



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO
POSTGRADO FORESTAL

**VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO Y SU DISTRIBUCIÓN
ESPACIAL EN LA REGIÓN CENTRO-GOLFO DE MÉXICO.**

BRENDA CAROLINA ZERECERO SALAZAR

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2013

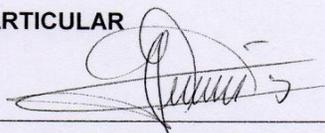
La presente tesis titulada: **"Vulnerabilidad al cambio climático y su distribución espacial en la región Centro - Golfo de México"** realizada por: **Brenda Carolina Zerecero Salazar**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS

FORESTAL

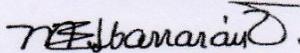
CONSEJO PARTICULAR

Consejero:



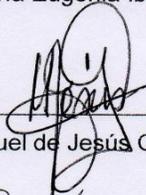
Dr. Armando Gómez Guerrero

Directora:



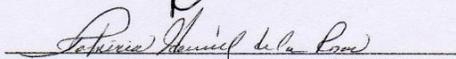
Dra. María Eugenia Ibararán Viniegra

Asesor:



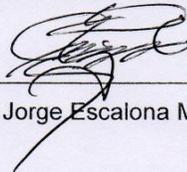
Dr. Manuel de Jesús González Guillén

Asesor:



Dra. Patricia Hernández de la Rosa

Asesor:



Dr. Miguel Jorge Escalona Maurice

Montecillo, Texcoco, Estado de México, noviembre de 2013.

AGRADECIMIENTOS

A los millones de mexicanos que pagan impuestos, quienes, a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y el Colegio de Postgraduados, han financiado parte de mi formación;

A la Dra. María Eugenia Ibararán Viniegra, por sus invaluable aportaciones desde el inicio hasta el final de este trabajo. Por su apoyo y confianza muchas gracias.

Al Dr. Armando Gómez Guerrero, por su invaluable apoyo e información brindada durante el desarrollo de este trabajo. Por su apoyo y confianza muchas gracias.

Al Dr. Manuel de Jesús González Guillén, por su asesoría, valiosas aportaciones, disponibilidad y participación en la revisión de este trabajo.

A la Dra. Patricia Hernández de la Rosa por su disponibilidad, consejos y participación en la revisión de este trabajo.

Al Dr. Miguel Jorge Escalona Maurice, por su asesoría y consejos durante el desarrollo de este trabajo.

Mi más Sincero Agradecimiento al Colegio de Postgraduados (CP), Campus Montecillo por ser una Institución de Enseñanza e Investigación de excelencia en México.

Dedico esta tesis a:

Mis hijas Renata y Valentina, mis constantes motivos de superación;

Mi esposo Miguel M. por su amor, apoyo incondicional y paciencia en todo este tiempo;

A mi padres Oscar y Olga por su ejemplo de vida y motivación para superarme día a día;

A mi hermano Oscar Z. por su apoyo, comprensión y motivación durante mi formación académica;

A todos mis amigos del CP, compañeros y familiares que de alguna forma han influido para continuar con mi formación profesional.

CONTENIDO

CAPITULO	PÁGINA
ÍNDICE DE CUADROS	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC)	2
1.2. Perspectiva para México	3
II. Revisión de Literatura.....	5
2.1. Metodologías utilizadas para el cálculo de vulnerabilidad al cambio climático	6
2.2. Objetivos	9
III. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	10
IV. MÉTODOS Y MATERIALES	21
4.1. Selección de variables.....	23
4.2. Descripción del Modelo de Indicadores de Vulnerabilidad	23
4.2.1. Justificación y selección de variables de vulnerabilidad.	26
4.3. Evaluación multicriterio para la obtención de ponderadores	40
4.4. Normalización de variables.....	49
4.5. Cálculo de variables ponderadas	49
4.6. Generación de mapas y representación espacial de vulnerabilidad relativa	50
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
5.1. Generación de mapas raster	71
5.2. Análisis de mapas por subcriterios e índice agregado de	74
vulnerabilidad	74
5.3. Justificación del modelo	85
5.4. Implicaciones y limitaciones del modelo.....	86
5.5. Propuestas a considerar para la toma de decisiones	88
VI. CONCLUSIONES	91
VII. LITERATURA CITADA.....	92
ANEXO I. FORMATO DE EVALUACIÓN DE CRITERIOS, SUBCRITERIOS E INDICADORES.....	99

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	TÍTULO	PÁGINA
1	Características climáticas, usos de suelo, población y economía del área de estudio	14
2	Selección de variables de vulnerabilidad al cambio climático	27
3	Escala de intensidad de Saaty	42
4	Índices de consistencia para el cálculo de índice aleatorio de matrices .	49
5	Valores de ponderación para las variables	73
6	Resultados de la relación de consistencia para cada criterio y subcriterio	74
7	Microcuencas en la categoría de alta vulnerabilidad bajo el escenario sin ponderar según	83
8	Microcuencas en la categoría de alta vulnerabilidad bajo el escenario ponderado según MIV... ..	85

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	TITULO	PÁGINA
1	Diagrama metodológico del MIVR adaptado de Ibararán <i>et al.</i> (2008).....	8
2	Ubicación del área de estudio	11
3	Características altitudinales del área de estudio	12
4	Climas del área de estudio	13
5	Esquema metodológico para obtención del Índice de vulnerabilidad.	22
6	Estructura del Modelo del Indicadores de Vulnerabilidad. Adaptado de Ibararán <i>et al.</i> , 2008	24
7	Esquema metodológico de la evaluación multicriterio. Adaptado de Saaty (1978)	41
8	Indicadores del subcriterio de clima	53
9	Indicadores del subcriterio de población	55
10	Indicadores del subcriterio de degradación ambiental	57
11	Indicadores del subcriterio de marginación	59
12	Indicadores del subcriterio de producción agrícola	61
13	Indicadores del subcriterio de tecnología para la producción	63
14	Indicadores del subcriterio de recursos naturales	67
15	Indicadores del subcriterio de salud	69
16	Indicador del subcriterio de educación	70
17	Indicador del subcriterio de capacidad económica	71
18	Resultados por sectores e índice de vulnerabilidad sin ponderar	81
19	Resultados por sectores e índice de vulnerabilidad ponderado	82

RESUMEN

Brenda Carolina Zerecero Salazar,
Colegio de Postgraduados, 2013

A pesar de que el tema de Cambio Climático (CC) es debatible, estudiar la vulnerabilidad a eventos extremos es necesario para poder hacer un uso eficiente de los recursos públicos. Este trabajo propone una herramienta de estimación de vulnerabilidad a CC combinando la aplicación del Modelo de Indicadores de Vulnerabilidad con técnicas de SIG. El área de estudio es una franja que abarca desde el centro del país hacia el Golfo de México. Para la aplicación del modelo se seleccionaron 22 variables socio-económicas, biofísicas y climáticas de las microcuencas dentro de la zona de estudio obtenidas de fuentes oficiales. Los resultados de vulnerabilidad se presentan bajo dos escenarios: El primero, dando la misma importancia a todas las variables y el segundo, con importancia diferenciada de acuerdo a la opinión de los expertos. Los subcriterios que más contribuyen a la vulnerabilidad al CC son el tamaño de la población, marginación, tecnología para la producción, degradación de los recursos naturales y el PIB. Los resultados finales de vulnerabilidad difieren pero no contrastantemente, cuando se considera la opinión de los expertos; por lo anterior se concluye que el Modelo de Indicadores de Vulnerabilidad combinado con técnicas geográficas es una herramienta de planeación valiosa ya que permite administrar los recursos públicos en concordancia.

Palabras clave: Eventos extremos, técnicas geográficas, socioeconómico,
biofísico.

