno o menos eventos de deslizamientos de tierra. También son municipios que tienen menos del 5 por ciento de su superficie sin algún tipo de vegetación, menos del 30 por ciento de sus unidades de producción han reportado pérdidas por cuestiones climáticas y menos del 8 por ciento reporta pérdidas por falta de fertilidad en sus suelos. La superficie municipal que se dedica al sector primario es menor del 40 por ciento. Respecto a la población, el porcentaje indígena es menor de 4 por ciento en el municipio, su población en pobreza alimentaria es menor del 10 por ciento y menos del 10 por ciento de la población municipal se dedica a actividades primarias. La capacidad adaptativa está definida por tener más del 90 por ciento de su población que sabe leer y más del 70 por ciento de sus jóvenes

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

3.4 Vulnerabilidad en el sector agrícola de México

En México, cerca de 30 millones de hectáreas son tierras de cultivo, 115 millones son de agostadero y los bosques y selvas cubren 45.5 millones de hectáreas (SAGARPA, 2007). El sector agrícola para el año 2009 representó el 4 por ciento del producto interno bruto. La agricultura, como porcentaje del PIB, ha decrecido constantemente, ya que en 1980 era el 7 por ciento, y en 1970 el 25 por ciento. Con referencia a la producción agrícola, en el año 2007 (INEGI) el cultivo con mayor participación fue la caña de azúcar (52 millones de toneladas) seguido de maíz (23 millones), plátano (19 millones), sorgo (6 millones) y naranja, con 4 millones de toneladas, entre otros. Esta actividad agrícola se desarrolla principalmente en localidades rurales (población menor a 2500 personas) donde viven 24 millones de mexicanos, es decir, casi la cuarta parte de la población nacional (CONAPO, 2008). El porcentaje de la fuerza laboral nacional ocupado en el sector equivale al 13.7 por ciento (2005), donde la mayoría cultivan para subsistencia (INEGI, 2010).

De acuerdo con Gabriel (2003) y los tipos de productor agrícola en México, es posible definir seis grupos: agricultura de subsistencia, agricultura de autoconsumo poco tecnificada, agricultura de autoconsumo con alto uso de agroquímicos, agricultura especial monoespecializada, agricultura comercial diversificada y agricultura comercial diversificada y altamente tecnificada. Sin embargo, con motivos del presente trabajo y después de estudiar los criterios de clasificación utilizados, se decidió agruparlos en tres: agricultura de subsistencia o campesina, agricultura de transición y agricultura comercial.

En una caracterización breve, en la *agricultura de subsistencia* la forma de producción es principalmente agricultura de temporal. Es muy bajo el porcentaje de uso de maquinaria agrícola donde el cultivo principal es el maíz y como complemento frijol y calabaza. El propósito de la producción es el autoconsumo, sin embargo, en algunos municipios se puede destinar parte de la producción a la venta local. Está conformada por el 32 por ciento de los municipios del país (777). La *agricultura de transición* es mayormente agricultura de temporal pero se puede encontrar riego. Es común el uso de tractor u otra maquinaria así como fertilizantes químicos, pesticidas y semilla mejorada. El cultivo principal de autoconsumo es el maíz y como complemento el frijol. El nivel de desarrollo socioeconómico en algunos municipios es de bajo a medio. Está conformada por el 28 por ciento de los municipios del país (702). En la *agricultura comercial* un alto porcentaje de las tierras disponen de riego. Es alto también el uso de maquinaria especializada, semilla mejorada, fertilizantes químicos y pesticidas. La producción se destina a la venta local, nacional o internacional y muy poco a autoconsumo. Los cultivos sembrados son muy diversos. El nivel de desarrollo socioeconómico es entre medio y alto. Está presente en el 40 por ciento de los municipios del país (972).

El punto de partida para establecer los primeros criterios de evaluación de la vulnerabilidad en el sector agrícola es responder la pregunta: ¿vulnerable a qué? En este sentido, es importante subrayar que los procesos no ocurren aislados y pueden darse por diferentes impulsores y presiones (Leichenko y O'Brien, 2001). Además, debe tomarse en cuenta que la vulnerabilidad es un concepto dinámico y varía de un lugar a otro, entre estados y municipios, o incluso, entre miembros de un mismo municipio o comunidad. También, el cambio es notable a través del tiempo (Smit, 2006). El presente estudio se enfocó en la vulnerabilidad al cambio climático y se consideró una serie de indicadores pasados que han permitido acercarse a responder esta pregunta.

En el contexto de cambio climático la vulnerabilidad es una función del carácter, magnitud y rango de variación climática a la que un sistema está expuesto, su sensibilidad y su capacidad de adaptarse (IPCC, 2007). En este estudio se consideró que la exposición puede incluir la ubicación geográfica, relacionada con alta exposición a alguna amenaza o fenómeno natural, los problemas ambientales identificados y los escenarios de cambio climático futuros sobre temperatura y precipitación.

Sobre la frecuencia de fenómenos extremos se encontró que, en orden de importancia, los que más han afectado la actividad agrícola son la sequía, inundaciones, heladas y granizadas, lluvias intensas y los deslizamientos de tierra. En el periodo entre 1980 y el año 2000 en todo el país se reportaron más de 3000 inundaciones, más de 750 heladas o granizadas, más de 600 lluvias intensas y más de 450 deslizamientos. De

la suma de los anteriores, los agricultores de subsistencia reportaron el 15 por ciento, los de transición el 21 por ciento y en la agricultura comercial se reportó el restante 65 por ciento. Es importante subrayar que los anteriores corresponden a reportes realizados por los municipios. Se observa que hay un mayor porcentaje de reportes en municipios con agricultura comercial respecto a la agricultura de subsistencia o campesina. Por cada uno que se reporta en municipios de subsistencia se reportan cuatro en municipios con agricultura comercial. Sin embargo, la ocurrencia de algún fenómeno natural no siempre corresponde a pérdidas. De acuerdo con el reporte de unidades de producción con pérdidas ocasionadas por alguna cuestión climática, el 51 por ciento de los agricultores campesinos ha señalado que el fenómeno se ha traducido en pérdidas, el 49 por ciento de los agricultores de transición y el 34 por ciento de los agricultores comerciales. En otras palabras, la mitad de los agricultores de subsistencia y de transición, en el periodo estudiado, han señalado haber tenido pérdidas por alguna cuestión climática. Los eventos extremos en el clima repercuten invariablemente en la exposición de los sistemas agrícolas del país.

Las simulaciones de cambio en la temperatura y precipitación bajo cambio climático señalan que para el tipo de agricultura comercial y de transición se observarán aumentos de 1 a 1.5°C, mientras que para la agricultura de subsistencia podrán ser de 1 a 2°C. Para precipitación en el escenario base se tiene que la agricultura comercial presenta, en promedio para el periodo mayo – agosto, 130 mm de lluvia; en la agricultura de transición 180 mm y la agricultura campesina 160mm. Los escenarios futuros sugieren disminuciones de 7 a 15 mm (13%) para la primera, de 1 a 30 mm (15%) para la segunda y de 5 a 20 mm (10%) para el último tipo de agricultura. La combinación de cambios en temperatura y precipitación puede traducirse a una agricultura más expuesta. Por ejemplo, de acuerdo con los indicadores de probabilidad de obtener baja precipitación para sembrar los cultivos de cebada, frijol, maíz y sorgo se obtuvo que la agricultura campesina observa las mayores probabilidades: 13 por ciento para cebada, 20 por ciento para frijol, 30 por ciento para maíz y 15 por ciento para sorgo. En el otro extremo se encuentra la agricultura de carácter comercial, donde sus probabilidades son 7 por ciento para cebada, 12 por ciento para frijol, 20 por ciento para maíz y 10 por ciento para sorgo. De lo anterior se desprende que los cultivos están expuestos a los cambios futuros previstos, primero el maíz, seguido del frijol, sorgo y por último la cebada.

Otra pregunta planteada es ¿por qué es vulnerable? Por lo que se atiende mediante la sensibilidad ante el cambio climático. Sin embargo, antes de abordar el tema agrícola se exponen algunos datos relevantes de población en nuestro país. La población del decil más pobre destina más de la mitad (51.8%) del gasto corriente monetario a alimentos, mientras que en el decil más rico la proporción es solamente de 22.7 por ciento (INEGI, 2008b). Según los datos del Informe de Desarrollo Humano del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), 2 por ciento de la población mexicana vive con 1.25 dólares al día, 4.8 por ciento vive con 2 dólares al día y 17.6 por ciento se encuentra por debajo de la línea nacional de pobreza alimentaria. Asimismo, 3.4 por ciento de niños menores de 5 años sufren malnutrición y 5 por ciento de la población se encuentra en el rango de prevalencia de subalimentación (PNUD, 2009).

La población indígena en los municipios con agricultura comercial corresponde, en promedio, a un 6.5 por ciento; mientras que para la agricultura de transición y de subsistencia el porcentaje se eleva hasta un 36 por ciento. La población en pobreza alimentaria es, para los tipos de agricultura transicional y campesina de 42 por ciento, mientras que para la agricultura comercial de 21 por ciento, la mitad de los primeros. La población dedicada a actividades primarias también es mayor en los municipios con agricultura campesina y transicional (15 por ciento en promedio) comparado con aquellos donde predomina la agricultura comercial (9 por ciento en promedio). Respecto a los servicios de salud para la población, estos están cubiertos en un 52 por ciento en los municipios con agricultura comercial mientras que un 26 por ciento para aquellos con agricultura de transición y 22 por ciento donde predomina la agricultura campesina, es decir, la mitad de los primeros.

Es importante también señalar la superficie del municipio que se dedica a actividades primarias, en los municipios con agricultura comercial es de 45 por ciento en promedio, 55 por ciento para aquellos con agricultura de transición y más del 61 por ciento donde prevalece la agricultura campesina. Sobre la infraestructura de riego, las unidades de producción señalan que en los municipios de transición y con agricultura campesina carecen de dicha infraestructura en más del 90 por ciento, contra menos del 63 por ciento que señalaron los municipios con agricultura comercial. Lo anterior se traduce, entre otros elementos, en los rendimientos observados en los tipos de agricultura. Para el cultivo de maíz, por ejemplo, se observaron rendimientos promedio de dos toneladas por hectárea para la agricultura comercial comparado con 1.3 en la agricultura de transición y 0.9 en la agricultura campesina.

Además, la sensibilidad también está dada por la aptitud de la tierra para las actividades agrícolas, ganaderas o forestales. De acuerdo con el escenario base, actualmente la agricultura campesina se lleva a cabo, principalmente, en tierras con aptitud marginal, mientras que las agricultura de transición y comerciales en tierras aptas y marginales para la producción. Bajo los escenarios de cambio climático los escenarios señalan que la tendencia para la agricultura permanecerá semejante al escenario base, en cuanto a aptitud de tierra. En lo que se refiere a la actividad forestal, el escenario base apunta a que los municipios donde se desarrolla la actividad presentan, en promedio, aptitudes muy aptas a aptas. Sin embargo, los dos escenarios de cambio climático señalan que las condiciones podrán cambiar a aptitudes aptas o incluso marginales. Corroborando esta tendencia, se encontró que para la actividad ganadera actualmente los municipios presentan, en promedio, un coeficiente de agostadero que va de las 11 a las 50 hectáreas por unidad animal por año, para los tres tipos de agricultura definidos. Los escenarios de cambio climático señalan que, en promedio, estos podrán observar alguna mejoría al pasar a seis o 20 hectáreas por unidad animal por año. Así pues, en el país la actividad agrícola es la más sensible a los cambios climáticos futuros, seguida de la actividad forestal. En cambio, la actividad ganadera podrá observar opciones de oportunidad para su desarrollo. Cabe subrayar que lo anterior obedece a aptitud de la tierra, sin considerar otras variables importantes, como las fuentes de agua requeridas, por ejemplo.

En resumen, para los perfiles de tipo de agricultura en el país los indicadores que derivan en mayor sensibilidad en el sector son población en pobreza alimentaria, población en actividades primarias, población indígena por municipio, superficie del municipio que se dedica a actividades primarias, las actividades agrícolas y las actividades forestales.

De acuerdo con los resultados, el índice de vulnerabilidad de los municipios refleja un valor promedio de 65 por ciento para agricultura campesina, 50 por ciento para agricultura de transición y 41 por ciento para aquellos donde predomina la agricultura comercial. No está por demás subrayar la mayor vulnerabilidad en la agricultura de tipo campesina comparada con aquella comercial, superándola en más de 20 puntos porcentuales. Como se ha mencionado anteriormente, el valor global de vulnerabilidad proviene de la integración de índices de exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa. Sobre el índice de exposición, los resultados señalan un valor de 35 por ciento para los municipios con agricultura de tipo campesina y de 26 por ciento para los municipios con agricultura de transición y comercial. En el caso de sensibilidad, corresponde un 57 por ciento para aquellos donde predomina la agricultura campesina y transicional, mientras que de 47 por ciento para la agricultura comercial. Las dimensiones evaluadas señalan que nuestro país es inicialmente sensible y que observa exposición que aumenta la evaluación global de la vulnerabilidad. Por su parte, la capacidad adaptativa será abordada en el siguiente apartado.

3.5 Identificando oportunidades de acción

Con el objetivo de acercarse a responder la pregunta ¿Qué se puede hacer?, en este apartado se identifican algunas oportunidades de acción por la capacidad adaptativa de los municipios. Se siguieron dos etapas en su análisis, la primera versa sobre combinar la vulnerabilidad con cada uno de sus elementos que la componen, mientras que la segunda se enfoca en combinar la capacidad de adaptación ante la exposición y la sensibilidad evaluadas. Cada una de las etapas se detalla a continuación.

Para orientar los resultados de vulnerabilidad y su relación con exposición, sensibilidad y capacidad de adaptación, se agruparon las cinco clases de cada índice en sólo dos, alta y baja. Lo anterior permitió identificar la cantidad de municipios y su población que se encuentran en cada una de las condiciones establecidas y que se presentan en el Cuadro 5-10. Se observa que, para el escenario base de vulnerabilidad, 14 por ciento de la población del país se definen con alta vulnerabilidad y alta exposición. También, 20 por ciento de la población de los municipios son de alta sensibilidad y alta vulnerabilidad. En capacidad de adaptación, 14 por ciento de la gente presentan alta vulnerabilidad y baja capacidad de adaptarse.

Según el escenario base, la población que se encuentra con alta exposición asciende al 16 por ciento del total nacional (poco menos de 16 millones de personas) y viven en 138 municipios. Al incluir los escenarios de cambio climático se observa que, para el modelo MPI ECHAM5, el porcentaje de la población con alta exposición permanecerá en 14 por ciento pero disminuye la cantidad de municipios a 109. Por su parte, el escenario del modelo HADGEM1 señala que aumentará el total de personas en la condición de alta exposición a poco más de 17 millones y 133 municipios, aunque el porcentaje relacionado al total nacional disminuye a 5 por ciento. Para la combinación de alta exposición y alta vulnerabilidad, en el escenario base equivale al 14 por ciento de la población y el mismo valor es para el modelo MPI ECHAM5, aunque el modelo HADGEM1 sugiere que será el 5 por ciento del total de la población nacional.

Cuadro 5-10. Porcentaje de población del país por grado de vulnerabilidad

		Vulnerabilidad Base		Vulnerabilidad MPI ECHAM5		Vulnerabilidad HADGEM1	
		Baja	Alta	Baja	Alta	Baja	Alta
Exposición	Baja	68%	16%	70%	16%	55%	40%
	Alta	2%	14%		14%		5%
Sensibilidad	Baja	49%	10%	68%	20%	36%	5%
	Alta	21%	20%	2%	10%	19%	40%
Capacidad Adaptativa	Baja	6%	14%	5%	13%	4%	14%
	Alta	64%	16%	65%	17%	62%	20%

Respecto a sensibilidad, en el escenario base se obtuvo que el 41 por ciento de la población total (40 millones de personas aproximadamente) vive en 1387 municipios que son altamente sensibles. El escenario del modelo MPI ECHAM5 apunta que reducirá la población sensible al 12 por ciento en un total de 619 municipios. Sin embargo, el modelo HADGEM1 sugiere que la población altamente sensible equivaldrá al 59 por ciento (poco menos de 50 millones de personas) en 1452 municipios. En el caso de alta sensibilidad y alta vulnerabilidad el escenario base señala que equivale al 20 por ciento de la población total, mientras que el modelo MPI ECHAM5 apunta al 10 por ciento y el HADGEM1 sugiere que será el 40 por ciento.

En lo que se refiere a capacidad adaptativa y de acuerdo con el escenario base, 20 por ciento de la población (20 millones y medio de personas en el país) viven en 1273 municipios y presentan baja capacidad de adaptarse. Los dos modelos de cambio climático aplicados señalan que el porcentaje disminuirá a 18 por ciento, en 1273 municipios aunque el total de personas aumentará a poco más de 22 millones. En la combinación de baja capacidad adaptativa y alta vulnerabilidad se encuentra el 14 por ciento de la población, mismo porcentaje bajo el modelo HADGEM1 y 13 por ciento para el modelo MPI ECHAM5.

Para la segunda etapa se combinó la capacidad de adaptación con exposición y sensibilidad, con el objetivo de identificar la población objetivo y orientar cuatro políticas que se podrían implementar a partir de los resultados obtenidos. De esta forma, se proponen dos matrices de acción (Figura 5-12).

Considerando la población total al año 2005 bajo el escenario base de exposición y capacidad adaptativa, se tiene que el 3 por ciento de la población nacional (poco más de tres millones) se encuentra con alta exposición y baja capacidad adaptativa. Lo anterior corresponde a 103 municipios del país y se propone actuar de inmediato en estos municipios para aumentar su capacidad de adaptación para hacer frente a su alta exposición. Para 1039 municipios con poco más de 18 millones de personas (16%), identificados con baja exposición y baja capacidad adaptativa, se proponen acciones de inversión enfocadas en aumentar su capacidad de adaptación. Para el resto de los municipios del país (1313 con el 81 por ciento de la población nacional) que se definieron con alta capacidad de adaptarse se propone prevención y oportunidad de acción. La prevención se enfoca en 55 municipios con el 12 por ciento de la población que presentan alta exposición y alta capacidad de adaptarse, por lo que también es indispensable impulsar acciones que conlleven a disminuir su alta exposición. En el resto de los municipios del país se observa que existe oportunidad frente a los escenarios de cambio climático. Al tomar en cuenta la proyección de la población al 2030 y los escenarios de cambio climático se encontró que 4 personas de cada diez observarán alta exposición y baja capacidad de adaptarse. Hay que recordar que para el escenario base eran 3 personas de cada diez.

Al comparar la sensibilidad con la capacidad de adaptación de los municipios del país se encontró que el 13 por ciento de la población (14 millones de personas aproximadamente), en 850 municipios fueron definidos como de alta sensibilidad y baja capacidad de adaptación, por lo que se proponen con urgencia para actuar. Al incluir los escenarios de cambio climático y la población proyectada al año 2030, se observa que el modelo HADGEM1 señala que será el 38 por ciento de la población y el modelo MPI ECHAM5 el 20 por ciento bajo esta condición. Actualmente 1.3 personas de cada diez es altamente sensible y con baja capacidad de adaptarse, y los escenarios futuros arrojan que serán entre dos y cuatro. Se debe de actuar con el objetivo de aumentar su capacidad de hacer frente a los cambios previstos.

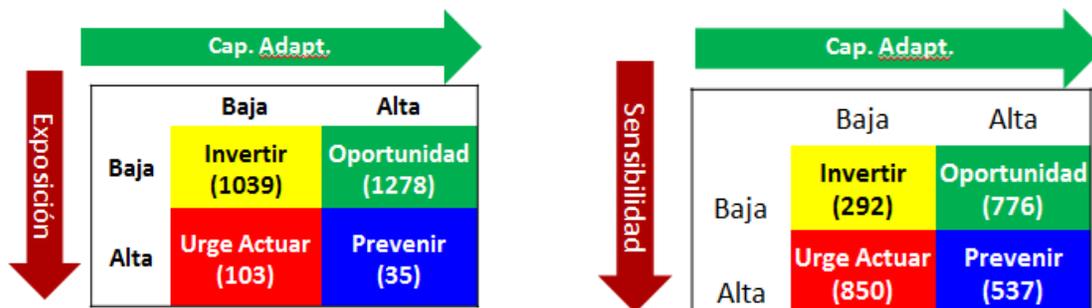


Figura 5-12. Matrices de acción propuestas, al contrastar exposición y capacidad de adaptación (izquierda) y al contrastar sensibilidad y capacidad de adaptación (derecha).

También con baja capacidad de adaptación pero con baja exposición se encuentran 292 municipios (5 por ciento de la población). Los escenarios de cambio climático señalan que el porcentaje de población aumentará a 14 por ciento (339 municipios) según el modelo HADGEM1 y a 32 por ciento (782 municipios) según el modelo MPI ECHAM5. Por lo que es importante realizar inversiones que lleven a aumentar la capacidad de adaptación. En el contexto de alta capacidad de adaptación se encuentran 1313 municipios del país, distribuidos 776 con baja sensibilidad y 537 con alta sensibilidad. Para los primeros, que representan el 55 por ciento de la población nacional, se observa que tienen oportunidad de crecimiento dada su baja sensibilidad observada. Para los segundos es importante realizar acciones de prevención, dada su capacidad de adaptarse pero alta sensibilidad.

4. Conclusiones

El capítulo mostró la estimación de la vulnerabilidad base mediante dos métodos (un análisis de componentes principales y una asignación de mismos pesos a las variables), la vulnerabilidad futura mediante dos modelos y su aplicación en el sector agrícola del país. En este orden se plantean las conclusiones:

Vulnerabilidad base mediante componentes principales:

De un total de 60 indicadores considerados, 16 fueron los que más aportaron en la conformación de la primera componente principal (comunalidades); mientras que el restante (44) tuvieron comunalidades no significativas en su aporte a la primera componente.

En la matriz de coeficientes del índice de vulnerabilidad base hay 35 indicadores con valores positivos (aumentan la vulnerabilidad) y 25 con valores negativos (disminuyen la vulnerabilidad).

Con grado de vulnerabilidad muy alta se definieron 39 municipios (1.6%) y con alta 279 (11.4%) de los municipios del país. Si se agrupan, se refieren a 318 municipios o el 13 por ciento del país y considerando la población del año 2005 entonces se refiere a poco más de 4.3 millones de personas.

En la categoría de media vulnerabilidad hay 823 municipios (33.5%), y en los grados baja y muy baja vulnerabilidad 1141 (46.5%) y 173 (7%) municipios, respectivamente. En estos dos últimos (baja y muy baja vulnerabilidad) se encuentra el 78 por ciento de los habitantes (79 millones de habitantes).

Vulnerabilidad base mediante asignación de mismos pesos a las variables:

El índice de vulnerabilidad mediante este método mostró correlaciones positivas con el índice de exposición (0.73) y el índice de sensibilidad (0.75); mientras que con el índice de capacidad adaptativa es negativa (-0.73).

El grado de ajuste del índice de vulnerabilidad a un comportamiento lineal (R^2) es de 0.53 para el índice de exposición, 0.55 en sensibilidad y en capacidad adaptativa es de 0.53.

Dentro de exposición, el conjunto de indicadores que mejor explica la vulnerabilidad es la dimensión climática, seguida de la problemática ambiental y los fenómenos extremos.

Dentro de sensibilidad, la dimensión de población es el que mejor participa en la vulnerabilidad base, después la dimensión salud y por último la agrícola.

Respecto a los capitales evaluados en capacidad de adaptación, el humano y el financiero tienen similar participación y se encuentran a la cabeza, seguidos por el social y el natural, que se encuentra al último.

Los grupos de indicadores que mejor correlación mostraron en la caracterización de la vulnerabilidad son el clima y los problemas ambientales (en exposición); población y salud (en sensibilidad) y la dimensión humana y la financiera (en capacidad de adaptación).

Los grupos de indicadores que menos correlación mostraron fueron la frecuencia de fenómenos extremos (en exposición), las aptitudes agrícolas (en sensibilidad) y la dimensión de organización social (en capacidad de adaptación).

Con grado de vulnerabilidad muy alta se definieron 39 municipios (1.6%) y con alta 405 (16.5%) de los municipios del país. Si se agrupan, se refieren a 444 municipios o el 18.1 por ciento del país y considerando la población del año 2005 entonces se refiere a poco más de 12.5 millones de personas.

En la categoría de media vulnerabilidad hay 1239 municipios (50.5%), y en los grados baja y muy baja vulnerabilidad 764 (31%) y 8 (0.4%) municipios, respectivamente. En estos dos últimos (baja y muy baja vulnerabilidad) se encuentra el 39 por ciento de los habitantes (39.5 millones de personas).

Respecto a la comparación de métodos de vulnerabilidad base:

En el método de componentes principales se definieron 35 indicadores como positivos (aumentan la vulnerabilidad) y 25 indicadores como negativos (disminuyen la vulnerabilidad).

En el método de asignación de mismos pesos fue posible definir 39 indicadores que aumentan la vulnerabilidad (16 de exposición y 23 de sensibilidad) y 21 indicadores que la disminuyen.

Los dos métodos coinciden en que 39 municipios son de muy alta vulnerabilidad. En el grado de vulnerabilidad alta para el método de componentes principales se definieron 279 municipios y en el de mismos pesos 405.

Los municipios que obtuvieron valores semejantes en ambos métodos y para todos los rangos son 1377, o bien, los dos métodos coinciden en un 56 por ciento del total nacional.

El método de reducción de dimensiones o componentes principales es un método más fácil de aplicar, aunque sus resultados muestran menos severidad en la definición de vulnerabilidad.

Índices de vulnerabilidad futura:

De acuerdo con el modelo MPI ECHAM5, con grado de vulnerabilidad muy alta se encontrarán 52 municipios (2.1%) y con alta 405 municipios (16.5%). Si se agrupan, se refieren a 457 municipios (18.6%) del país y de acuerdo con la proyección de la población al 2030 pueden ser 16.5 millones de habitantes, cuatro millones más que en el escenario base.

En la categoría de media vulnerabilidad hay 1212 municipios (49.5%), y en los grados baja y muy baja vulnerabilidad hay 768 (31.5%) y 18 municipios (0.4%), respectivamente. En estos dos últimos (baja y muy baja vulnerabilidad) se encuentra el 46 por ciento de los habitantes (55.5 millones de personas), es decir, 16 millones de personas menos, comparado con escenario base.

Con media, alta y muy alta vulnerabilidad se encontrarán más de 64.5 millones de personas (45%) en el país, lo que significa un incremento de 2 millones de personas al comparar con escenario base.

La cantidad de municipios que se mantiene sin cambio respecto al escenario base y su grado de vulnerabilidad es de 2161 (88 por ciento del total nacional), aquellos que la aumentan son 148 (6%) y los que la disminuyen de acuerdo al modelo son 146 (6%).

De acuerdo con el modelo HADGEM1, con grado de vulnerabilidad muy alta se definieron 64 municipios (2.6%) y con alta 518 municipios (21%). Si se agrupan, se refieren a 582 municipios (23.6%) del país y de acuerdo con la proyección de la población al 2030 pueden ser poco más de 18 millones de habitantes, dos y medio millones más que en el escenario base.

En la categoría de media vulnerabilidad hay 1217 municipios (49.5%), y en los grados baja y muy baja vulnerabilidad 644 (26.5%) y 12 municipios (0.4%), respectivamente. En estos dos últimos (baja y muy baja vulnerabilidad) se encuentra el 40 por ciento de los habitantes (47 millones de personas), es decir, 2 millones de personas menos, comparado con escenario base.

Con media, alta y muy alta vulnerabilidad se encontrarán más de 72 millones de personas (60%) en el país, lo que significa un incremento de 2 millones de personas al comparar con escenario base.

La cantidad de municipios que se mantiene sin cambio respecto al escenario base y su grado de vulnerabilidad es de 2102 (86 por ciento del total nacional), aquellos que la aumentan son 314 (12.5%) y los que disminuyen de acuerdo al modelo son 39 (1.5%).

Respecto a la vulnerabilidad en el sector agrícola de México:

Para exposición y en promedio, los resultados señalan un grado medio de exposición para los municipios con agricultura de tipo campesina y grado bajo de exposición para los municipios con agricultura de transición y comercial.

Para sensibilidad y en promedio, corresponde grado medio de sensibilidad para todos los tipos de agricultura considerados: campesina, transicional y comercial.

Para capacidad adaptativa y en promedio, se tiene un grado bajo de capacidad para los municipios donde predomina la agricultura campesina y grado medio de capacidad para aquellos con tipo transición y comercial.

El índice de vulnerabilidad de los municipios refleja un valor promedio de alta vulnerabilidad en la agricultura campesina; media vulnerabilidad para agricultura de transición y baja vulnerabilidad para aquellos donde predomina la agricultura comercial.