ABSTRACT

Brenda Carolina Zerecero Salazar,
Colegio de Postgraduados, 2013

Climate change (CC) is still questionable. Therefore the assessment of vulnerability to extreme climatic events is critical for a strategic use of public resources. This investigation proposes a vulnerability of CC estimation tool by combining the Vulnerability Indicators Model with SIG techniques. The study was made in an area from the center of the country to the Gulf of Mexico. 22 socioeconomical, biophysycal and climatic variables were chosen inside de study area from governmental institutions. The vulnerability results are presented under two scenarios: The first one giving the same weight to all the variables and the second one giving different weights to all the variables. Subcriteria The most important sub-criteria for CC vulnerability are population size, poverty, production technology, natural resources degradation and economic capacity. Results were similar when variables were weighted according the opinion of experts. The adapted model could be used as a valuable planning tool that allows identifying where public resources should be used according to vulnerability and therefore minimize the extreme climatic events impacts.

Key words: Extreme climatic events, geographic techniques, socioeconomical variables, biophysical variables.

VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO Y SU DISTRIBUCIÓN ESPACIAL EN LA REGIÓN CENTRO-GOLFO DE MÉXICO

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad los temas relacionados con el Cambio Climático (CC) han tomado importancia debido a su relación con otras áreas como economía, salud y medio ambiente. A pesar de que el tema de CC es debatible, se conoce de varios indicadores que sustentan su existencia, por esta razón, es necesario cuantificar los alcances potenciales de CC y sus implicaciones en otros sectores. Las investigaciones sobre vulnerabilidad al CC aportan un panorama sobre las características de un ecosistema que lo hacen vulnerable o en su caso adaptable a la variabilidad climática y fenómenos que se presentan como resultado de éste (IPCC, 2001).

Para entender las implicaciones del CC es necesario situarlo en un contexto amplio, que considere los aspectos sociales, económicos y biofísicos, ya que son muy variadas las estrategias a seguir así como los elementos que intervienen en la vulnerabilidad de un ecosistema ante estos cambios (Cutter *et al.*, 2003; O'Brien *et al.*, 2004).

A pesar de que las investigaciones en CC se han enfocado a analizar sus aspectos biofísicos, análisis de la exposición y sensibilidad de un ecosistema, incluso vulnerabilidad particular de especies o de áreas agrícolas y forestales, las vulnerabilidades socialmente creadas son menos estudiadas (Mileti, 1999), lo anterior debido a la dificultad para cuantificarlas, lo cual también explica por qué las pérdidas sociales están normalmente ausentes en los reportes de estimación de los costos/perdidas después del desastre (Cutter, 2003).

Los cálculos recientes de vulnerabilidad y resiliencia se enfocan en un modelo integrado que pueda proveer elementos potenciales y guía en las áreas de impacto, adaptación, y comportamiento social (Cutter, 2003). El modelo usado para esta investigación es el Modelo de Vulnerabilidad y Resiliencia -por sus siglas

en inglés VRIM- y se consideró una herramienta útil para alcanzar los objetivos de este estudio. Es un modelo que fue utilizado primero a una escala global (Moss *et al.*, 2001), y después aplicado a nivel país en India (Brenkert y Malone, 2005; Malone y Brenkert, 2009). El modelo VRIM se ha probado en escalas más pequeñas, por ejemplo, en México se hizo una comparación entre estados, aportando resultados significativos en relación a los sectores que incrementan la vulnerabilidad (Ibarrarán *et al.*, 2010).

1.1. El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC)

Para hablar del CC es importante considerar la visión del Panel Intergubernamental de cambio climático –por sus siglas en inglés IPCC-. Para dicho Panel, el término “Cambio Climático” denota un cambio en el estado del clima identificable a raíz de un cambio en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un periodo prolongado, generalmente décadas. Considera todo cambio del clima en el tiempo, tanto si es debido a la variabilidad natural como si es consecuencia de la actividad humana (IPCC, 2001).

En 1988 aparece el IPCC, creado por la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Una respuesta oficial a la amenaza del cambio climático comenzó con las negociaciones en las Naciones Unidas en la década de 1990 en lo que eventualmente se convertiría en la Convención de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).

Posteriormente, la creciente evidencia científica y el desarrollo de varias conferencias internacionales sobre CC ayudaron a atraer el interés en el tema. El IPCC en 1990 publicó su Primer Informe de Evaluación, y confirmó los elementos científicos que suscitan preocupación acerca del CC, en éste reconoció que el patrón de calentamiento global no podía explicarse sólo por causas naturales, siendo determinante el factor humano. Este reconocimiento se ha fortalecido con cada Reporte de Evaluación del IPCC. Posteriormente, generó una metodología

para el cálculo de vulnerabilidad basada en cambios en el nivel del mar (IPCC, 2001).

La CMNUCC entró en vigor en 1994 y a la fecha ha sido ratificada por 192 países. De acuerdo con el artículo 2 de la Convención, su objetivo último consiste en: Lograr, de conformidad con las disposiciones pertinentes de la Convención, la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático. Ese nivel debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al CC, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible (IPCC, 2001).

La CMNUCC obliga a los países incluidos en su Anexo I, a adoptar medidas de mitigación del cambio climático. Sin embargo, todavía no establece metas concretas de reducción de emisiones aunque sí hace un llamado a dichos países a que regresen, a más tardar al final de la década, a los niveles de emisiones que tenían en 1990. Esta ausencia de metas de reducción fue considerada inadecuada y con el objetivo de reforzar los compromisos cuantitativos que limitan el volumen total de emisiones de GEI de los países desarrollados incluidos en dicho Anexo I, la Tercera Conferencia de las Partes (COP-3), en 1997, adoptó el Protocolo de Kioto que entró en vigor en 2005, en el cual casi todos los países del Anexo I de la CMNUCC quedaron en el Anexo B. En el cual ellos se comprometen los países desarrollados a reducir en un porcentaje aproximado de al menos un 5%, dentro del periodo que va desde el año 2008 al 2012, en comparación a las emisiones al año 1990. En éste se concretan objetivos de reducción.

1.2. Perspectiva para México

Tomando como base el Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero de 2002, México emitió más de 553 millones de toneladas de GEI, que corresponden al 1.5% de emisiones globales del mundo (SEMARNAT, 2009).

De acuerdo a las cifras de la Agencia Internacional de Energía, en 2004 México se ubica entre los 15 países con mayores emisiones por quema de combustibles fósiles a nivel mundial.

Según Bellon *et al.* (2011), algunas regiones productoras de maíz en México se verán fuertemente afectadas por una mayor intensidad de lluvias, periodos de sequía y cambios de temperatura, a largo plazo, lo que conducirá a la elevación de costos para suministro de semillas de maíz mejoradas para adaptarse a los cambios, mejoramiento de los sistemas tradicionales de semillas por cadenas más efectivas y eficientes. Estos cambios tendrán un impacto en la calidad de vida de los productores en estas regiones incluso la necesidad de cambiar de cultivo en el caso de que este dejara de ser rentable, haciendo estas regiones más vulnerables en cuestión no solo biofísica sino económica y social.

El estudio de Feng *et al.*, (2010) demuestra que hay una relación directa entre los cambios en el rendimiento de los cultivos provocados por el clima con las tasas de migración a los Estados Unidos de América. Los resultados indican que un 10% en la reducción del rendimiento de los cultivos conducirá en 2% adicional en la población que emigra y para el 2080 el CC inducirá una migración de 1.4 a 6.7 millones de adultos mexicanos, como resultado de reducciones significativas en la productividad agrícola solamente.

De acuerdo a INEGI (2010), en México existen 27 millones de mexicanos en el medio rural: La inmensa mayoría de ellos son campesinos y comunidades indígenas que padecen una pobreza extrema tanto material como ecológica; el agravamiento de esa miseria por el CC conducirá a la migración y mortandad en el campo.