5. Literatura citada

- Aall, C. y Norland, I. (2005) Indicators for Local-Scale Climate Vulnerability Assessments. Western Norway Research Institute, University of Oslo, p. 131.
- Adger, W.N. (1996) Approaches to vulnerability to climate change., Working Paper GEC 96-05. University of East Anglia, Norwich, UK.
- Adger, W.N., Agrawala, S., Mirza, M.M., Conde, C., O'Brien, K., Pulhin, J., Pulwarty, R., Smit, B. y Takahashi, K. (2007) Chapter 17. Assessment of adaptation practices, options, constraints and capacity. , in: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., Linden, P.J., Hanson, C.E. (Eds.), Climate

- Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Adger, W.N. y Kelly, P.M. (1999) Social vulnerability to climate change and the architecture of entitlements. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 4, 253-266.
- Alderwish, A. y Al-Eryani, M. (1999) An approach for assessing the vulnerability of the water resources of Yemen to climate change. *Climate Research* 12, 85-89.
- Allen, J. y Lu, K. (2003) Modelling and prediction of future urban growth in the Charleston region of South Carolina: a GIS based integrated approach. *Conservation Ecology* 8.
- Antle, J., Capalbo, S., Elliot, E. y Paustian, K. (2004) Adaptation, spatial heterogeneity and the vulnerability of agricultural systems to climate change and CO₂ fertilization: an integrated assessment approach. *Climatic Change* 64, 289-315.
- Aymone, G.G. y Ringler, C. (2009) Mapping South African farming sector vulnerability to climate change and variability., in: (IFPRI), I.F.P.R.I. (Ed.), Environmental and production technology division. International Food Policy Research Institute, Washington DC, USA., p. 31.
- Barr, R., Fankhauser, S. y Hamilton, K. (2010) Adaptation Investments: a resource allocation framework. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 15, 843-858.
- Berry, P.M., Rounsevell, M.D., Harrison, P.A. y Audsley, E. (2006) Assessing the vulnerability of agricultural land use and species to climate change and the role of policy in facilitating adaptation. *Environmental science and policy* 9, 189-204.
- Bohle, H.G. (2001) Vulnerability and criticality: Perspectives from social geography. Newsletter of the International Human Dimension Programme on Global Environmental Change. IHDP Update pp. 1-4.
- Bohle, H.G., Downing, T.E. y Watts, M.J. (1994) Climate change and vulnerability: Toward a sociology and geography of food insecurity. *Global Environmental Change* 4, 37-48.
- Brenkert, A. y Malone, E. (2003) Vulnerability and resilience of India and Indian States to climate change: a first order approximation. Joint Global Change Research Institute, p. 105.
- Brenkert, A.L. y Malone, E.L. (2005) Modeling vulnerability and resilience to climate change: a case study of India and Indian States. *Climatic Change* 72, 57-102.
- Brooks, N., Adger, N. y Kelly, M. (2005a) The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environmental Change* 15, 151-163.
- Brooks, N. y Adger, W.N. (2006) Technical paper 7. Evaluación y aumento de la capacidad de adaptación, in: Lim, B., Spanger, E. (Eds.), Adaptation Policy Framework. United Nations Development Program., New York, USA, p. 251.
- Brooks, N., Adger, W.N. y Kelly, P.M. (2005b) The determinant of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environmental Change* 15, 151-163.
- Burton, I. (1997) Vulnerability and adaptive response in the context of climate and climate change. *Climatic Change* 36, 185-196.
- Carpenter, S., Walker, B., Anderies, J.M. y Abel, N. (2001) From metaphor to measurement: resilience of what to what? *Ecosystems* 4, 765-781.
- Carter, T., Jones, R., Lu, X., Bhadwal, S., Conde, C., Mearns, L.O., O'Neill, B.C., Rounsevell, M.D.A. y Zurek, M.B. (2007) New assessment methods and the characterisation of future conditions., in: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., Linden, P.J.v.d., Hanson, C.E. (Eds.), Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK., pp. 133-171.
- CENAPRED. (2010) Base de datos de declaratorias de riesgos ambientales. Centro Nacional de Prevención de Desastres, México D.F.
- CONAGUA. (2009) Usos del agua por región hidrológico-administrativa, cubo de usos del agua 2005. *Comisión Nacional del Agua*.
- CONAPO. (2001) Índice de desarrollo humano, 2000. Consejo Nacional de Población, México, D.F.
- CONAPO. (2005) Grados de Marginación en México 2005, 1 ed. Consejo Nacional de Población - CONAPO, México D.F.
- CONAPO. (2006) Proyecciones de la población de México 2005-2050, 1 ed. Consejo Nacional de Población - CONAPO, México, DF.
- CONAPO. (2008) Perfil sociodemográfico de la población ocupada en el sector primario y su distribución territorial. Consejo Nacional de Población, México D.F.

- CONEVAL. (2008) Informe de Pobreza Multidimensional en México 2008. CONEVAL - Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, México, D.F.
- Connor, R.F. y Hiroki, K. (2005) Development of a method for assessing flood, vulnerability. *Water Science and Technology* 51, 61-67.
- Cruz, D. (2011) Reporte técnico entregado a Banco Mundial sobre amenazas a sequía, vulnerabilidad agrícola e índice de riesgo en agricultura. Banco Mundial, México D.F.
- Cutter, S., Emrich, C., Webb, J. y Morath, D. (2009) Social Vulnerability to Climate Variability Hazards: A Review of the Literature. Oxfam America, p. 44.
- Cutter, S.L., Boruff, B.J. y Shirley, W.L. (2003) Social vulnerability to environmental hazards. *Social Science Quarterly* 84, 242-261.
- Cuttler, S.L. (1996) Vulnerability to environmental hazards. *Progress in Human Geography*. 20, 529-539.
- Cuttler, S.L., Mitchell, J.T. y Scott, M.S. (2000) Revealing the vulnerability of people and places: a case study of Georgetown County. *Annals of the Association of American Geographers* 90, 713-737.
- Christiaensen, J. y Subbarao, K. (2004) Toward an understanding of household vulnerability in rural Kenya., The World Bank Policy Research Working Paper. World Bank, Washington DC.
- DARA. (2010) Climate Vulnerability Monitor 2010. DARA – Climate Vulnerability Forum.
- Davis, K., Kingsbury, B. y Merry, S. (2010) Indicators as technology of global governance., Global Administration Law Series. IILI Working Paper, p. 60.
- DEFRA. (2010) Measuring adaptation to climate change: a proposed approach. Department for Environment, Food and Rural Affairs, UK, p. 16.
- Downing, T. y Patwardham, A. (2006) Technical paper 3: Vulnerability assessment for climate change adaptation., in: Lim, B., Spanger, E. (Eds.), *Adaptation Policy Framework*. United Nations Development Program., New York, USA, p. 251.
- Downing, T.E., Butterfield, R., Cohen, S., Huq, S., Moss, R., Rahman, A., Sokoma, Y. y Stephen, L. (2001) Vulnerability indices: climate change impacts and adaptations. United Nations, New York, USA.
- Dwyer, A., Zoppou, C., Nielsen, O., Day, S. y Roberts, S. (2004) Quantifying Social Vulnerability: A methodology for identifying those at risk to natural hazards. *Geoscience Australia*, Australia, p. 101.
- Eakin, H. (2005) Institutional change, climate risk and rural vulnerability: cases from Central México. *World Development* 33, 1923-1938.
- Eakin, H. y Tapia, B. (2008) Insights into the composition of household vulnerability from multicriteria decision analysis. *Global Environmental Change* 18, 112-127.
- Easter, C. (1999) Small states development: A commonwealth vulnerability index. *The round table* 351, 403-422.
- El-Raey, M., Nasr, O. y Dewidar, K. (1999) Vulnerability assessment of sea level rise over Port Said governorate, Egypt. *Environmental Monitoring and Assessment* 56, 113-128.
- Eriksen, S.H. y Kelly, P.M. (2007) Developing credible vulnerability indicators for climate adaptation policy assessment. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 12, 495-524.
- Fernandez, E.A., Zavala, H.J. y Romero, C.R. (2009) Atlas Climático Digital de México. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM., México D.F.
- Filmer, D. y Pritchett, L.H. (2001) Estimating wealth effects without expenditure data--or tears: An application to educational enrolments in States of India. . *Demography* 38 115-131.
- Folke, C., Carpenter, S., Elmqvist, T., Gunderson, L., Holling, C., Walker, B. y Bengston, J. (2002) Resilience and sustainable development: building adaptive capacity in a world of transformation., Environmental Advisory Council of Swedish Government.
- Fowler, H.J., Kilsby, C.G. y O'Connell, P.E. (2003) Modeling the Impacts of climatic change and variability on the reliability, resilience and vulnerability of a water resource system. *Water Resources Research* 39, 1222-1224.
- Füssel, H. (2009) Review and Quantitative Analysis of Indices of Climate Change Exposure, Adaptive Capacity, Sensitivity, and Impacts. World Bank Development Report p. 35.
- Füssel, H.M. (2007) Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. *Global Environmental Change* 17, 155-167.
- Füssel, H.M. y Klein, R.J.T. (2006) Climate change vulnerability assessments: An evolution of conceptual thinking. *Climatic Change* 75, 301-329.
- Gabriel, M.J. (2003) Tipología socioeconómica de las actividades agrícolas. Una herramienta de síntesis para el ordenamiento ecológico. Instituto Nacional de Ecología, México D.F.

- GaIn. (2011) Global Adaptation Index, Measuring what matters. GaIn v1.0. Global Adaptation Institute, Washington, DC., p. 34.
- Gómez, J.D., Monterroso, A.I., Tinoco, J.A., Toledo, M.L., Conde, C. y Gay, C. (2011) Assessing current and potential patterns of 16 forest species driven by climate change scenarios in México. *Atmósfera* 24, 31-52.
- Guillaumont, P. y Simonet, C. (2011) Designing an index of structural vulnerability to climate change. FERDI - Fondation pour les études et recherches sur le Développement International, France, p. 42.
- Hareau, A., Hofstadter, R. y Saizar, A. (1999) Vulnerability to climate change in Uruguay: potential impacts on the agricultural and coastal resource sectors and response capabilities. *Climate Research* 12, 185-193.
- Harley, M., Horrocks, L. y Hodgson, N. (2008) Climate change vulnerability and adaptation indicators. European Topic Centre on Air and Climate Change, p. 37.
- Harmeling, S. (2011) Global Climate Risk Index 2011. Who suffers most from extreme weather events? Weather related loss events in 2009 and 1990 to 2009. Germanwatch and Climate Action Europe, Bonn, p. 24.
- Hebb, A. y Mortsch, L. (2007) Floods: mapping vulnerability in the upper Thames watershed under changing climate, Assessment of water resources risk and vulnerability to changing climatic conditions. Canadian Foundation for Climate and Atmospheric Sciences, Canadá.
- Heitzmann, K., Canagarajah, R.S. y Siegel, P.B. (2002) Guidelines for assessing the sources of risk and vulnerability., World Bank Social Protection Discussion Paper, Washington. DC.
- Heltberg, R., Siegel, P. y Jorgensen, S.L. (2009) Addressing human vulnerability to climate change: Toward a 'no regrets' approach. *Global Environmental Change* 19, 89-99.
- Hinkel, J. (2011) Indicators of vulnerability and adaptive capacity: Towards a clarification of the science-policy interface. *Global Environmental Change* 21, 198-208.
- Hoddinott, J. y Quisumbing, A. (2003) Methods for microeconomic risk and vulnerability assessments., Social Protection Discussion Paper Series. The World Bank, Human Development Network, Washington DC.
- Huq, S. y Reid, H. (2009) Mainstreaming adaptation in development., in: Schipper, L., Burton, I. (Eds.), The Earthscan Reader on Adaptation to climate change. The EarthscanReader, Sterling VA, USA, p. 459.
- IMN y MINAE. (2005) Vulnerabilidad actual de la zona noroccidental del valle central de Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional y Ministerio de Ambiente y Energía, Costa Rica, p. 64.
- INEGI (2005) Principales acciones seleccionadas en materia ambiental: Reforestación 2005. *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*.
- INEGI (2006) Resultados del Censo de población y vivienda 2005. *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*.
- INEGI (2008a) El Sector Alimentario en México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Aguascalientes, México.
- INEGI (2008b) Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2008, Aguascalientes, México.
- INEGI (2009) Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI, Aguascalientes, México.
- INEGI (2010) Banco de Información Económica. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Aguascalientes, México.
- IPCC (1996) Summary for policymakers: Scientific-technical analyses of impacts, adaptations and mitigation of climate change., in: Watson, R., Zinyowera, T., Moss, R. (Eds.), Climate Change 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC (2001) Climate Change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability., in: McCarthy, J.J. (Ed.), Contributions of working group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC (2007) Summary for Policymakers, in: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., Linden, P.J., Hanson, C.E. (Eds.), Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

- Kaly, U., Brigugilo, L., McLeod, H., Schmsall, S., Pratt, C. y Pal, R. (1999) Environmental vulnerability index (EVI) to summarize national environmental vulnerability profiles, in: SOPAC (Ed.), Technical Report Suva, Fiji.
- Kaly, U. y Pratt, C. (2000) Environmental vulnerability index: Development and provisional indices and profiles for Fiji, Samoa, Tuvalu and Vanuatu, in: SOPAC (Ed.), Technical report 306, p. 89.
- Kelly, P. y Adger, W. (1999) Assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation. CSERGE Working Paper, p. 37.
- Kelly, P.M. y Adger, W.N. (2000) Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation. *Climatic Change* 47, 325-352.
- Klein, R. y Nicholls, R. (1999) Assessment of coastal vulnerability to climate change. *Ambio* 28, 182-187.
- Krol, M., Jaeger, A., Bronstert, A. y Krywkow, J. (2001) The semi-arid integrated model (SIM). a regional integrated model assessing water availability, vulnerability and society in NE-Brazil. *Physics and Chemistry of the Earth* 26, 529-533.
- Leichenko, R.M. y O'Brien, K.L. (2001) The dynamics of rural vulnerability to global change: The case of Southern Africa. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 7, 1-18.
- Ligon, E. y Schechter, L. (2003) Measuring vulnerability. *Economic Journal* 113, 95-102.
- Liverman, D. (1999) Vulnerability and adaptation to drought in México. *Natural Resources Journal* 39, 99-115.
- Liverman, D.M. (1990) Vulnerability to global environmental change., in: Kasperson, R.E., Dow, K., Golding, D., Kasperson, J.X. (Eds.), Understanding global environmental change: The contributions of risk analysis and management (Chapter 26). Clark University, Worcester, MA, pp. 27-44.
- Lonergan, S. (1998) The role of environmental degradation in population displacement: Global environmental change and human security project., in: Victoria, U.o. (Ed.), Research report 1. University of Victoria, British Columbia, Canadá.
- Lowry, J., Miller, H. y Hepner, G. (1995) A GIS-based sensitivity analysis of community vulnerability to hazardous contaminants on the Mexico/U.S. Border. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 61, 1347-1359.
- Lucas, P.L. y Hilderink, H.B.M. (2004) The vulnerability concept and its application to food security. National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), Netherlands.
- Luers, A.L., Lobell, D.B., Skar, L.S., Addams, C.L. y Matson, P.A. (2003) A method for quantifying vulnerability, applied to the agricultural system of the Yaqui Valley, México. *Global Environmental Change* 13, 255-267.
- Mansury, G. y Healy, A. (2002) Vulnerability prediction in rural Pakistan., IFPRI World Bank Conference on Risk and Vulnerability: Estimation and Policy Implications., Washington D.C.
- McCarthy, J., Canziani, O., Leary, N., Dokken, D. y White, K. (2001) Climate Change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability., Cambridge, UK.
- Middlekoop, H. y Kwadijk, C. (2001) Towards integrated assessment of the implications of global change for water management - the Rhine experience. *Physics and Chemistry of the Earth* 26, 553-560.
- Mimura, N. (1999) Vulnerability of island countries in the South to sea level rise and climate change. *Climate Research* 12, 137-143.
- Mitchell, J., Devine, N. y Jagger, K. (1989) A contextual model of natural hazards. *Geographical Review* 79, 391-409.
- Mitchell, T., Aalst, M.v. y Villanueva, P. (2010) Assessing Progress on Integrating Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation in Development Processes. Strengthening Climate Resilience p. 31.
- Monterroso, A.I., Conde, C., Rosales, G., Gómez, J.D. y Gay, C. (2011a) Assessing current and potential rainfed maize suitability under climate change scenarios in México. *Atmósfera* 24, 53-67.
- Monterroso, A.I., Gómez, J.D., Toledo, M.L., Tinoco, J.A., Conde, C. y Gay, C. (2011b) Simulated dynamics of net primary productivity (NPP) for outdoor livestock feeding coefficients driven by climate change scenarios in México. *Atmósfera* 24, 69-88.
- Moser, C.O.N. (1998) The asset vulnerability framework: Reassessing urban poverty reduction strategies. *World Development* 26, 1-19.
- Moss, R., Brenkert, A. y Malone, E. (2000) Measuring vulnerability: a trial indicator set. Pacific Northwest National Laboratory, p. 8.
- Moss, R.H., Brenkert, A.L. y Malone, E.L. (2001) Vulnerability to climate change: a quantitative approach. U.S. Department of Energy, Washington, p. 88.

- Natural-England, (2010) Climate Change adaptation indicators for the natural environment. Natural England Commissioned Report p. 68.
- Nicholls, R. (2002) Analysis of global impacts of sea-level rise: a case study of flooding. *Physics and Chemistry of the Earth* 27, 1455-1466.
- O'Brien, K.L., Leichenko, R.M., Kelkar, U., Venema, H.M., Aandahl, G., Tompkins, H., Javed, A., Bhadwal, S., Barg, S., Nygaard, L. y West, J. (2004a) Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization un India. *Global Environmental Change* 14, 303-313.
- O'Brien, K.L., Sygna, L. y Haugen, J. (2004b) Vulnerable or resilient? A multi-scale assessment of climate impacts and vulnerability in Norway *Climatic Change* 64, 193-225.
- Parry, M., Canziani, O., Palutikof, J.P. y Coautores. (2007) Resumen técnico. Cambio Climático 2007: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Aportes del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. Cambridge, U.K.
- Pelling, M. (1999) The political ecology of flood hazard in urban Guyana *Geoforum* 30, 249-261.
- PNUD (2005) Marco de políticas de adaptación al cambio climático. PNUD - GEF, New York, USA.
- PNUD (2009) Informe de Desarrollo Humano 2007-2008. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, México D.F.
- Prichett, L., Suryahadi, A. y Sumarto, S. (2000) Quantifying vulnerability to poverty: A proposed measure with application to Indonesia., Social Monitoring and Early Response Unit Research Institute (SMERU).
- Quinn, N., Miller, N., Dracup, J., Brekke, L. y Grober, L. (2001) An integrated modeling system for environmental impact analysis of climate variability and extreme weather events in the San Joaquin basin, California. *Advances in Environmental Research* 5, 309-317.
- Ribot, J.C. (1995) The causal structure of vulnerability: its application to climate impact analysis. *GeoJournal* 35, 119-122.
- SAGARPA (2007) Programa Sectorial de desarrollo Agropecuario y Pesquero 2007-2012. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, México D.F.
- SAGARPA (2009) SIAP, Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera de México. *Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca*.
- Schreider, S., Smith, D. y Jakeman, J. (2000) Climate change impacts on urban flooding. *Climatic Change* 47, 91-115.
- SEDESOL. (2010) Observatorio de Información Municipal. SEDESOL, Secretaría de Desarrollo Social, México, D.F.
- SEI, (2007) Identifying Climate Vulnerability Exposure. Stockholm Environment Institute, p. 12.
- Smit, B. (2006) Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change* 16, 282-292.
- Smit, B., Burton, I., Klein, R. y Wandel, J. (2009) An anatomy of adaptation to climate change and variability, in: Schipper, L., Burton, I. (Eds.), *The Earthscan reader on adaptation to climate change. The Earthscan Reader*, Sterling VA, USA, p. 459.
- Smithers, J. y Smit, B. (2009) Human adaptation to climatic variability and change., in: Schipper, L., Burton, I. (Eds.), *The Earthscan Reader on Adaptation to climate change. The EarthscanReader*, Sterling VA, USA, p. 459.
- SOPAC y UNEP (2005) Environmental Vulnerability Index. South Pacific Applied Geoscience Commission.
- Sullivan, C. y Meigh, J. (2005) Targeting attention on local vulnerabilities using an integrated index approach: the example of the climate vulnerability index. *Water Science and Technology* 51, 69-78.
- TERI (2003) Coping with global change: vulnerability and adaptation in Indian agriculture. *The Energy Research Institute (TERI)*.
- Thieler, E. y Hammar-Klose, E. (2000) National assessment of coastal vulnerability to sea- level rise: preliminary results for the U.S. Pacific Coast. U.S. Geological Survey.
- Thornton, P.K., Jones, P.G., Owiyo, T., Kruska, R.L., Herrero, M., Kristjanson, P., Notenbaert, A., Bekele, N. y Omolo, A. (2006) Mapping climate vulnerability and poverty in Africa, 1 ed. Report to the Department for International Development (ILRI), Nairobi, Kenya.
- Thumerer, T., Jones, A. y Brown, D. (2000) A GIS based coastal management system for climate change associated flood risk assessment on the east coast of England. *International Journal of Geographical Information Science* 14, 265-281.
- Tol, R.S.J. y Yohe, G.W. (2007) The weakest link hypothesis for adaptive capacity: An empirical test. *Global Environmental Change* 17, 218-227.
- Turner, B.L., Kasperson, R.E., Matson, P.A., McCarthy, J.J., Corell, R.W., Christensen, L., Eckley, N., Hovelsrud, G.K., Luers, A., Martello, M.L. y Tyler, N. (2003) Illustrating the coupled human

- environmental system for vulnerability analysis: Three case studies., Proceedings of the National Academy of Sciences, USA, pp. 8080-8085.
- UNDP, (1990) Human Development Report. United Nations Development Programme, New York, USA.
- UNEP, (2009) IEA Training manual, Volume II. Vulnerability and impact assessments for adaptation to climate change. UNEP, p. 68.
- UNEP, (2010) Vulnerability Indices for Planning Climate Change Adaptation. UNEP, p. 65.
- UNFCCC, (2008) Compendium on methods and tools to evaluate impacts of, and vulnerability and adaptation to, climate change. UNFCCC, p. 228.
- UNITAR, (2004) Capacity Strengthening in climate change vulnerability and adaptation strategy assessment. Climate Change Capacity Development.
- Vogel, C. y O'Brien, K.L. (2004) Vulnerability and global environmental change: Rethoric and reality. *AVISO Bulletin* 13, 1-8.
- Watts, M.J. y Bohle, H.G. (1993) The space of vulnerability: the causal structure of hunger and famine. *Progress in Human Geography*. 17, 43-67.
- Wheeler, D. (2011) Quantifying Vulnerability to Climate Change: Implications for Adaptation Assistance. Center for Global Development, Washington, D.C., p. 53.
- Wilhelmi, O. y Wilhite, D. (2002) Assessing vulnerability to agricultural drought: a Nebraska case study. *Natural Hazards* 25, 37-58.
- Wu, S., Yarnal, B. y Fisher, A. (2002) Vulnerability of coastal communities to sea-level rise: a case study of Cape May county, New Jersey, USA. *Climate Research* 22, 255-270.
- Young, B., Byers, E., Gravuer, K., Hall, K., Hammerson, G. y Redder, A. (2011) The NatureServe Climate Change Vulnerability Index. NatureServe, Arlington, VA., p. 58.

CAPÍTULO 6 - CONCLUSIONES

El objetivo general que se propuso en esta tesis fue el de proponer un método que permita evaluar la vulnerabilidad del sector agrícola ante escenarios de cambio climático, para contribuir en su estudio y así contar con mayores elementos de decisión en la formulación de estrategias y políticas de adaptación en el sector.

Como se presentó en los apartados bibliográficos de los capítulos anteriores, existen diversas definiciones de vulnerabilidad que se aplican en diferentes contextos, por ejemplo, en desastres, en epidemiología o en cambio climático. En esta tesis se decidió utilizar la definición adoptada por el IPCC pues ésta se orienta a evaluar la vulnerabilidad en condiciones de cambio climático. Por lo anterior, para caracterizar la vulnerabilidad al cambio climático en este estudio se le consideró como una función de la exposición, la sensibilidad y la capacidad adaptativa, motivo por el cual cada una de ellas fue desarrollada en un capítulo de esta tesis. Entonces, para alcanzar el objetivo general, fueron planteados seis objetivos particulares. Cada uno y sus respectivas conclusiones generales, se mencionan a continuación:

Se propuso evaluar la *exposición* que el sector agrícola puede observar ante escenarios de cambio climático y en el capítulo 2 de esta tesis se presenta la evaluación de 16 indicadores que se aplicaron para alcanzarlo. Se obtuvo un escenario base de exposición y dos que consideraron escenarios de cambio climático. Para el escenario base de exposición fue posible describir a cinco grados de exposición identificados en México: muy alta, alta, media, baja y muy baja exposición. La aplicación del método de exposición debe tomar en cuenta algunas debilidades identificadas. Los eventos extremos son procesos complejos de ser analizados, debido a que hay muchos factores interrelacionados en su manifestación. Tomar en cuenta la frecuencia de los fenómenos extremos es mejor que dejar fuera el tema de los estudios de exposición. Sin embargo, es deseable incorporar indicadores que permitan identificar la intensidad de dichos fenómenos así como aquellos que reflejen el conocimiento local de los fenómenos y su impacto en la sociedad. Hay que recordar que considerar escenarios de cambio climático también supone trabajar con incertidumbre, y si los fenómenos extremos son complejos, más aun es la modelación de estos al futuro.

El segundo objetivo fue evaluar el grado en el que el sector agrícola será potencialmente modificado o afectado ante escenarios de cambio climático, como medida de *sensibilidad* a los impactos potenciales. Para alcanzarlo, en el capítulo 3 de esta tesis se evaluó la sensibilidad que observan los municipios del país a través de 23 indicadores. Se obtuvo un escenario base de sensibilidad y dos futuros al considerar modelos de cambio climático. La sensibilidad futura de los municipios de México consideró indicadores que evaluaron el impacto potencial del cambio climático, en este caso, sobre la aptitud natural de continuar realizando actividades agrícolas, pecuarias o ganaderas. Para el escenario base de sensibilidad se pudieron describir cinco grados de sensibilidad al cambio climático identificados en México: muy alta, alta, media, baja y muy baja sensibilidad. La aplicación del método para evaluar sensibilidad debe considerar que representa un primer esfuerzo para incorporar la actividad agrícola, por lo que es deseable que se trabaje a futuro con información más concreta de cada uno de los cultivos agrícolas, no limitándose a estudios de aptitud únicamente.

Evaluar la *capacidad adaptativa* que se puede observar en el sector agrícola para conocer el potencial de hacer frente a escenarios de cambio climático fue el tercer objetivo planteado. En el capítulo 4 de esta tesis y con la aplicación de 21 indicadores se logró alcanzar el propósito. A diferencia de los dos anteriores se obtuvo un escenario base y uno futuro, en este caso, considerando proyecciones futuras de dos variables socioeconómicas. También, fue posible proponer el uso de cinco grados de capacidad de adaptación en México: muy alta, alta, media, baja y muy baja capacidad.

El cuarto y quinto objetivos planteados consistieron en aplicar un método de evaluación integrada y obtener un índice que muestre el grado de *vulnerabilidad del sector agrícola* del país, y que permita sustentar políticas de adaptación. El tema es abordado en el capítulo 5 de esta tesis y consistió en retomar las salidas obtenidas de los tres capítulos anteriores para ser integrados en una

sola metodología. En este caso, se aplicaron dos métodos distintos de ponderación de los 60 indicadores considerados; un análisis de componentes principales y una asignación de mismos pesos. El método de componentes principales fue más rápido de aplicarse aunque mostró menos severidad en la evaluación de la vulnerabilidad. Por lo anterior, se decidió trabajar con los resultados del método de asignación de mismos pesos a los indicadores.

El último objetivo fue *regionalizar* al país de acuerdo con los resultados de la evaluación integrada de la vulnerabilidad y también es abordado en el capítulo 5. Aquí, se construyó un mapa de vulnerabilidad base y dos mapas de vulnerabilidad futura para los municipios de México. Los mapas y perfiles de vulnerabilidad base fueron construidos por la combinación de índices de exposición, de sensibilidad y de capacidad adaptativa. Se muestran los mapas en cinco rangos de vulnerabilidad: muy alta, alta, media, baja y muy baja.

La información utilizada en la construcción de los índices antes señalados fue sobre base municipal y tomada de fuentes oficiales de México. Las *fuentes de información* de los indicadores son públicas y de fácil acceso, lo que permite que los índices puedan ser alimentados con información reciente que se vaya teniendo disponible. En este sentido, el método de indicadores es valioso por que permite monitorear tendencias, explorar marcos conceptuales y hacer comparaciones.

La *escala* utilizada fue apropiada para caracterizar la exposición, la sensibilidad, la capacidad adaptativa y la vulnerabilidad en México. Primero, porque en el país se cuenta con información estadística y espacial disponible a escala municipal. Segundo, porque fue posible caracterizar las regiones del país y a partir de ello obtener una mirada nacional más detallada, es decir, la escala permite construir la visión desde abajo.

El *método de construcción* de los índices de exposición, sensibilidad, capacidad adaptativa y vulnerabilidad (base y con cambio climático) consistió en seleccionar los indicadores, aplicar las fórmulas propuestas, obtener los índices y mapear los resultados. En todos los casos para calcular los índices se utilizaron fórmulas lineales simples, que combinaron las variables estudiadas. El presente estudio representa un acercamiento en la evaluación de la vulnerabilidad del sector agrícola del país a partir de algunas variables de interés hacia el estresor que significa el cambio climático. El método de indicadores permitió estimar la vulnerabilidad del sector, pudiendo incorporar cambios futuros en los indicadores y resultando en cambios relativos de la vulnerabilidad. Algunas limitaciones que se puede señalar al método es que su uso puede ser limitado debido a la subjetividad en la selección de los indicadores o variables, dificultad en la validación de la información y que la propuesta no refleja el conocimiento local. Lo anterior deberá ser incorporado en estudios futuros.

Con la *obtención de cartografía* sobre vulnerabilidad y sus componentes fue posible identificar las regiones del país que han estado más expuestas a la variación climática, que son más sensibles al cambio climático, que tienen menor capacidad adaptativa y/o que son más vulnerables, tanto en el escenario base como también aquellas que posiblemente tendrán las condiciones en el futuro, al considerar escenarios de cambio climático. La identificación de regiones donde es probable que aumente la vulnerabilidad constituye un primer paso para identificar las zonas y sus limitaciones para adaptarse.

Los *perfiles* obtenidos en vulnerabilidad y en cada uno de sus componentes son herramientas que pueden ayudar en la dirección de mejores acciones para hacer frente al cambio climático. En este estudio se integraron indicadores sociales, económicos y biofísicos para caracterizar la vulnerabilidad al cambio climático. Por lo que dicha vulnerabilidad al cambio climático puede ser entendida como una función de factores biofísicos y socioeconómicos. De acuerdo con los perfiles, la vulnerabilidad en México se encuentra fuertemente relacionada con los fenómenos climáticos extremos, acceso limitado a recursos, así como a algunos atributos mismos de la población.

Por lo anterior, es posible que el sistema agrícola del país pueda *disminuir su vulnerabilidad* con modificaciones que podrían incluir: elevar el bienestar de las personas para que disminuya la sensibilidad, y modificando la exposición del sistema agrícola a determinados estresores, como la sequía, las inundaciones o las heladas. Sobre el primero, elevar el bienestar, debe considerarse que el 14 por ciento de la población nacional presenta alta vulnerabilidad y baja capacidad de adapta-

ción. Sobre el segundo, los esfuerzos deben encaminarse a reducir ese 14 por ciento del total de la población que se definen con alta vulnerabilidad y alta exposición a dichos fenómenos, así como el 20 por ciento de la población de los municipios que se encuentran con alta sensibilidad y alta vulnerabilidad al cambio climático.

Evaluar la vulnerabilidad al cambio climático en el sector agrícola es un ejercicio complicado por ser un *sistema muy complejo*, y se reconoce que el presente documento no refleja a cabalidad dicha complejidad. Sin embargo, el propósito del estudio es proveer información –disponible y verificable- de la vulnerabilidad relativa en el sector agrícola del país, para ayudar en el proceso de adaptación e incluso, orientar recursos y esfuerzos institucionales. El presente es una propuesta de evaluación cuantitativa, más que cualitativa, por lo que el método es reproducible y mejorable cuando se tengan mejores bases de datos.

Es importante señalar también que la presente significa una *contribución en los análisis integrados* de cambio climático, al incluir impactos, vulnerabilidad y capacidad de adaptación en una sola evaluación. También, bajo el techo del término ‘sector agrícola’ se logró integrar salidas de diferentes estudios sectoriales: agricultura (maíz), ganadería y bosques; sin olvidar que en el carácter integrador, también se hizo énfasis tanto en aspectos humanos, como sociales, económicos y productivos - ambientales. Lo anterior significó dar un paso más allá de los trabajos clásicos, donde se limitan a estimar un posible impacto potencial del cambio climático, agregando o infiriendo algunos aspectos de vulnerabilidad, comúnmente, el impacto es sinónimo de vulnerabilidad.