El Modelo de Indicadores de Vulnerabilidad y Resiliencia -por sus siglas en inglés VRIM- indicó que algunos estados son más resilientes que otros, y cabe destacar que el Distrito Federal, a pesar de su alta tasa de recursos humanos y su capacidad económica no figura entre los estados más resilientes lo cual es atribuible a su calidad pobre del agua potable. Los estados que figuraron entre los

más resilientes presentan bajos niveles de recursos humanos y baja capacidad económica a diferencia de su seguridad en los asentamientos humanos y salud humana cuyos niveles son altos (Ibarrarán *et al.*, 2009).

Es importante identificar los factores que hacen vulnerable al CC a una sociedad o ecosistema para aportar elementos de planeación de políticas y suministro de recursos públicos y lograr ecosistemas más resilientes al CC. Este estudio propone medir y representar espacialmente la vulnerabilidad al CC como una herramienta de planificación.

II. Revisión de Literatura

Cambio climático

La atmósfera es sensible a los efectos antropogénos. Los cambios en la química de la atmósfera se traducen en cambios en su balance de energía. En forma natural existe un efecto invernadero que hace posible la vida en la tierra. Sin embargo, cuando los cambios van más allá de la estabilidad del sistema, se pueden generar cambios en clima y por tanto en los sistemas de producción de alimentos así como en áreas naturales (IPCC, 2001). Con las técnicas de estimación de la vulnerabilidad se contribuye al uso más eficiente de los recursos.

Vulnerabilidad y resiliencia

Se entiende por vulnerabilidad al CC al grado en el que éste podría alterar la estabilidad de los procesos de intercambio entre la vegetación, continentes y el mar; este concepto es función tanto de la sensibilidad al clima como de la capacidad de adaptarse a unas condiciones nuevas (IPCC, 2001).

El concepto de resiliencia indica la capacidad de los ecosistemas de absorber perturbaciones, sin alterar significativamente sus características de estructura y

funcionalidad; pudiendo regresar a su estado original una vez que la perturbación ha terminado (Fox y Fox, 1986).

La vulnerabilidad involucra eventos extremos del clima como resultado del cambio climático; es decir, podría decirse que la vulnerabilidad está en función de la variación climática y eventos extremos, sensibilidad, y la capacidad de adaptación. Ya involucrados estos tres aspectos dentro del concepto se consideraría que es incluyente y por tanto, abarca los elementos que se desean evaluar.

2.1. Metodologías utilizadas para el cálculo de vulnerabilidad al cambio climático

Existen diversas metodologías para valorar la vulnerabilidad de un sistema ante el cambio climático. En algunos casos estas metodologías son elegidas de acuerdo a las características de la zona de estudio y del recurso evaluado, así como seguir los fines de la investigación en relación con la aplicación de políticas (Purnomo, 2010).

En un estudio (Purnomo, 2010) sobre la evaluación de vulnerabilidad realizada en el Parque Nacional de Java para rinocerontes se efectuó una consulta participativa primeramente con científicos relacionados con el cambio climático y el Parque Nacional para definir criterios y principios de cambio climático, así como gobernabilidad de los bosques e instituciones. Posteriormente, un grupo de discusión analizó dichos criterios, los ajustó para desarrollar indicadores y un grupo de discusión trabajó bajo tres fases, observar si los principios, criterios e indicadores eran útiles para medir y comunicar vulnerabilidad al cambio climático. Con base a estos principios y criterios, el grupo de trabajo definió los indicadores particulares aplicables para los rinocerontes de acuerdo a las características del Parque Nacional (Purnomo *et al.*, 2010).

Los métodos cualitativos investigan el por qué y el cómo la adaptación al cambio climático puede ser entendida y respondida y puede servir para dar un panorama general de la situación para posteriormente ser abordada cuantitativamente (Purnomo *et al.*, 2010).

Otros trabajos (Boateng, 2011) muestran inferencias sobre los efectos sociales y económicos al CC basadas en Modelos Globales del Clima (GCMs) bajo tres trayectorias de emisiones basadas en los escenarios del IPCC (SRES) (IPCC, 2000) clasificados como baja, alta y mayor. Este tipo de investigación provee panoramas futuros y rutas de acción que permite calcular la incertidumbre climática en el impacto a algún sector que se ha enfocado principalmente en algunas investigaciones hacia el sector rural.

Otra metodología para estimar vulnerabilidad se basa en herramientas de sistemas de información geográfica (Boateng, 2011), con la cual se pueden elaborar diferentes escenarios de cómo las comunidades, el uso del suelo, el desarrollo y las tierras están potencialmente vulnerables a inundaciones por el incremento del nivel del mar debido al CC, basándose en la elevación del suelo a través de imágenes de satélite que contengan dicha información.

Brenkert (2005), Malone (2009) e Ibararán (2010) han aplicado técnicas para determinar vulnerabilidad al cambio climático a través de modelos, utilizando un Modelo de Indicadores de Vulnerabilidad y Resiliencia (MIVR) tanto para proyectar resiliencia como para calcular vulnerabilidad y resiliencia a través de indicadores. Dicho modelo fue construido para integrar información socioeconómica y ambiental y proveer las bases para el cálculo de resiliencia. Este modelo se ha aplicado tanto a nivel global haciendo comparaciones de país a país así como a nivel país haciendo las comparaciones entre estados.

El MIVR es un modelo jerárquico que introduce valores proxy dentro de los sectores los cuales al mismo tiempo son agregados dentro de los valores de sensibilidad y capacidad de adaptación, y finalmente dentro de los índices de vulnerabilidad-resiliencia (Figura 1).

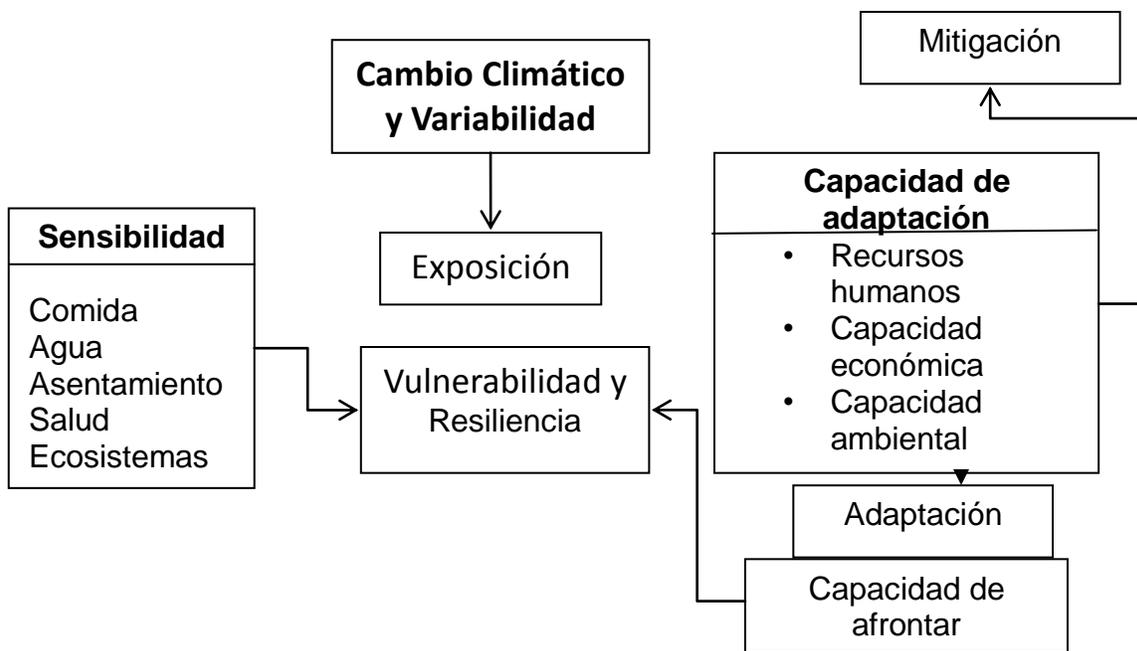


Figura 1. Diagrama metodológico del MIVR adaptado de Ibararán *et al.* (2008).