La capacidad de respuesta que tienen los agricultores a los impactos del cambio climático está dada, en principio, por su capacidad adaptativa presente. Pero dicha capacidad tiene límites que ya han sido demostrados por las pérdidas y daños asociados con eventos como sequías, inundaciones, etc., que muestran grandes pérdidas económicas y humanas en el país. Por ello, los resultados del presente estudio pueden permitir dirigir los esfuerzos de adaptación a aquellas áreas con mayor exposición, mayor sensibilidad o menor capacidad adaptativa.

A pesar de que en México ya hay un discurso sobre cambio climático, aun no se ha permeado hacia los niveles inferiores de gobierno. Hoy día ya es más común escuchar al presidente de la república y a gobernadores opinar e impulsar acciones relacionadas con cambio climático, pero no así con los presidentes municipales. Una forma de elevar la capacidad adaptativa de los municipios del país es introduciendo el tema del cambio climático en la planificación del desarrollo. Se requiere entonces que en todos los niveles de gobierno se desarrollen políticas y promocionen prácticas de reducción de vulnerabilidad, siempre bajo el cobijo de un plan federal que enmarque las principales líneas de acción.

En adelante debe de continuarse con el trabajo de evaluación de vulnerabilidad pero que considere dos temas que son importantes: Primero, hace falta que los estudios de adaptación contribuyan a las iniciativas locales de adaptación, investigando la capacidad adaptativa y las necesidades de adaptación a nivel más detallado aún, por regiones, comunidades o fincas, en orden de estar en mejores posibilidades de implementar medidas de adaptación. Y en segundo lugar, es prioritario identificar la exposición, sensibilidad y capacidad adaptativa desde las comunidades, enfocándose en las condiciones que son importantes para ellos, en lugar de las planteadas desde el gobierno, un investigador o incluso, desde la información disponible.

ANEXOS

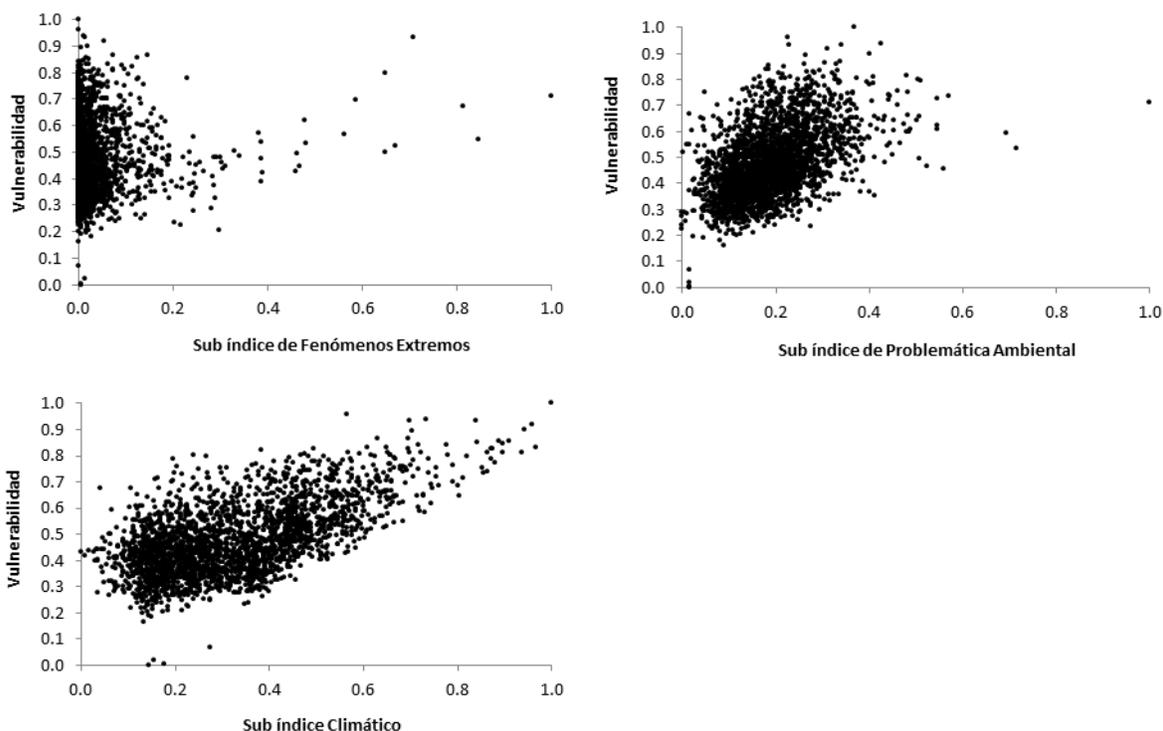
Anexo 1. Resumen de algunas publicaciones sobre vulnerabilidad y sus enfoques.

Autor	Año	Título	Fuente:	Vulnerabilidad basada en:
(Adger y Kelly)	1999	Social Vulnerability to climate change and extremes in Coastal Vietnam	World Development	Vulnerabilidad social individual y colectiva
(Alderwish y Al-Eryani)	1999	An approach for assessing the vulnerability of the water resources of Yemen to climate change	Climate Research	Recursos hídricos y sequía
(El-Raey et al.)	1999	Vulnerability assessment of sea level rise over Port Said governorate, Egypt	Environmental Monitoring and Assessment	Elevación del nivel del mar
(Hareau et al.)	1999	Vulnerability to climate change in Uruguay: potential impacts on the agricultural and coastal resource sectors and response capabilities	Climate Research	Impactos del cambio climático en cultivos, praderas y costas
(Kelly y Adger)	1999	Assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation	www.cserge.ac.uk	Ciclones tropicales por cambio climático
(Liverman)	1999	Vulnerability and adaptation to drought in México	Natural Resources Journal	Sequia por cambio climático
(Mimura)	1999	Vulnerability of island countries in the South to sea level rise and climate change	Climate Research	Elevación del nivel del mar por cambio climático
(Pelling)	1999	The political ecology of flood hazard in urban Guyana	Geoforum	Elevación del nivel del mar por cambio climático
(Kelly y Adger)	2000	Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation	Climatic Change	Tormentas tropicales por cambio climático
(Moss et al.)	2000	Measuring vulnerability: a trial indicator set	Pacific Northwest National Laboratory	A impactos de cambio climático
(Schreider et al.)	2000	Climate change impacts on urban flooding	Climatic Change	Inundaciones por cambio climático
(Thieler y Hammar-Klose)	2000	National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise: preliminary results for the U.S. Pacific Coast	http://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/cvi/	Elevación del nivel del mar por cambio climático
(Thumerer et al.)	2000	A GIS based coastal management system for climate change associated flood risk assessment on the east coast of England	International Journal of Geographical Information Science	Elevación del nivel del mar por cambio climático
(Krol et al.)	2001	The semi-arid integrated model (SIM). a regional integrated model assessing water availability, vulnerability and society in NE-Brazil	Physics and Chemistry of the Earth	Vulnerabilidad social y ecosistémica a sequía
(Middlekoop y Kwadijk)	2001	Towards integrated assessment of the implications of global change for water management - the Rhine experience	Physics and Chemistry of the Earth	Sensibilidad del sistema hídrico
(Moss et al.)	2001	Vulnerability to climate change. A quantitative approach	www.globalchange.umd.edu	A impactos de cambio climático
(Quinn et al.)	2001	An integrated modeling system for environmental impact analysis of climate variability and extreme weather events in the San Joaquin basin, California	Advances in Environmental Research	Suministro y calidad de agua
(Nicholls)	2002	Analysis of global impacts of sea-level rise: a case study of flooding	Physics and Chemistry of the Earth	Elevación del nivel del mar por cambio climático
(Wilhelmi y Wilhite)	2002	Assessing vulnerability to agricultural drought: a Nebraska case study	Natural Hazards	Sequia por cambio climático
(Wu et al.)	2002	Vulnerability of coastal communities to sea-level rise: a case study of Cape May county, New Jersey, USA	Climate Research	Elevación del nivel del mar por cambio climático
(Brenkert y Malone)	2003	Vulnerability and resilience of India and Indian States to climate	en línea	A impactos de cambio climático

Autor	Año	Titulo	Fuente:	Vulnerabilidad basada en:
		change: a first order approximation		
(Fowler et al.)	2003	Modeling the Impacts of climatic change and variability on the reliability, resilience and vulnerability of a water resource system	Water Resources Research	Sequia por cambio climático
(Luers et al.)	2003	A method for quantifying vulnerability, applied to the agricultural system of the Yaqui Valley, Mexico	Global Environmental Change	Estresores y tendencias
(Antle et al.)	2004	Adaptation, spatial heterogeneity and the vulnerability of agricultural systems to climate change and CO2 fertilization: an integrated assessment approach	Climatic Change	Sistemas agrícolas y fertilización con CO2
(O'Brien et al.)	2004	Vulnerable or resilient? A multi-scale assessment of climate impacts and vulnerability in Norway	Climatic Change	Diferentes escalas, nacional, regional y local
(O'Brien et al.)	2004	Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization in India	Global Environmental Change	Impactos de cambio climático y globalización
(UNITAR)	2004	Capacity Strengthening in climate change vulnerability and adaptation strategy assessment	www.ced-unitar.org	Impacto de cambio climático en diferentes sectores
(Dwyer et al.)	2004	Quantifying Social Vulnerability: A methodology for identifying those at risk to natural hazards	www.ga.gov.au/imagecache/GA4267.pdf	Vulnerabilidad social a amenazas naturales
(Brenkert y Malone)	2005	Modeling vulnerability and resilience to climate change: a case study of India and Indian States	Climatic Change	A impactos de cambio climático
(Connor y Hiroki)	2005	Development of a method for assessing flood vulnerability. Water Science and Technology	Water Science and Technology	Inundaciones por cambio climático
(Eakin)	2005	Institutional change, climate risk and rural vulnerability: cases from Central México	World Development	A impactos de cambio climático y globalización en pequeños agricultores
(IMN y MINAE)	2005	Vulnerabilidad actual de la zona noroccidental del valle central de Costa Rica	www.pnud.or.cr	A impactos de cambio climático
(Sullivan y Meigh)	2005	Targeting attention on local vulnerabilities using an integrated index approach: the example of the climate vulnerability index	Water Science and Technology	Índice de pobreza hídrica
(Brooks et al.)	2005	The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation	Global Environmental Change	Cambio climático y vulnerabilidad social
(SOPAC y UNEP)	2005	Environmental Vulnerability Index	www.vulnerabilityindex.net	Impacto de cambio climático, fuerzas naturales y uso por hombre
(Aall y Norland)	2005	Indicators for Local-Scale Climate Vulnerability Assessments	www.prosus.uio.no	Vulnerabilidad institucional y adaptación
(SEI)	2007	Identifying Climate Vulnerability Exposure	www.unep.org	Exposición por amenazas climáticas
(Harley et al.)	2008	Climate change vulnerability and adaptation indicators	European Topic Centre on Air and Climate Change	Indicadores de adaptación
(UNFCCC)	2008	Compendium on methods and tools to evaluate impacts of, and vulnerability and adaptation to, climate change	http://unfccc.int	Impacto de cambio climático
(Cutter et al.)	2009	Social Vulnerability to Climate Variability Hazards: A Review of the Literature	Oxfam America	Vulnerabilidad social y amenazas
(Füssel)	2009	Review and Quantitative Analysis of Indices of Climate Change Exposure, Adaptive Capacity,	World Bank Development Report	Impacto de cambio climático

Autor	Año	Título	Fuente:	Vulnerabilidad basada en:
(UNEP)	2009	Sensitivity, and Impacts IEA Training manual, Volume II. Vulnerability and impact assessments for adaptation to climate change	http://www.unep.org	Adaptación a cambio climático
(Barr et al.)	2010	Adaptation Investments: a resource allocation framework	Mitigation and Adaptation Strategies Global Change	Impactos de cambio climático, capacidad adaptativa y capacidad de implementación
(Natural-England)	2010	Climate Change adaptation indicators for the natural environment	www.naturalengland.org.uk	Cambio climático y adaptación en medio ambiente
(DARA)	2010	Climate Vulnerability Monitor 2010	http://daraint.org	Impactos de cambio climático en salud, desastres, hábitat, estrés económico y recursos naturales
(Davis et al.)	2010	Indicators as technology of global governance. IILI Working Paper.	Global Administration Law Series	Tecnología y Gobernanza
(DEFRA)	2010	Measuring adaptation to climate change: a proposed approach	www.defra.gov.uk	Impactos de cambio climático y organizaciones
(Mitchell et al.)	2010	Assessing Progress on Integrating Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation in Development Processes.		Reducción de desastres y cambio climático
(UNEP)	2010	Vulnerability Indices for Planning Climate Change Adaptation	www.napa-pana.org/	Adaptación a cambio climático
(GaIn)	2011	Global Adaptation Index, Measuring what matters. GaIn v1.0	www.globalai.org	Impactos de cambio climático y disposición de mejorar resiliencia
(Harmeling)	2011	Global Climate Risk Index 2011	Germanwatch and Climate Action Europe: http://www.germanwatch.org	Impacto de pérdidas relacionadas con clima
(Hinkel)	2011	Indicators of vulnerability and adaptive capacity: Towards a clarification of the science-policy interface	Global Environmental Change	Impacto de cambio climático y capacidad adaptativa
(Young et al.)	2011	The NatureServe Climate Change Vulnerability Index	http://www.natureserve.org	Impacto de cambio climático sobre plantas y animales
(Wheeler)	2011	Quantifying Vulnerability to Climate Change: Implications for Adaptation Assistance	Center for Global Development: www.cgdev.org	Cambios en clima extremo, elevación de nivel del mar y pérdidas agrícolas
(Guillaumont y Simonet)	2011	Designing an index of structural vulnerability to climate change	www.ferdi.fr	Vulnerabilidad estructural y política

Anexo 2. Dispersión y participación de indicadores de exposición dentro del índice de vulnerabilidad



Participación promedio de indicadores de exposición (fenómenos extremos) según grado de vulnerabilidad

Grado de Vulnerabilidad	Amenaza a sequía	Inundación	Heladas	Lluvias	Deslizamientos	Resto
Muy Baja	0.106	0.125	0.125	0.000	0.000	0.375
Baja	0.261	1.221	0.334	0.156	0.085	0.942
Media	0.184	1.413	0.328	0.312	0.190	1.036
Alta	0.040	1.264	0.249	0.375	0.311	1.131
Muy Alta	0.001	1.821	0.026	0.667	0.769	1.179

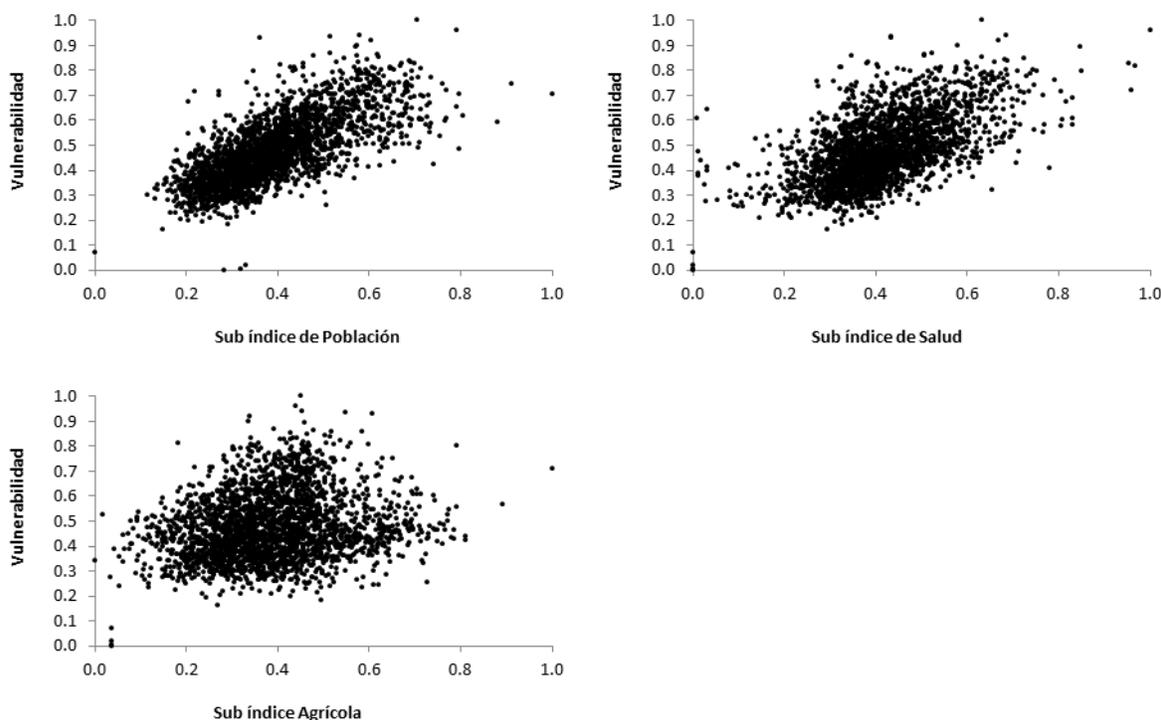
Participación promedio de indicadores de exposición (problemática ambiental) según grado de vulnerabilidad

Grado de Vulnerabilidad	Superficie sin vegetación	Problemas ambientales	Perdidas por clima	Perdida de fertilidad
Muy Baja	0.571	0.125	9.260	2.027
Baja	0.912	1.814	34.364	8.226
Media	0.972	2.471	45.185	13.893
Alta	0.773	2.864	55.951	23.571
Muy Alta	0.669	2.974	67.520	30.949

Participación promedio de indicadores de exposición (climáticos) según grado de vulnerabilidad

Grado de Vulnerabilidad	Temperatura Media	Precipitación Media	Temperatura HADGEM	Precipitación HADGEM	Temperatura ECHAM	Precipitación ECHAM
Muy Baja	17.741	118.125	19.244	110.250	18.966	107.500
Baja	21.107	111.289	22.690	103.927	22.346	98.139
Media	22.524	143.787	23.974	140.938	23.648	124.571
Alta	23.065	245.267	24.472	243.469	24.219	214.632
Muy Alta	23.806	412.436	25.283	401.923	25.047	381.256

Anexo 3. Dispersión y participación de indicadores de sensibilidad en el índice de vulnerabilidad



Participación promedio de indicadores de sensibilidad (población) según grado de vulnerabilidad

Grado de Vulnerabilidad	Hogares con jefatura femenina	Porcentaje de Indígenas	Pobreza alimentaria	Población en sector primario
Muy Baja	0.204	0.935	8.345	3.734
Baja	0.210	3.828	18.995	8.605
Media	0.223	23.130	33.423	12.828
Alta	0.200	62.926	55.254	19.714
Muy Alta	0.199	76.470	59.487	22.227

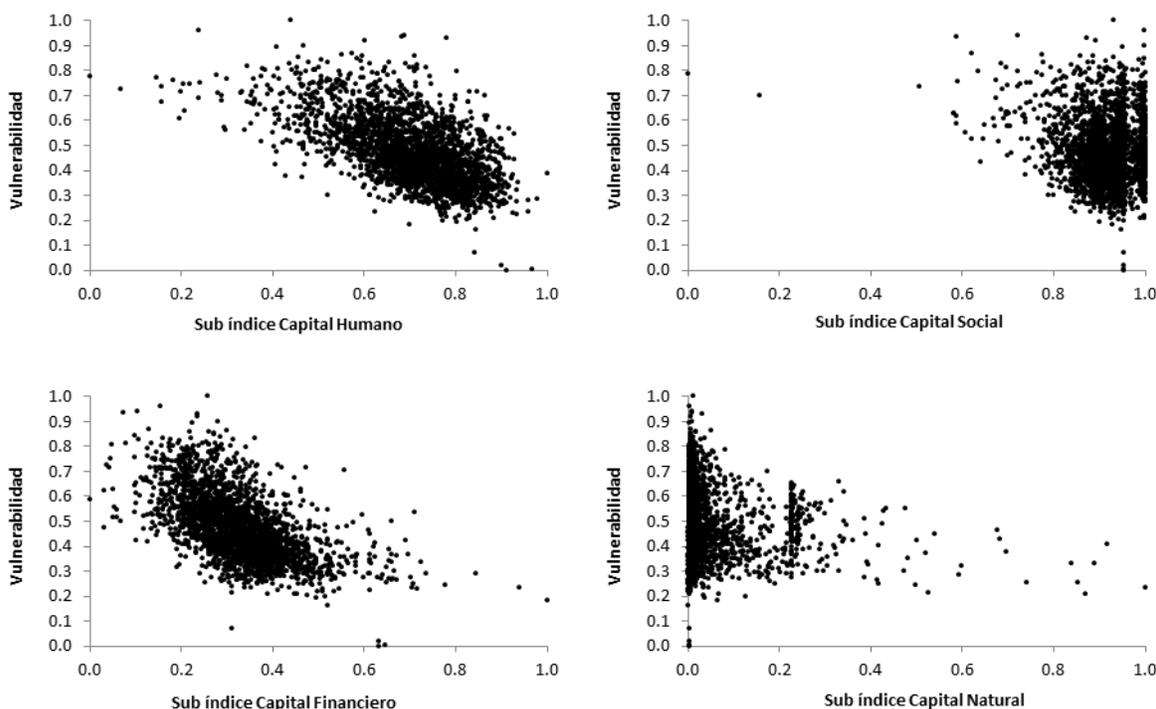
Participación promedio de indicadores de sensibilidad (salud) según grado de vulnerabilidad

Grado de Vulnerabilidad	Baja Talla	Bajo peso	Servicios de Salud
Muy Baja	0.098	0.035	17.844
Baja	0.163	0.087	39.818
Media	0.257	0.135	29.848
Alta	0.363	0.181	21.142
Muy Alta	0.446	0.196	21.923

Participación promedio de indicadores de sensibilidad (agrícola) según grado de vulnerabilidad

Grado de Vulnerabilidad	Superficie en sector primario		Rendimiento de maíz				Rendimiento de R en R				Aptitud agrícola	Aptitud ganadera	Aptitud forestal
	Superficie	Sin riego	maíz	de R	en R	en R	en R	en R	en R	Cebada			
Muy Baja	25.588	89.831	0.488	0.000	0.053					0.084	1.750	2.000	0.750
Baja	45.116	84.286	1.392	0.107	0.160	0.056	0.030	2.658	3.835	1.380			
Media	53.936	88.695	1.206	0.132	0.319	0.173	0.135	2.599	3.528	1.427			
Alta	66.796	96.589	1.300	0.045	0.129	0.075	0.234	3.548	3.363	1.262			
Muy Alta	73.170	97.671	1.454	0.041	0.088	0.000		4.000	3.231	1.205			

Anexo 4. Dispersión y participación de indicadores de capacidad adaptativa dentro de índice de vulnerabilidad



Participación promedio de indicadores de capacidad adaptativa (humano) según grado de vulnerabilidad

Grado de Vulnerabilidad	Personas saben leer	Asistencia a escuela	Alfabetismo	Cambio en población al 2030
Muy Baja	94.614	0.683	94.492	12.281
Baja	91.515	0.641	91.406	-4.471
Media	82.950	0.643	82.869	-9.264
Alta	70.130	0.643	70.044	10.338
Muy Alta	67.321	0.640	67.245	10.811

Participación promedio de indicadores de capacidad adaptativa (social) según grado de vulnerabilidad

Grado de Vulnerabilidad	Organización	Sin litigio	Sin falta de capacitación	Sin problema de propiedad	Unidad de protección civil	Mapa de amenazas
Muy Baja	99.674	99.958	98.831	99.955	0.500	0.500
Baja	97.978	99.741	95.510	99.593	1.178	1.537
Media	97.421	99.681	93.752	99.383	1.282	1.519
Alta	95.957	99.337	91.324	98.959	1.341	1.627
Muy Alta	92.676	99.550	86.582	98.721	1.385	1.615

Participación promedio de indicadores de capacidad adaptativa (financiero) según grado de vulnerabilidad

Grado de Vulnerabilidad	Sin dificultad de acceso a créditos	Reciben remesas	Reportaron tener ahorro	Con crédito y Seguro	Apoyos promedio	Ingreso mayor a dos salarios mínimos	PIB 2000	PIB 2030
Muy Baja	97.902	0.736	0.507	26.694	6357.494	69.929	36,849,786	74,147,269
Baja	91.559	3.262	2.857	37.132	2305.234	46.820	4,918,002	11,663,812
Media	88.073	3.359	1.897	33.123	1652.057	30.384	1,115,399	3,433,243
Alta	84.471	2.066	1.252	30.204	1290.738	17.815	427,868	1,534,133
Muy Alta	74.692	1.539	1.020	40.657	989.576	13.845	411,208	1,698,602

Participación promedio de indicadores de capacidad adaptativa (natural) según grado de vulnerabilidad

Grado de Vulnerabilidad	Superficie con bosque o selvas	Superficie reforestada	Tasa recarga acuíferos
Muy Baja	969.05	75.50	-65.88
Baja	2711.71	93.15	306.99
Media	1263.45	63.25	1704.40
Alta	647.79	38.25	863.85
Muy Alta	290.75	10.46	242.09

Anexo 5. Coeficientes de correlación y error por y componente de Vulnerabilidad

EXPOSICIÓN:								
Grado de Vulnerabilidad	Fenómenos Extremos	Problemática Ambiental	Climático	Climático HADGEM1	Climático MPI ECHAM5	Exposición base	Exposición HADGEM1	Exposición MPI ECHAM5
Base	0.05 (0.07)	0.49 (0.08)	0.61 (0.13)			0.73 (0.09)		
HADGEM1	0.04 (0.07)	0.49 (0.08)		0.62 (0.12)			0.74 (0.09)	
MPI ECHAM5	0.05 (0.07)	0.48 (0.08)			0.63 (0.11)			0.76 (0.08)
SENSIBILIDAD:								
	Población	Salud	Agrícola	Agrícola HADGEM1	Agrícola MPI ECHAM5	Sensibilidad base	Sensibilidad HADGEM1	Sensibilidad MPI ECHAM5
Base	0.72 (0.09)	0.59 (0.10)	0.20 (0.13)			0.75 (0.08)		
HADGEM1	0.73 (0.09)	0.56 (0.10)		0.28 (0.14)			0.77 (0.08)	
MPI ECHAM5	0.72 (0.09)	0.52 (0.10)			0.31 (0.14)			0.74 (0.07)
CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN:								
	Humano	Humano Futuro	Social	Financiero	Financiero Futuro	Natural	Capacidad Adaptación Base	Capacidad Adaptación Futura
Base	-0.60 (0.10)		-0.14 (0.07)	-0.59 (0.08)		-0.11 (0.09)	-0.73 (0.06)	
HADGEM1		-0.54 (0.11)	-0.13 (0.07)		-0.60 (0.08)	-0.10 (0.09)		-0.71 (0.06)
MPI ECHAM5		-0.55 (0.11)	-0.14 (0.07)		-0.59 (0.08)	-0.15 (0.09)		-0.73 (0.06)

* Entre paréntesis se muestra el error

Anexo 6. Comunalidades y puntuaciones (pesos) de los indicadores obtenidos por análisis de componentes principales (primera componente), para la definición del índice de Vulnerabilidad por el método de análisis factorial

	Comunalidades		puntuaciones (pesos)	
	superior a 0.6	inferior a 0.6	positivas	negativas
Amenaza Sequía	1.221		0.13906	
Inundaciones		0.122	0.00094	
Heladas		0.074		-0.00091
Deslizamientos		0.128		-0.00021
Resto FE		0.206		-0.00024
Probl. Amb.	1.064		0.00519	
Sin Veg.		0.128	0.00320	
Perd. Clima		0.471		-0.04879
Perd. Fert.		0.269		-0.01989
T Media		0.235	0.01165	
P Media		0.143		-0.01479
T HADGEM1		0.238	0.01184	
P HADGEM1		0.130		-0.01395
T MPI ECHAM5		0.248	0.01258	
P MPI ECHAM5		0.189		-0.02113
Hogares JF	0.849			-0.08700
Hogares Ind.		0.001		-0.00011
Pobreza Alim.		0.264	0.01486	
Sup primario		0.254	0.01250	
Baja Talla		0.188		-0.00034
Bajo Peso		0.411		-0.01843
Salud		0.563	0.03115	
Sup Primaria		0.472		-0.02793
Riego	0.695		0.06347	
Temporal		0.555		-0.03407
Cebada	1.034		0.09340	
Frijol	0.776		0.02915	
Maíz	1.343		0.11761	
Sorgo	1.214		0.12160	
Aptitud agrícola		0.104	0.00658	
Potencial ganadero		0.392	0.00921	
Potencial forestal		0.373	0.00583	
Aptitud agrícola Modelo MPI ECHAM5 al 2030	0.887		0.04874	
Potencial ganadero Modelo MPI ECHAM5 al 2030		0.153	0.00550	
Potencial forestal Modelo MPI ECHAM5 al 2030		0.200	0.01544	
Aptitud agrícola Modelo HADGEM1 al 2030	0.806		0.03398	
Potencial ganadero Modelo HADGEM1 al 2030	1.136			-0.04402
Potencial forestal Modelo HADGEM1 al 2030		0.593	0.04561	
Alfabetos		0.235		-0.00662
Asistencia escolar		0.180	0.00912	
Alfabetización		0.236		-0.00666
Cambio en población al 2030		0.522	0.02252	
Organización		0.068	0.00139	
Litigios por tierra		0.009	0.00044	
Capacitación		0.253	0.01652	
Propiedad		0.028	0.00036	
Protección Civil	1.153			-0.04399
Mapa Amenazas	1.132		0.04426	
Acceso a crédito		0.107	0.00872	
Remesas	0.781			-0.03730
Ahorro		0.063		-0.00518
Crédito y seguro	0.647		0.04781	
Apoyos	1.819		0.16558	
PIB 2000		0.016		-0.00051
Ingreso		0.337		-0.00367
PIB 2030		0.033		-0.00218
Bosques y selvas		0.462	0.00003	
Reforestación		0.187		-0.00061
Acuíferos		0.001		-0.00002

Anexo 7. Total de municipios (izquierda) y población por estado (derecha), según grado de vulnerabilidad en escenario base.