Para la generación de indicadores hay metodologías que han sido utilizadas por diversos autores entre los que destacan Cutter (2006) quien utilizó datos demográficos y socioeconómicos para generar un índice de vulnerabilidad social a fenómenos ambientales llamado Índice de Vulnerabilidad Social -por sus siglas en inglés- So.VI.

Este modelo se realizó para los Estados Unidos de América y se basó en datos de 1990 utilizando un factor analítico de aproximación considerando 42 variables iniciales. Después de análisis estadísticos se redujeron a 11 factores independientes que explicaban cerca del 76 % de la varianza, éstos fueron agregados a un modelo para generar el So.VI.

2.2. Objetivos

Esta investigación incluye los objetivos siguientes:

General

Estimar la vulnerabilidad ante las alteraciones generadas como resultado del cambio climático en la región Centro-Golfo de México a través de características ecológicas, sociales, y económicas, así como la capacidad probable de dicho ecosistema para adaptarse a cambios en los fenómenos climáticos.

Particulares

1. Caracterizar el entorno biofísico y socioeconómico de la región (Centro hacia el Golfo de México) tomando como base las cuencas con la finalidad de analizar la condición del área de acuerdo a sus características biofísicas y socioeconómicas. Esta información servirá de base para definir las variables a considerar en la aplicación del modelo y evaluar la vulnerabilidad.
2. Realizar una selección de variables que reflejen los factores de vulnerabilidad del área, con el fin de introducirlas dentro del modelo de indicadores de vulnerabilidad y generar un índice de vulnerabilidad al CC.
3. Generar indicadores de vulnerabilidad al cambio climático con base a la información biofísica y socio-económica compilada del área para así realizar el análisis comparativo entre microcuencas, considerando dos

escenarios, el primero dando el mismo peso a todas las variables y el segundo ponderando las variables de acuerdo a la opinión de expertos.

III. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se definió de tal forma que representara un gradiente del centro de México hacia el Golfo. Esta área es una región del país con una gran variedad de condiciones climáticas, topográficas y ambientales por lo que al llevar a cabo este estudio se pretende hacer una aproximación de la vulnerabilidad de dichos ecosistemas ante diferentes condiciones. Como marco elemental de espacio se tomó la microcuenca ya que a este nivel se reflejan mejor las alteraciones del medio, en términos biofísicos esta unidad tiene más sentido que las divisiones políticas.

El área contempla el centro del país, es decir, el Distrito Federal, hacia Hidalgo, México, Puebla, Tlaxcala y por último Veracruz, entre los paralelos siguientes: 99° 13´ de Longitud Oeste, 20° 7´ de Latitud Norte; 96°50´de Longitud Oeste y 20°17´de Latitud Norte; 95°59´ de Longitud Oeste y 19° 0´ de Latitud Norte; 99°13´ Longitud Oeste y 20° 6´ de Latitud Norte (Figura 2).

Esta extensión comprende 306 municipios con una superficie aproximada total de 30,980 km² cuya localidad más pequeña es de 448 km² y la localidad más grande de 819 km² y una población total de 27, 577,668 habitantes.

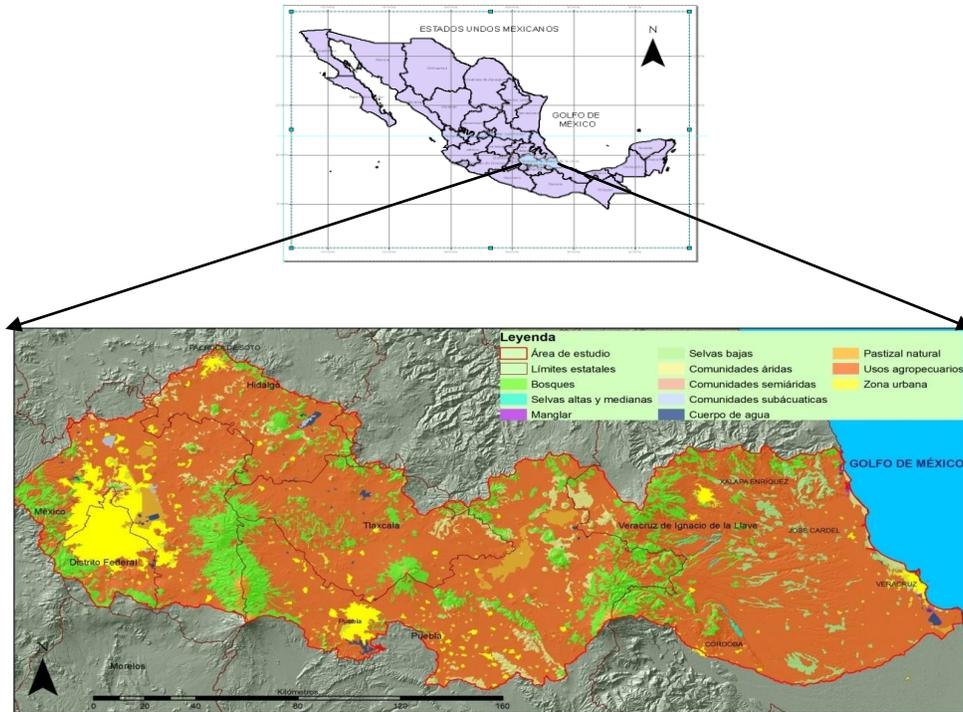


Figura 2. Ubicación del área de estudio.

La franja presenta diversas características altitudinales que van desde los 500 y 1000 m en la zona de Veracruz, las localidades cercanas a la costa como son Actopan Ursulo Galván, La Antigua, el Puerto, Alvarado, Jamapa, Medellín y Tlalixcoyan, por mencionar algunos, hasta los 3000 m en algunas zonas del estado de Puebla, y Tlaxcala, elevaciones montañosas que van desde los 4000 hasta los 5,500 m como La Malinche, el Pico de Orizaba, como las más importantes (Figura 3).

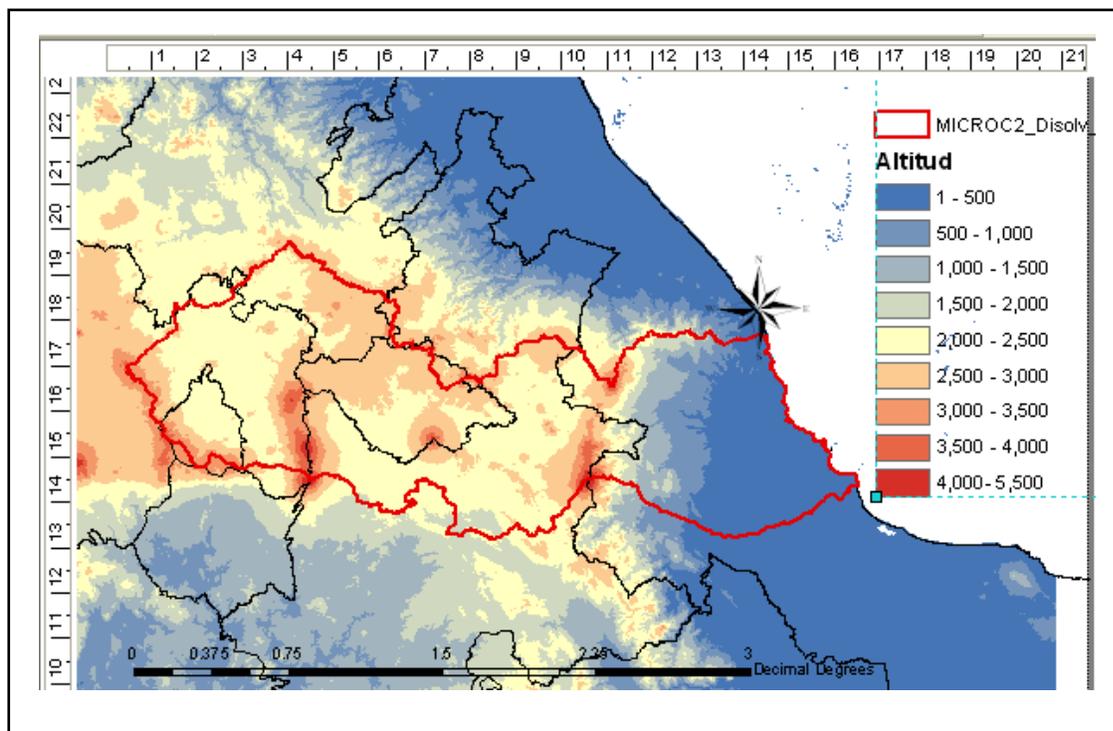


Figura 3. Características altitudinales del área de estudio.