	Grado de Vulnerabilidad					Total	Grado de Vulnerabilidad					Total
	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta		Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta	
Aguascalientes		2	9			11		123,170	942,246			1,065,416
Baja California		2	2	1		5		164,339	1,269,443	1,410,687		2,844,469
Baja California Sur			5			5			512,170			512,170
Campeche			11			11			754,730			754,730
Coahuila		26	12			38		1,312,022	1,183,178			2,495,200
Colima		3	7			10		257,970	310,026			567,996
Chiapas			35	75	8	118			1,783,079	2,069,772	440,608	4,293,459
Chihuahua	1	44	20	2		67	4,835	901,994	1,007,979	1,326,636		3,241,444
Distrito Federal	3	9	4			16	0	3,555,285	3,894,241			7,449,526
Durango		27	12			39		909,029	600,088			1,509,117
Guanajuato		30	16			46		4,139,328	754,484			4,893,812
Guerrero		1	48	32		81		6,104	1,388,275	1,720,823		3,115,202
Hidalgo		24	45	15		84		755,607	1,176,554	413,353		2,345,514
Jalisco	1	98	26			125	0	4,414,829	2,337,284			6,752,113
México	3	85	37			125	52,986	8,704,217	5,250,292			14,007,495
Michoacán		45	68			113		1,798,998	2,167,075			3,966,073
Morelos		21	12			33		1,073,408	539,491			1,612,899
Nayarit		8	12			20		464,766	484,918			949,684
Nuevo León		42	9			51		2,900,434	1,298,858			4,199,292
Oaxaca		59	339	152	20	570		310,736	1,785,265	1,227,710	183,110	3,506,821
Puebla		41	129	39	8	217		2,537,784	2,242,993	504,950	97,406	5,383,133
Querétaro		10	8			18		651,027	947,112			1,598,139
Quintana Roo		1	6	1		8		219,763	882,800	32,746		1,135,309
San Luis Potosí		10	35	13		58		272,560	1,759,753	378,101		2,410,414
Sinaloa		1	17			18		42,445	2,565,997			2,608,442
Sonora		54	16	2		72		1,196,450	907,182	291,229		2,394,861
Tabasco			13	4		17			1,585,556	404,413		1,989,969
Tamaulipas		21	22			43		1,071,948	1,952,290			3,024,238
Tlaxcala		43	17			60		766,512	301,695			1,068,207
Veracruz		6	147	56	3	212		134,669	4,856,878	2,053,829	64,838	7,110,214
Yucatán		11	82	13		106		41,496	1,673,009	104,443		1,818,948
Zacatecas		40	18			58		720,688	647,004			1,367,692
	8	764	1239	405	39	2455	57,821	39,447,578	49,761,945	11,938,692	785,962	101,991,998

Anexo 8. Total de municipios (izquierda) y población por estado (derecha), según grado de vulnerabilidad en escenario HADGEM1.

	Grado de Vulnerabilidad					Total	Grado de Vulnerabilidad					Total
	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta		Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta	
Aguascalientes		2	9			11		207,354	1,250,762			1,458,116
Baja California		2	2	1		5		402,000	1,947,700	2,725,286		5,074,986
Baja California Sur			5			5			831,837			831,837
Campeche			6	5		11			506,224	461,038		967,262
Coahuila		18	20			38		1,471,699	1,583,075			3,054,774
Colima		3	7			10		359,048	374,157			733,205
Chiapas			27	77	14	118			2,030,039	2,695,197	564,993	5,290,229
Chihuahua	1	38	24	4		67	2,982	711,483	1,278,310	1,845,401		3,838,176
Distrito Federal	3	8	5			16	0	3,041,594	4,372,267			7,413,861
Durango	1	23	15			39	566,905	222,992	790,742			1,580,639
Guanajuato		25	21			46		4,395,551	874,832			5,270,383
Guerrero			39	40	2	81			1,000,260	1,314,441	568,959	2,883,660
Hidalgo	1	20	46	15	2	84	198,838	688,420	1,155,530	328,849	198,215	2,569,852
Jalisco	1	92	32			125	0	6,009,604	1,778,350			7,787,954
México	5	84	36			125	515,750	11,500,953	6,071,357			18,088,060
Michoacán		40	70	3		113		1,693,171	1,816,590	23,300		3,533,061
Morelos		21	12			33		1,373,140	482,864			1,856,004
Nayarit		7	13			20		684,000	302,329			986,329
Nuevo León		38	13			51		4,133,332	1,265,055			5,398,387
Oaxaca		39	285	219	27	570		190,520	1,540,217	1,460,606	206,232	3,397,575
Puebla		25	142	38	12	217		3,169,001	2,671,967	568,324	118,203	6,527,495
Querétaro		8	10			18		951,791	1,351,705			2,303,496
Quintana Roo		2	4	2		8		907,678	1,451,678	91,477		2,450,833
San Luis Potosí		6	37	15		58		499,204	1,618,486	477,479		2,595,169
Sinaloa			18			18			2,608,651			2,608,651
Sonora		50	20	2		72		1,656,151	875,060	310,100		2,841,311
Tabasco			4	13		17			905,970	1,258,893		2,164,863
Tamaulipas		10	33			43		414,975	3,409,116			3,824,091
Tlaxcala		34	26			60		798,215	608,735			1,406,950
Veracruz		5	139	61	7	212		221,642	4,522,009	2,463,931	155,194	7,362,776
Yucatán		7	76	23		106		31,090	2,078,148	279,048		2,388,286
Zacatecas		37	21			58		506,425	772,151			1,278,576
	12	644	1217	518	64	2455	1,284,475	46,241,033	54,126,173	16,303,370	1,811,796	119,766,847

Anexo 9. Total de municipios (izquierda) y población por estado (derecha), según grado de vulnerabilidad en escenario MPI ECHAM5.

	Grado de Vulnerabilidad						Grado de Vulnerabilidad					
	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta	Total	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta	Total
Aguascalientes		2	8	1		11		239,520	231,487	987,109		1,458,116
Baja California		4		1		5		2,349,700		2,725,286		5,074,986
Baja California Sur			5			5			831,837			831,837
Campeche		2	9			11		120,293	846,969			967,262
Coahuila		23	15			38		1,668,465	1,386,309			3,054,774
Colima		3	7			10		359,048	374,157			733,205
Chiapas		1	32	75	10	118		150,906	1,957,325	2,754,343	427,655	5,290,229
Chihuahua	3	41	21	2		67	20,319	751,474	1,249,809	1,816,574		3,838,176
Distrito Federal	4	8	4			16	208,591	3,465,387	3,739,883			7,413,861
Durango	1	27	11			39	566,905	504,990	508,744			1,580,639
Guanajuato		30	16			46		4,695,702	574,681			5,270,383
Guerrero			51	29	1	81			1,198,363	1,133,760	551,537	2,883,660
Hidalgo	1	28	39	16		84	198,838	887,791	970,873	512,350		2,569,852
Jalisco	1	98	26			125	0	5,738,880	2,049,074			7,787,954
México	8	81	36			125	1,582,747	11,205,548	5,299,765			18,088,060
Michoacán		39	73	1		113		1,695,070	1,829,436	8,555		3,533,061
Morelos		20	13			33		1,237,784	618,220			1,856,004
Nayarit		4	16			20		91,386	894,943			986,329
Nuevo León		40	11			51		3,570,231	1,828,156			5,398,387
Oaxaca		57	321	164	28	570		353,407	1,615,235	1,204,885	224,048	3,397,575
Puebla		50	120	39	8	217		3,664,806	2,200,372	596,724	65,593	6,527,495
Querétaro		8	10			18		951,791	1,351,705			2,303,496
Quintana Roo		5	2	1		8		2,244,573	177,122	29,138		2,450,833
San Luis Potosí		10	34	14		58		539,923	1,594,221	461,025		2,595,169
Sinaloa		3	15			18		290,385	2,318,266			2,608,651
Sonora		53	17	2		72		1,671,726	859,485	310,100		2,841,311
Tabasco			12	5		17			1,651,211	513,652		2,164,863
Tamaulipas		16	27			43		469,482	3,354,609			3,824,091
Tlaxcala		45	15			60		1,263,985	142,965			1,406,950
Veracruz		9	148	50	5	212		276,964	4,904,350	2,079,489	101,973	7,362,776
Yucatán		18	83	5		106		1,327,613	1,033,227	27,446		2,388,286
Zacatecas		43	15			58		664,698	613,878			1,278,576
	18	768	1212	405	52	2455	2,577,400	52,451,528	48,206,677	15,160,436	1,370,806	119,766,847

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- Aall, C. y Norland, I. (2005) Indicators for Local-Scale Climate Vulnerability Assessments. Western Norway Research Institute, University of Oslo, p. 131.
- Adger, W.N. (1996) Approaches to vulnerability to climate change., Working Paper GEC 96-05. University of East Anglia, Norwich, UK.
- Adger, W.N. y Kelly, P.M. (1999) Social vulnerability to climate change and the architecture of entitlements. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 4, 253-266.
- Adger, W.N., Agrawala, S., Mirza, M.M., Conde, C., O'Brien, K., Pulhin, J., Pulwarty, R., Smit, B. y Takahashi, K. (2007) Chapter 17. Assessment of adaptation practices, options, constraints and capacity. , in: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., Linden, P.J., Hanson, C.E. (Eds.), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Alderwish, A. y Al-Eryani, M. (1999) An approach for assessing the vulnerability of the water resources of Yemen to climate change. *Climate Research* 12, 85-89.
- Allen, J. y Lu, K. (2003) Modelling and prediction of future urban growth in the Charleston region of South Carolina: a GIS based integrated approach. *Conservation Ecology* 8.
- Antle, J., Capalbo, S., Elliot, E. y Paustian, K. (2004) Adaptation, spatial heterogeneity and the vulnerability of agricultural systems to climate change and CO2 fertilization: an integrated assessment approach. *Climatic Change* 64, 289-315.
- Aymone, G.G. y Ringler, C. (2009) Mapping South African farming sector vulnerability to climate change and variability., in: (IFPRI), I.F.P.R.I. (Ed.), Environmental and production technology division. International Food Polity Research Institute, Washington DC, USA., p. 31.
- Barr, R., Fankhauser, S. y Hamilton, K. (2010) Adaptation Investments: a resource allocation framework. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 15, 843-858.
- Berry, P.M., Rounsevell, M.D., Harrison, P.A. y Audsley, E. (2006) Assessing the vulnerability of agricultural land use and species to climate change and the role of policy in facilitating adaptation. *Environmental science and policy* 9, 189-204.
- Bohle, H.G. (2001) Vulnerability and criticality: Perspectives from social geography., Newsletter of the International Human Dimension Programme on Global Environmental Change. IHDP Update, pp. 1-4.
- Bohle, H.G., Downing, T.E. y Watts, M.J. (1994) Climate change and vulnerability: Toward a sociology and geography of food insecurity. *Global Environmental Change* 4, 37-48.
- Brenkert, A. y Malone, E. (2003) Vulnerability and resilience of India and Indian States to climate change: a first order approximation. Joint Global Change Research Institute, p. 105.
- Brenkert, A.L. y Malone, E.L. (2005) Modeling vulnerability and resilience to climate change: a case study of India and Indian States. *Climatic Change* 72, 57-102.
- Brooks, N. y Adger, W.N. (2006) Technical paper 7. Evaluación y aumento de la capacidad de adaptación, in: Lim, B., Spanger, E. (Eds.), *Adaptation Policy Framework*. United Nations Development Program., New York, USA, p. 251.
- Brooks, N., Adger, N. y Kelly, M. (2005) The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environmental Change* 15, 151-163.
- Burton, I. (1997) Vulnerability and adaptive response in the context of climate and climate change. *Climatic Change* 36, 185-196.
- Carpenter, S., Walker, B., Anderies, J.M. y Abel, N. (2001) From metaphor to measurement: resilience of what to what? *Ecosystems* 4, 765-781.
- Carter, T., Jones, R., Lu, X., Bhadwal, S., Conde, C., Mearns, L.O., O'Neill, B.C., Rounsevell, M.D.A. y Zurek, M.B. (2007) New assessment methods and the characterisation of future conditions., in: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., Linden, P.J.v.d., Hanson, C.E. (Eds.), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK., pp. 133-171.
- CENAPRED. (2010) Base de datos de declaratorias de riesgos ambientales. Centro Nacional de Prevención de Desastres, México D.F.

- Christiaensen, J. y Subbarao, K. (2004) Toward an understanding of household vulnerability in rural Kenya., The World Bank Policy Research Working Paper. World Bank, Washington DC.
- CONAGUA. (2009) Usos del agua por región hidrológico-administrativa, cubo de usos del agua 2005. *Comisión Nacional del Agua*.
- CONAPO. (2001) Índice de desarrollo humano, 2000. Consejo Nacional de Población, México, D.F.
- CONAPO. (2005) Grados de Marginación en México 2005, 1 ed. Consejo Nacional de Población - CONAPO, México D.F.
- CONAPO. (2006) Proyecciones de la población de México 2005-2050, 1 ed. Consejo Nacional de Población - CONAPO, México, DF.
- CONAPO. (2008) Perfil sociodemográfico de la población ocupada en el sector primario y su distribución territorial. Consejo Nacional de Población, México D.F.
- CONEVAL. (2008) Informe de Pobreza Multidimensional en México 2008. CONEVAL - Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, México, D.F.
- Connor, R.F. y Hiroki, K. (2005) Development of a method for assessing flood, vulnerability. *Water Science and Technology* 51, 61-67.
- Cruz, D. (2011) Reporte técnico entregado a Banco Mundial sobre amenazas a sequia, vulnerabilidad agrícola e índice de riesgo en agricultura. Banco Mundial, México D.F.
- Cutter, S., Emrich, C., Webb, J. y Morath, D. (2009) Social Vulnerability to Climate Variability Hazards: A Review of the Literature. Oxfam America, p. 44.
- Cutter, S.L., Boruff, B.J. y Shirley, W.L. (2003) Social vulnerability to environmental hazards. *Social Science Quarterly* 84, 242-261.
- Cuttler, S.L. (1996) Vulnerability to environmental hazards. *Progress in Human Geography*. 20, 529-539.
- Cuttler, S.L., Mitchell, J.T. y Scott, M.S. (2000) Revealing the vulnerability of people and places: a case study of Georgetown County. *Annals of the Association of American Geographers* 90, 713-737.
- DARA. (2010) Climate Vulnerability Monitor 2010. DARA – Climate Vulnerability Forum.
- Davis, K., Kingsbury, B. y Merry, S. (2010) Indicators as technology of global governance., Global Administration Law Series. IILI Working Paper, p. 60.
- DEFRA. (2010) Measuring adaptation to climate change: a proposed approach. Department for Environment, Food and Rural Affairs, UK, p. 16.
- Downing, T. y Patwardham, A. (2006) Technical paper 3: Vulnerability assessment for climate change adaptation., in: Lim, B., Spanger, E. (Eds.), *Adaptation Policy Framework*. United Nations Development Program., New York, USA, p. 251.
- Downing, T.E., Butterfield, R., Cohen, S., Huq, S., Moss, R., Rahman, A., Sokoma, Y. y Stephen, L. (2001) Vulnerability indices: climate change impacts and adaptations. United Nations, New York, USA.
- Dwyer, A., Zoppou, C., Nielsen, O., Day, S. y Roberts, S. (2004) Quantifying Social Vulnerability: A methodology for identifying those at risk to natural hazards. *Geoscience Australia*, Australia, p. 101.
- Eakin, H. (2005) Institutional change, climate risk and rural vulnerability: cases from Central México. *World Development* 33, 1923-1938.
- Eakin, H. y Tapia, B. (2008) Insights into the composition of household vulnerability from multicriteria decision analysis. *Global Environmental Change* 18, 112-127.
- Easter, C. (1999) Small states development: Acommonwealth vulnerability index. *The round table* 351, 403-422.
- El-Raey, M., Nasr, O. y Dewidar, K. (1999) Vulnerability assessment of sea level rise over Port Said governorate, Egypt. *Environmental Monitoring and Assessment* 56, 113-128.
- Eriksen, S.H. y Kelly, P.M. (2007) Developing credible vulnerability indicators for climate adaptation policy assessment. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 12, 495-524.
- Fernandez, E.A., Zavala, H.J. y Romero, C.R. (2009) Atlas Climático Digital de México. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM., México D.F. www.atmosfera.unam.mx
- Filmer, D. y Pritchett, L.H. (2001) Estimating wealth effects without expenditure data--or tears: An application to educational enrolments in States of India. . *Demography* 38 115-131.
- Folke, C., Carpenter, S., Elmqvist, T., Gunderson, L., Holling, C., Walker, B. y Bengston, J. (2002) Resilience and sustainable development: building adaptive capacity in a world of transformation. Environmental Advisory Council of Swedish Government.
- Fowler, H.J., Kilsby, C.G. y O'Connell, P.E. (2003) Modeling the Impacts or climatic change and variability on the reliability, resilience and vulnerability of a water resource system. *Water Resources Research* 39, 1222-1224.

- Füssel, H. (2009) Review and Quantitative Analysis of Indices of Climate Change Exposure, Adaptive Capacity, Sensitivity, and Impacts. World Bank Development Report p. 35.
- Füssel, H.M. (2007) Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. *Global Environmental Change* 17, 155-167.
- Füssel, H.M. y Klein, R.J.T. (2006) Climate change vulnerability assessments: An evolution of conceptual thinking. *Climatic Change* 75, 301-329.
- Gabriel, M.J. (2003) Tipología socioeconómica de las actividades agrícolas. Una herramienta de síntesis para el ordenamiento ecológico. Instituto Nacional de Ecología, México D.F.
- GaIn. (2011) Global Adaptation Index, Measuring what matters. GaIn v1.0. Global Adaptation Institute, Washington, DC., p. 34.
- Gómez, J.D., Monterroso, A.I., Tinoco, J.A., Toledo, M.L., Conde, C. y Gay, C. (2011) Assessing current and potential patterns of 16 forest species driven by climate change scenarios in México. *Atmósfera* 24, 31-52.
- Guillaumont, P. y Simonet, C. (2011) Designing an index of structural vulnerability to climate change. FERDI - Fondation pour les études et recherches sur le Développement International, France, p. 42.
- Hareau, A., Hofstadter, R. y Saizar, A. (1999) Vulnerability to climate change in Uruguay: potential impacts on the agricultural and coastal resource sectors and response capabilities. *Climate Research* 12, 185-193.
- Harley, M., Horrocks, L. y Hodgson, N. (2008) Climate change vulnerability and adaptation indicators. European Topic Centre on Air and Climate Change, p. 37.
- Harmeling, S. (2011) Global Climate Risk Index 2011. Who suffers most from extreme weather events? Weather related loss events in 2009 and 1990 to 2009. Germanwatch and Climate Action Europe, Bonn, p. 24.
- Hebb, A. y Mortsch, L. (2007) Floods: mapping vulnerability in the upper Thames watershed under changing climate, Assesment of water resources risk and vulnerability to changing climatic conditions. Canadian Foundation for Climate and Atmospheric Sciences, Canadá.
- Heitzmann, K., Canagarajah, R.S. y Siegel, P.B. (2002) Guidelines for assessing the sources of risk and vulnerability., World Bank Social Protection Discussion Paper, Washington. DC.
- Heltberg, R., Siegel, P. y Jorgensen, S.L. (2009) Adressing human vulnerability to climate change: Toward a 'no regrets' approach. *Global Environmental Change* 19, 89-99.
- Hinkel, J. (2011) Indicators of vulnerability and adaptive capacity: Towards a clarification of the science-policy interface. *Global Environmental Change* 21, 198-208.
- Hoddinott, J. y Quisumbing, A. (2003) Methods for microeconomic risk and vulnerability assessments., Social Protection Discussion Paper Series. The World Bank, Human Development Network, Washington DC.
- Huq, S. y Reid, H. (2009) Mainstreaming adaptation in development., in: Schipper, L., Burton, I. (Eds.), The Earthscan Reader on Adaptation to climate change. The EarthscanReader, Sterling VA, USA, p. 459.
- IMN y MINAE. (2005) Vulnerabilidad actual de la zona noroccidental del valle central de Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional y Ministerio de Ambiente y Energía, Costa Rica, p. 64.
- INEGI (2005) Principales acciones seleccionadas en materia ambiental: Reforestación 2005. *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*.
- INEGI (2006) Resultados del Censo de población y vivienda 2005. *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*.
- INEGI (2008a) El Sector Alimentario en México. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Aguascalientes, México.
- INEGI (2008b) Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2008, Aguascalientes, México.
- INEGI (2009) Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. INEGI, Aguascalientes, México.
- INEGI (2010) Banco de Información Económica. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Aguascalientes, México.
- IPCC (1996) Summary for policymakers: Scientific-technical analyses of impacts, adaptations and mitigation of climate change., in: Watson, R., Zinyowera, T., Moss, R. (Eds.), Climate Change 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

- IPCC (2001) Climate Change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability., in: McCarthy, J.J. (Ed.), Contributions of working group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC (2007) Summary for Policymakers, in: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., Linden, P.J., Hanson, C.E. (Eds.), Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Kaly, U. y Pratt, C. (2000) Environmental vulnerability index: Development and provisional indices and profiles for Fiji, Samoa, Tuvalu and Vanuatu, in: SOPAC (Ed.), Technical report 306, p. 89.
- Kaly, U., Brigugilo, L., McLeod, H., Schmsall, S., Pratt, C. y Pal, R. (1999) Environmental vulnerability index (EVI) to summarize national environmental vulnerability profiles, in: SOPAC (Ed.), Technical Report Suva, Fiji.
- Kelly, P. y Adger, W. (1999) Assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation. CSERGE Working Paper, p. 37.
- Kelly, P.M. y Adger, W.N. (2000) Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation. *Climatic Change* 47, 325-352.
- Klein, R. y Nicholls, R. (1999) Assessment of coastal vulnerability to climate change. *Ambio* 28, 182-187.
- Krol, M., Jaeger, A., Bronstert, A. y Krywkow, J. (2001) The semi-arid integrated model (SIM). a regional integrated model assessing water availability, vulnerability and society in NE-Brazil. *Physics and Chemistry of the Earth* 26, 529-533.
- Leichenko, R.M. y O'Brien, K.L. (2001) The dynamics of rural vulnerability to global change: The case of Southern Africa. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. 7, 1-18.
- Ligon, E. y Schechter, L. (2003) Measuring vulnerability. *Economic Journal* 113, 95-102.
- Liverman, D. (1999) Vulnerability and adaptation to drought in México. *Natural Resources Journal* 39, 99-115.
- Liverman, D.M. (1990) Vulnerability to global environmental change., in: Kasperson, R.E., Dow, K., Golding, D., Kasperson, J.X. (Eds.), Understanding global environmental change: The contributions of risk analysis and management (Chapter 26). Clark University, Worcester, MA, pp. 27-44.
- Lonergan, S. (1998) The role of environmental degradation in population displacement: Global environmental change and human security project., in: Victoria, U.o. (Ed.), Research report 1. University of Victoria, British Columbia, Canadá.
- Lowry, J., Miller, H. y Hepner, G. (1995) A GIS-based sensitivity analysis of community vulnerability to hazardous contaminants on the Mexico/U.S. Border. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 61, 1347-1359.
- Lucas, P.L. y Hilderink, H.B.M. (2004) The vulnerability concept and its application to food security. National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), Netherlands.
- Luers, A.L., Lobell, D.B., Skar, L.S., Addams, C.L. y Matson, P.A. (2003) A method for quantifying vulnerability, applied to the agricultural system of the Yaqui Valley, México. *Global Environmental Change* 13, 255-267.
- Mansury, G. y Healy, A. (2002) Vulnerability prediction in rural Pakistan., IFPRI World Bank Conference on Risk and Vulnerability: Estimation and Policy Implications., Washington D.C.
- McCarthy, J., Canziani, O., Leary, N., Dokken, D. y White, K. (2001) Climate Change 2001: Impacts, adaptation and vulnerability., Cambridge, UK.
- Middlekoop, H. y Kwadijk, C. (2001) Towards integrated assessment of the implications of global change for water management - the Rhine experience. *Physics and Chemistry of the Earth* 26, 553-560.
- Mimura, N. (1999) Vulnerability of island countries in the South to sea level rise and climate change. *Climate Research* 12, 137-143.
- Mitchell, J., Devine, N. y Jagger, K. (1989) A contextual model of natural hazards. *Geographical Review* 79, 391-409.
- Mitchell, T., Aalst, M.v. y Villanueva, P. (2010) Assessing Progress on Integrating Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation in Development Processes. Strengthening Climate Resilience p. 31.
- Monterroso, A.I., Conde, C., Rosales, G., Gómez, J.D. y Gay, C. (2011a) Assessing current and potential rainfed maize suitability under climate change scenarios in México. *Atmósfera* 24, 53-67.
- Monterroso, A.I., Gómez, J.D., Toledo, M.L., Tinoco, J.A., Conde, C. y Gay, C. (2011b) Simulated dynamics of net primary productivity (NPP) for outdoor livestock feeding coefficients driven by climate change scenarios in México. *Atmósfera* 24, 69-88.

- Moser, C.O.N. (1998) The asset vulnerability framework: Reassessing urban poverty reduction strategies. *World Development* 26, 1-19.
- Moss, R., Brenkert, A. y Malone, E. (2000) Measuring vulnerability: a trial indicator set. Pacific Northwest National Laboratory, p. 8.
- Moss, R.H., Brenkert, A.L. y Malone, E.L. (2001) Vulnerability to climate change: a quantitative approach. U.S. Department of Energy, Washington, p. 88.
- Natural-England, (2010) Climate Change adaptation indicators for the natural environment. Natural England Commissioned Report p. 68.
- Nicholls, R. (2002) Analysis of global impacts of sea-level rise: a case study of flooding. *Physics and Chemistry of the Earth* 27, 1455-1466.
- O'Brien, K.L., Leichenko, R.M., Kelkar, U., Venema, H.M., Aandahl, G., Tompkins, H., Javed, A., Bhadwal, S., Barg, S., Nygaard, L. y West, J. (2004a) Mapping vulnerability to multiple stressors: climate change and globalization in India. *Global Environmental Change* 14, 303-313.
- O'Brien, K.L., Sygna, L. y Haugen, J. (2004b) Vulnerable or resilient? A multi-scale assessment of climate impacts and vulnerability in Norway *Climatic Change* 64, 193-225.
- Parry, M., Canziani, O., Palutikof, J.P. y Coautores. (2007) Resumen técnico. Cambio Climático 2007: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Aportes del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. Cambridge, U.K.
- Pelling, M. (1999) The political ecology of flood hazard in urban Guyana *Geoforum* 30, 249-261.
- PNUD (2005) Marco de políticas de adaptación al cambio climático. PNUD - GEF, New York, USA.
- PNUD (2009) Informe de Desarrollo Humano 2007-2008. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, México D.F.
- Prichett, L., Suryahadi, A. y Sumarto, S. (2000) Quantifying vulnerability to poverty: A proposed measure with application to Indonesia., Social Monitoring and Early Response Unit Research Institute (SMERU).
- Quinn, N., Miller, N., Dracup, J., Brekke, L. y Grober, L. (2001) An integrated modeling system for environmental impact analysis of climate variability and extreme weather events in the San Joaquin basin, California. *Advances in Environmental Research* 5, 309-317.
- Ribot, J.C. (1995) The causal structure of vulnerability: its application to climate impact analysis. *GeoJournal* 35, 119-122.
- SAGARPA (2007) Programa Sectorial de desarrollo Agropecuario y Pesquero 2007-2012. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, México D.F.
- SAGARPA (2009) SIAP, Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera de México. *Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca*.
- Schreider, S., Smith, D. y Jakeman, J. (2000) Climate change impacts on urban flooding. *Climatic Change* 47, 91-115.
- SEDESOL. (2010) Observatorio de Información Municipal. SEDESOL, Secretaría de Desarrollo Social, México, D.F.
- SEI, (2007) Identifying Climate Vulnerability Exposure. Stockholm Environment Institute, p. 12.
- Smit, B. (2006) Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change* 16, 282-292.
- Smit, B., Burton, I., Klein, R. y Wandel, J. (2009) An anatomy of adaptation to climate change and variability, in: Schipper, L., Burton, I. (Eds.), *The Earthscan reader on adaptation to climate change. The Earthscan Reader*, Sterling VA, USA, p. 459.
- Smithers, J. y Smit, B. (2009) Human adaptation to climatic variability and change., in: Schipper, L., Burton, I. (Eds.), *The Earthscan Reader on Adaptation to climate change. The EarthscanReader*, Sterling VA, USA, p. 459.
- SOPAC y UNEP (2005) Environmental Vulnerability Index. South Pacific Applied Geoscience Commission.
- Sullivan, C. y Meigh, J. (2005) Targeting attention on local vulnerabilities using an integrated index approach: the example of the climate vulnerability index. *Water Science and Technology* 51, 69-78.
- TERI (2003) Coping with global change: vulnerability and adaptation in Indian agriculture. *The Energy Research Institute (TERI)*.
- Thieler, E. y Hammar-Klose, E. (2000) National assessment of coastal vulnerability to sea-level rise: preliminary results for the U.S. Pacific Coast. U.S. Geological Survey.
- Thornton, P.K., Jones, P.G., Owiyo, T., Kruska, R.L., Herrero, M., Kristjanson, P., Notenbaert, A., Bekele, N. y Omolo, A. (2006) Mapping climate vulnerability and poverty in Africa, 1 ed. Report to the Department for International Development (ILRI), Nairobi, Kenya.

- Thumerer, T., Jones, A. y Brown, D. (2000) A GIS based coastal management system for climate change associated flood risk assessment on the east coast of England. *International Journal of Geographical Information Science* 14, 265-281.
- Tol, R.S.J. y Yohe, G.W. (2007) The weakest link hypothesis for adaptive capacity: An empirical test. *Global Environmental Change* 17, 218-227.
- Turner, B.L., Kasperson, R.E., Matson, P.A., McCarthy, J.J., Corell, R.W., Christensen, L., Eckley, N., Hovelsrud, G.K., Luers, A., Martello, M.L. y Tyler, N. (2003) Illustrating the coupled human environmental system for vulnerability analysis: Three case studies., Proceedings of the National Academy of Sciences, USA, pp. 8080-8085.
- UNDP, (1990) Human Development Report. United Nations Development Programme, New York, USA.
- UNEP, (2009) IEA Training manual, Volume II. Vulnerability and impact assessments for adaptation to climate change. UNEP, p. 68.
- UNEP, (2010) Vulnerability Indices for Planning Climate Change Adaptation. UNEP, p. 65.
- UNFCCC, (2008) Compendium on methods and tools to evaluate impacts of, and vulnerability and adaptation to, climate change. UNFCCC, p. 228.
- UNITAR, (2004) Capacity Strengthening in climate change vulnerability and adaptation strategy assessment. Climate Change Capacity Development.
- Vogel, C. y O'Brien, K.L. (2004) Vulnerability and global environmental change: Rethoric and reality. *AVISO Bulletin* 13, 1-8.
- Watts, M.J. y Bohle, H.G. (1993) The space of vulnerability: the causal structure of hunger and famine. *Progress in Human Geography*. 17, 43-67.
- Wheeler, D. (2011) Quantifying Vulnerability to Climate Change: Implications for Adaptation Assistance. Center for Global Development, Washington, D.C., p. 53.
- Wilhelmi, O. y Wilhite, D. (2002) Assessing vulnerability to agricultural drought: a Nebraska case study. *Natural Hazards* 25, 37-58.
- Wu, S., Yarnal, B. y Fisher, A. (2002) Vulnerability of coastal communities to sea-level rise: a case study of Cape May county, New Jersey, USA. *Climate Research* 22, 255-270.
- Young, B., Byers, E., Gravuer, K., Hall, K., Hammerson, G. y Redder, A. (2011) The NatureServe Climate Change Vulnerability Index. NatureServe, Arlington, VA. p. 58.