La franja abarca 3 regiones hidrológicas; **la región Pánuco** en el Distrito Federal, Hidalgo, México, Puebla y Tlaxcala; **la región Balsas** abarcando el Distrito Federal y los estados de México, Morelos, Puebla y Tlaxcala y **la región del Papaloapan** en los estados de Puebla y Veracruz; 3 cuencas principales: Río Moctezuma, Río Atoyac y Río Jamapa, en las que confluyen 36 subcuencas y un total de 355 microcuencas.

Los climas predominantes en la región son templados, templados subhúmedos y semiáridos predominantes, cálidos y semicálidos principalmente, como se muestra en la Figura 4.

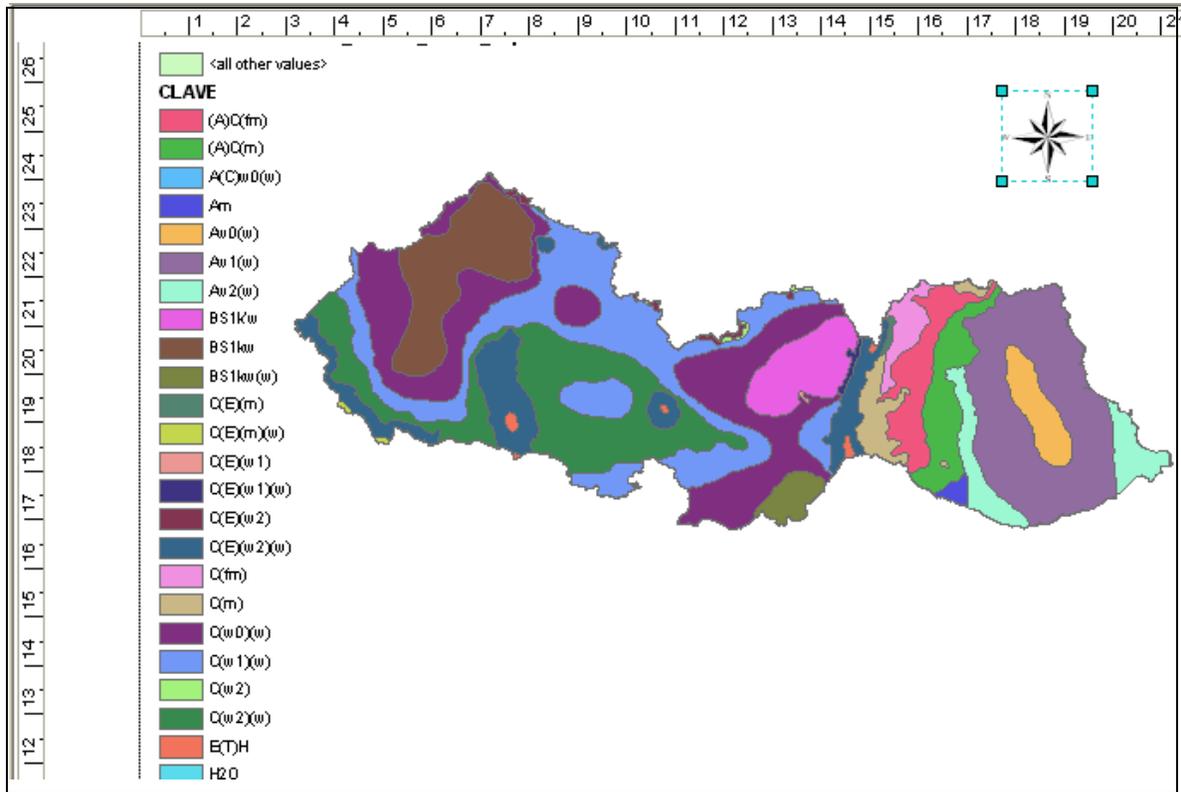


Figura 4. Climas del área de estudio.

Las características específicas para cada cuenca hidrográfica se describen en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características climáticas, usos de suelo, población y economía del área de estudio.

Características	Cuenca del Río Moctezuma	Cuenca del Río Atoyac	Cuenca del Río Jamapa y otros
Estados	Estado de México, Distrito Federal, Hidalgo, Tlaxcala y Puebla.	Tlaxcala y Puebla	Puebla y Veracruz
Clima (Figura 4)	Templados, templados subhúmedos y semiáridos predominantes (INEGI, 2002).	Templados, templados subhúmedos y semiáridos predominantes (INEGI, 2002).	Cálidos y semicálidos, templados húmedos (INEGI, 2002).
Temperatura	Entre 12 y 18 ° C y -3 ° C mínima en el mes más frío y entre 5 y 12° C en las regiones altas (2000-3000 msnm, (INEGI, 2002).	Entre 12 y 18 ° C y -3 ° hasta 18°C en las regiones altas (2000-3000 msnm) (INEGI, 2002).	Mayores a 18° C y en el mes más frío menor a esta y en el mes más caliente mayor a 22° C (INEGI, 2002).
Precipitación	De 900 a 1200 promedio en templados y templados subhúmedos con pp de 200 a 400 mm en regiones semiáridas (INEGI, 2002).	No rebasan los 1200 mm con un promedio de 600 a 800 mm, y pp menores al promedio en regiones semiáridas (INEGI, 2002).	De 800 a 2500 mm anuales (INEGI, 2002).

Hidrografía	Cuenca del Río Moctezuma	Cuenca del Río Atoyac	Cuenca del Río Jamapa y otros
Región hidrológica	Pánuco	Balsas	Papaloapan
Afluentes	Río Tizahuapan (Pachuca), El meztitlán (Puebla), Río Tulancingo, Río Amajac, Río Tula, Río San Juan del Río, terminando su curso en Río Moctezuma que funciona como límite natural entre Querétaro e Hidalgo (INEGI, 2012).	Río Atoyac, Presa Manuel Ávila Camacho, Río Nexapa, Ríos Mixteco, Acatlán, Petlacingo, Tlalpeneco para formar el Río Balsas (INEGI, 2002).	Río Atoyac, Río Cotaxtla, Río Jamapa, desembocando en el Golfo de México por Boca del Río Veracruz (INEGI, 2002).
Usos de suelo	* Agricultura de temporal en su mayoría 60% de la región: Pastizales, maíz en grano, frijol, haba, chícharo, lechuga, caña de azúcar, café, arroz, naranja, tabaco, hule, piña, mango, plátano, papaya, chile, sandía y papa, entre otros. * Crianza de ganado bovino porcino y caprino, (INEGI, 2007).	* Agricultura de temporal en su mayoría 70% de la región: Pastizales, maíz en grano, frijol, haba, chícharo, lechuga, caña de azúcar, café, arroz, naranja, tabaco, hule, piña, mango, plátano, papaya, chile, sandía y papa, entre otros. * Crianza de ganado bovino principalmente, (INEGI, 2007).	* Agricultura de temporal: arroz, chile verde, haba, papa, caña de azúcar y tabaco. * Frutales: naranja, plátano y mango como los importantes (INEGI, 2007).
Vegetación	Bosque templado cultivado con especies de Pino, Pino-Encino, Oyamel, Bosque mesófilo de montaña, abarcando estos bosques aproximadamente el 20% de la región (INEGI, 2002).	Bosque de pino, pino-encino, oyamel y táscate abarcando el 10% en conjunto, vegetación halófila, pastizales inducidos y matorral desértico rosetófilo, 25% en conjunto (INEGI, 2002).	Pastizales cultivados, inducidos y naturales 25% de la región, 20% selva baja caducifolia, y bosque mesófilo de montaña

			(INEGI, 2002).
Estados			
Población y economía			
Estado de México	15 millones de habitantes, con tasa de crecimiento anual de 1.6 % anuales, la entidad más poblada de la República Mexicana. Contribuye con el 9.5% al PIB nacional y es la segunda economía del país en nivel de importancia. El 28% industria manufacturera, 22% sector servicios, 20% comercio, 15% servicios financieros y actividades inmobiliarias (INEGI, 2009 y 2010).		
Distrito Federal	8.8 millones de habitantes. Contribuye con 17.7 % al PIB nacional siendo las actividades terciarias las que aportaron el 85% al PIB nacional, entre las que se encuentran el comercio y los servicios financieros y de seguros (INEGI, 2009 y 2010).		
Hidalgo	2.6 Millones de habitantes. Contribuye en un 1.5% al PIB nacional, siendo 26.5% del sector servicios, fabricación 24%, agrícola, forestal y pesca 6%, a pesar de que este último da empleo a más de la mitad de la población del estado (INEGI, 2009 y 2010).		

Tlaxcala		2.5 millones de habitantes. Contribuye con 0.5% al PIB nacional, las actividades terciarias entre las que se encuentran los servicios inmobiliarios y comercio aportaron 53% al PIB estatal (INEGI, 2009 y 2010).	
Puebla		5 Millones de habitantes siendo el quinto más poblado del país. Aporta el 3.3% al PIB nacional, la industria manufacturera que contempla maquila de productos textiles principalmente y sumando los rubros de comercio y servicios de diversas clases, las actividades terciarias representan alrededor del 60% del aporte al PIB estatal. La agricultura ha dejado de ser un apoyo a la economía del estado debido a las condiciones adversas que enfrenta el sector aportando solo 6.4% al PIB estatal (INEGI, 2009 y 2010).	

Veracruz			7.6 Millones de habitantes. Inversión extranjera importante, cuenta con zonas industriales importantes. Con un aporte al PIB nacional de 4.7% siendo el sector comercio (restaurantes y hoteles) el más importante con el 21% del aporte al PIB estatal, seguido del sector manufacturero con el 19.4 y finalmente los servicios financieros con el 19% como los más importantes (INEGI, 2009 y 2010).
----------	--	--	--

Cuenca del Río Moctezuma

El río Moctezuma representa la cuenca y zona lacustre más importante del país, y parte importante de la vertiente oriental, forma parte del curso alto del río Pánuco.

Nace con el nombre de Moctezuma en el Valle de México, en la meseta de OAnáhuac, donde sirve como canal de desagüe para el drenaje profundo de la ciudad de México; minuto a minuto se vierten en sus aguas los desechos de más de veinte millones de personas. Así la región donde antes abundó el ahuehuate hoy se ha transformado en un gran foco de contaminación en movimiento, impregnado de un olor nauseabundo, el río continúa su recorrido hasta que se transforma en la presa Zimapán, ubicada en la frontera entre los estados de Hidalgo y Querétaro (ILCE, 2012). La filtración libra al agua de agentes contaminantes mejorando su calidad. Atrás del alto muro de la presa se queda el agua estancada con los sedimentos de los desechos que sirven como alimento para el criadero de carpas que fue creado para el consumo humano.

Cuenca Río Atoyac

El Río Atoyac es un corto río del interior de México, una de las fuentes del gran Río Balsas. Tiene una longitud de unos 200 km y abarca los Estados de Puebla, Tlaxcala y Guerrero. El río atraviesa la ciudad de Puebla de Zaragoza, la cuarta más poblada del país.

El Río Atoyac nace del deshielo de los glaciares en la Sierra Nevada, en el estado de Puebla. El río penetra en el territorio del estado de Tlaxcala, de donde vuelve al territorio poblano para regar el extenso valle de Puebla-Tlaxcala. En el sur del municipio de Puebla es embalsado en la presa Manuel Ávila Camacho, conocida también como presa de Valsequillo. El río prosigue su curso hacia el suroeste, atravesando los valles de Atlixco y Matamoros. Los tres valles constituyen la zona más poblada del estado de Puebla, y concentran buena parte de la actividad agrícola e industrial del estado (INEGI, 2005).

En algún tiempo entre los años 1920 a los años 1960, el río Atoyac fue un lugar de recreo, de paseo familiar; sin embargo, con el paso del tiempo la sociedad se ha encargado de volverlo uno de los ríos más contaminados del país (INEGI, 2005).

En sus inicios, la industria no contaminaba en gran medida ya que utilizaban al río como una fuerza natural, ocupando molinos solo se empleaba la fuerza mecánica del río, y el proceso de recuperación natural del río bastaba para mantenerlo en equilibrio (INEGI, 2005).

Ahora el Río Atoyac es contaminado por 50 municipios de Tlaxcala y Puebla, que descargan sus aguas residuales al aire libre y por al menos mil industrias que no cuentan con plantas de tratamiento o no funcionan adecuadamente, y ello ha ocasionado que este afluente tenga al menos 25 sustancias nocivas y sea un foco de infección para las enfermedades como hepatitis, cáncer y cólera. Dentro de los principales causantes de contaminación se encuentran los ocasionados por descargas de compañías textiles, alimenticias, químicas y petroquímicas, de bebidas, metalmecánicas, automotrices y de autopartes y productoras de papel (INEGI, 2005).

Cuenca del Río Jamapa

Esta cuenca cuenta con un área de 3,658 km² y nace en el estado de Puebla gracias a los deshielos del volcán Citlaltépetl o Pico de Orizaba (con 5,610 m -la montaña más alta del país) en Barranca de Chicomany a lo largo de su recorrido, de oeste a este, recibe numerosos afluentes que bajan de la Sierra Madre Oriental en la población de Coscomatepec, Ver., varía su curso hacia el sureste fluyendo 25 km en esta dirección y captando en su recorrido corrientes pequeñas, a la altura de Córdoba, Veracruz. Desvía su curso hacia el este-sureste y cambia su nombre a Río Seco, fluye 22 km en terreno aprovechable para el cultivo, rodea el Cerro Chiyoltuite y afluye por su margen izquierda el río Atoyac (INEGI, 2005).

En la cuenca se encuentra una gran variedad de cobertura vegetal habiendo zonas dedicadas a la agricultura tanto de riego como de temporal.

En la zona de esta cuenca se ubica el distrito de riego denominado Centro Veracruz con un total de 86,281 ha, así como en la parte alta de la cuenca, específicamente sobre el río Atoyac, se sitúa la presa derivadora Santa Anita que abastece el sistema de riego El Potrero. Actualmente, existe el acueducto Veracruz- El Tejar, que conduce el agua desde el lugar denominado El Tejar sobre el Río Jamapa, a la ciudad de Veracruz para uso doméstico (Isla y Pereyra, 1990).

IV. MÉTODOS Y MATERIALES

a) Acopio de información escrita

Se hizo una recopilación de publicaciones relacionadas con CC para elegir el método más apropiado para esta investigación.

b) Acopio de información vectorial

Los datos espaciales se obtuvieron de distintas instituciones que contaran con información de las condiciones biofísicas de la República Mexicana, algunas de estas instituciones fueron: INEGI, CONABIO, NASA, Geomática COLPOS, CNA.

Para poder trabajar los datos vectoriales obtenidos de estas fuentes fue necesario homogeneizarlos en escala, datum y proyección.

A continuación se esquematiza la metodología aplicada para esta investigación (Figura 5).

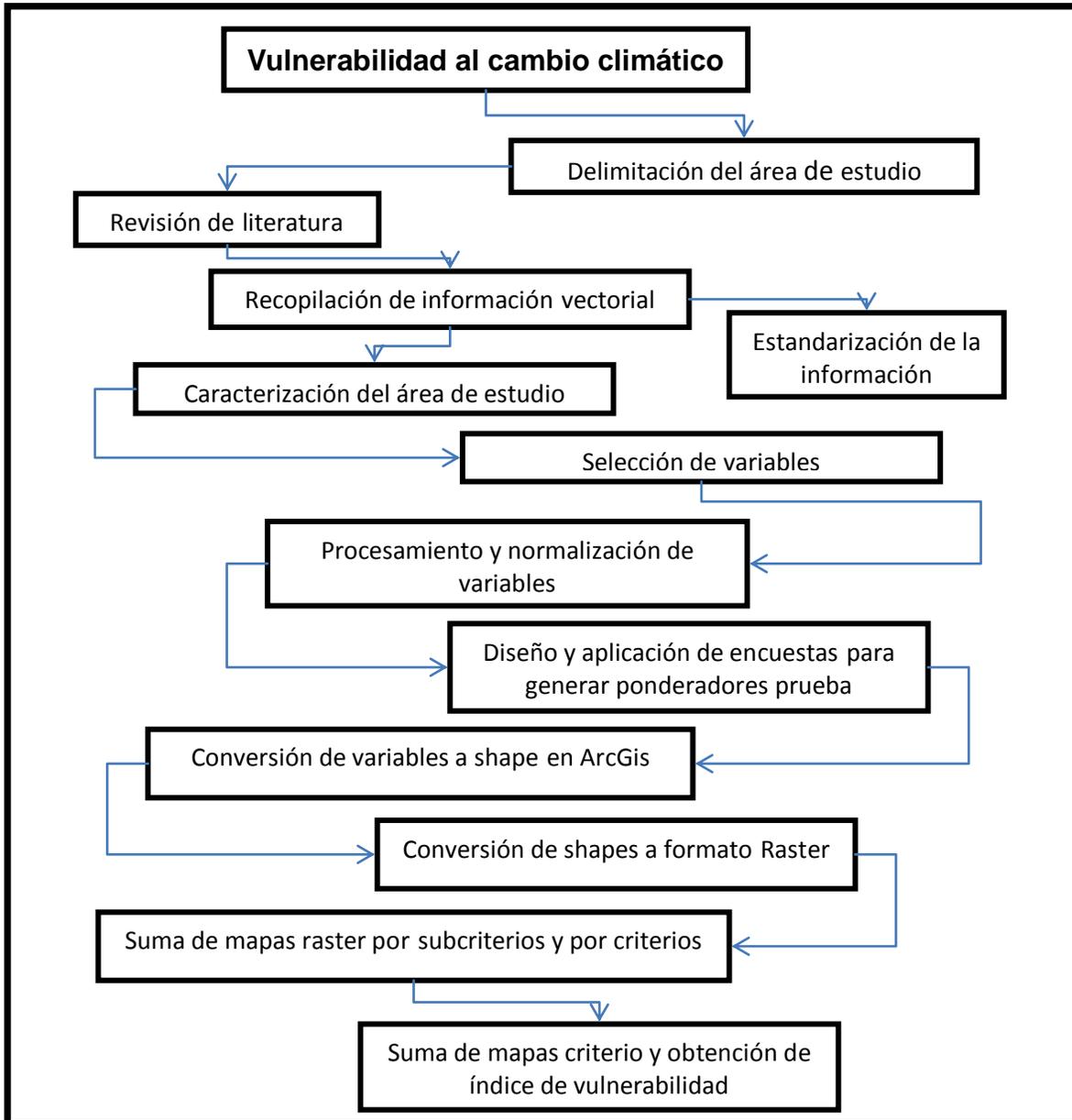


Figura 5. Esquema metodológico para obtención del Índice de vulnerabilidad.

4.1. Selección de variables

Esta selección se hizo con base en tres encabezados que conforman la estructura del modelo, entendiendo estos conceptos como a continuación se define:

Clima: Para conocer las variaciones en los regímenes de lluvia que tienen como consecuencia alteraciones en los ciclos productivos, así como la ocurrencia de desastres naturales que dejan al ecosistema afectado de manera que su recuperación implica recursos.

Sensibilidad: El grado en el que un sistema natural o un sistema humano responden a ciertos procesos que cambian o perturban su condición inicial debido al cambio climático (IPCC, 2001). Se diferencia del concepto de vulnerabilidad a partir de su interacción con la capacidad de adaptación de los sistemas en el sentido de que la vulnerabilidad de los mismos está dada por su sensibilidad al evento climático pero ajustado por su capacidad de adaptación.

Capacidad de adaptación: La capacidad de un sistema humano o natural para ajustarse al CC (incluida la variabilidad climática y los cambios extremos) a fin de moderar los daños potenciales, aprovechar las consecuencias positivas, o soportar las consecuencias negativas (IPCC , 2001).

4.2. Descripción del Modelo de Indicadores de Vulnerabilidad

Este modelo de indicadores cuantitativos permite comparaciones entre áreas, ya sea entre países, estados, provincias o localidades más pequeñas (Brenkert y Malone, 2005). Para este caso en particular permite dichas comparaciones entre microcuencas, estas comparaciones pueden proveer la base para el siguiente nivel de análisis que ayudará a desarrollar políticas de adaptación y programas para construir resiliencia (Ibarrarán *et al.*, 2008).

El Modelo de Indicadores de Vulnerabilidad (MIV) consiste en agregar una cantidad de valores proxy dentro de cada sector el cual, al mismo tiempo son agregados dentro de los valores de variación climática, sensibilidad y capacidad

de adaptación, y por último dentro del índice de vulnerabilidad. La estructura general del modelo sin las variables proxy se muestra en la Figura 6.

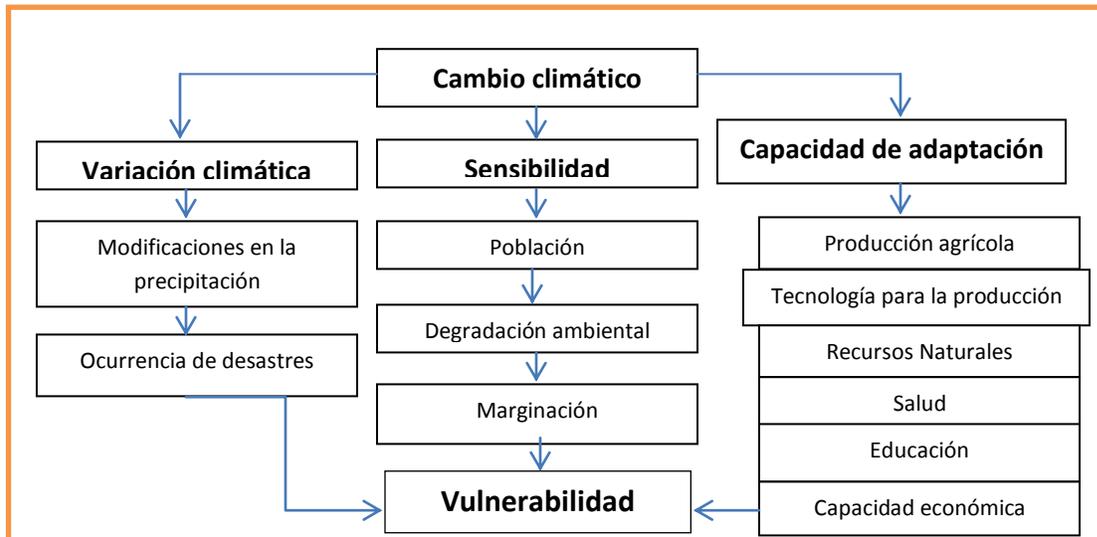


Figura 6. Estructura del Modelo del Indicadores de Vulnerabilidad. Adaptado de Ibararán et al., 2008.

En el esquema (Figura 6) se divide la vulnerabilidad en tres criterios principales dentro de los cuales se encuentran subcriterios a los que se les asociarán las variables proxy que se seleccionaron.

Después de seleccionar las variables proxy a introducir en cada subcriterio, se definió la relación con la que entran en el modelo, es decir cuando la variable seleccionada contribuye a la vulnerabilidad se considera con sentido positivo, y cuando resta vulnerabilidad se considera con sentido negativo. Es importante definir el sentido de cada variable para así normalizar la información de manera correcta y que cada uno de los elementos del modelo sea introducido con el valor correcto.

Se añaden las variables ya normalizadas a cada uno de los subcriterios, de manera aditiva, y finalmente se añaden al índice de vulnerabilidad como lo muestra el diagrama.

En el caso de la adición de los ponderadores en cada variable, se repite el proceso ahora obteniendo valores ponderados, lo que modificará los resultados finales en el índice de vulnerabilidad.

Ya obtenidos dichos valores se realiza el proceso en el SIG para su representación espacial por variable, subsector, sector y finalmente por indicador de vulnerabilidad. Lo anterior se realizó para las variables lineales y para las variables ponderadas; además, el proceso de conversión de datos de cada variable a un mapa shape, se realizó a través de herramientas de SIG, haciendo una unión con la herramienta “*Join*” de un shape existente según sea el caso para el tipo de variables; por ejemplo, para aquellas variables obtenidas a nivel municipio, la tabla de Excel fue ligada a un mapa en formato shape existente en SIG escala 1:1000 000 y la tabla unida a este mapa shape hereda las características del mapa al que fue unido, de igual forma para aquellas variables obtenidas a nivel estado, la información fue unida a un mapa shape en un SIG de estados en escala 1:1000 000.

Toda la información a la que fueron ligadas las tablas de Excel, fue obtenida bajo escala 1: 1 000 000 para homogeneizar la información para todas las variables.

Es necesario mencionar que el modelo original MIVR tiene una estructura diferente a la que se utiliza en esta investigación ya que su nivel de agregación es distinto. Debido a que todas las variables a considerar serán representadas espacialmente en un mapa generado en el SIG con Arc Gis, y de acuerdo a la información disponible, fue necesario hacer algunas modificaciones al modelo para poderlo adaptar y es por ello que se le dio el nombre de Modelo de Indicadores de Vulnerabilidad (MIV).

4.2.1. Justificación y selección de variables de vulnerabilidad.

La selección de variables se realizó considerando investigaciones previas con modelos similares, así como consulta con expertos y características del área de estudio. Posteriormente, se fueron descartando aquellas variables que eran difíciles de representar de manera espacial o que carecían de información relevante para el modelo. La condición siguiente fue la disponibilidad de la información, debido a que se está representando un índice de vulnerabilidad presente, la información debía estar disponible lo más actualizada posible al 2010, que es el año que se tomó como base para esta investigación, ya sea por estado, municipio, microcuenca o polígono.

En el Cuadro 2 se presentan las variables finales, con el sentido que cada una de éstas tiene dentro del modelo, debido a que se está tratando de encontrar un índice de vulnerabilidad relativo para esta área, entonces aquellas variables que suman vulnerabilidad al modelo se consideran positivas y se normalizaron bajo esta condición, y aquellas variables que se consideran que restan vulnerabilidad al modelo, se señalan como negativas y se normalizaron bajo esta condición.

De acuerdo al diagrama del modelo (Figura 6), fueron agrupados los criterios y subcriterios dentro de alguno de los tres encabezados: Variación climática, capacidad de adaptación y sensibilidad.

	Variables	Sentido	Justificación	Fuente	Nivel de agregación	Observaciones
Variación Climática	Clima					
	Anomalías en los regímenes de lluvias	Positivo	Cuanto se desvía de la media el régimen de lluvias anual y si ésta desviación es mayor entonces la vulnerabilidad es mayor	CONAGUA	Estado	Porcentaje de la anomalía de la lámina de lluvia acumulada por estado en milímetros, y se obtiene con la siguiente fórmula: Anomalía*100/Med00_00
	Declaratorias de desastre por municipio	Positivo	La frecuencia en la ocurrencia de estos fenómenos contribuye a la vulnerabilidad de un ecosistema por las pérdidas ocasionadas y la propensión del ecosistema a padecer estos disturbios	CONAGUA 2000-2010	Municipio	Declaratorias de desastre acumuladas para nevadas, heladas, granizadas, inundaciones, sequias, ciclón tropical y deslaves.

Sensibilidad	Continuación Cuadro 2					
	Población	Sentido	Justificación	Fuente	Nivel de agregación	Observaciones
	Densidad de población	Positivo	Entre más pobladores haya en un área, la disponibilidad de servicios y recursos será más limitada.	INEGI 2010	Municipio	Calculado
	Razón de dependencia	Positivo	Esto define la relación de pobladores (de 0 a 14 y de 65 años y más, con los que son independientes.	INEGI 2010	Municipio	Calculado
	Degradación ambiental					
	Degradación del suelo	Positivo	Muestra el grado de degradación del suelo tanto física como química, en cuatro categorías, ligera, moderada, fuerte y extrema.		Polígono por grado y tipo de degradación	
	Partículas suspendidas de 10 micrómetros de diámetro	Positivo	Actualmente se considera que las partículas en suspensión PM10 de manera general, son el problema de contaminación ambiental más severo, lo cual suma fragilidad al ecosistema y vulnerabilidad.	Instituto Nacional de Ecología (INE) con datos del Inventario Nacional de Emisiones 2005.	Municipio	Este tipo de partículas acarrear graves problemas de salud ya que se depositan directamente en los pulmones. Además de que acarrear gases contaminantes y sirven como transporte y diseminación de los mismos.
	Marginación					
	Índice de marginación de la vivienda	Positivo	Equipamiento en los hogares para afrontar cambios y variabilidad en el clima así como fenómenos meteorológicos	INEGI 2010	Municipio	Se obtuvo sacando el porcentaje de viviendas sin ningún bien con respecto al total y el porcentaje de viviendas sin servicios básicos (agua, luz y drenaje) con respecto al total y promediando estos dos porcentajes
	Índice de Pobreza	Positivo	CONEVAL, % de la población en pobreza extrema y media	CONEVAL 2010	Municipio	Porcentaje de pobladores en pobreza extrema y media con respecto al total por municipio.

Capacidad de Adaptación	Continuación Cuadro 2	Sentido	Justificación	Fuente	Nivel de agregación	Observaciones
	Producción agrícola					
	Producción de cereales	Negativo	Acceso a productos agrícolas originarios de la región así como bienestar económico obtenido por la producción y comercialización de estos productos	Censo agropecuario 2007 INEGI	Municipio	Se dividió la producción en Cereales, Frutales Y Hortalizas la producción total del municipio para cada uno de los grupos.
	Producción de hortalizas					
	Producción de frutales					
	Tecnología para la producción					
	Equipamiento de las unidades de producción	Negativo	Mejor equipamiento para afrontar las variaciones en las condiciones biofísicas para la producción, y menos pérdidas por estas.	Censo agropecuario 2007 INEGI	Municipio	Se consideraron los siguientes elementos: el porcentaje de las unidades de producción totales en el municipio que cuentan con tractores, trilladoras, motogrúas u otra maquinaria en funcionamiento, por lo menos uno de estos anteriores.
	Uso de semilla mejorada	Negativo	Incremento en calidad y cantidad de la producción agrícola	Censo agropecuario 2007 INEGI	Municipio	Calculado. Porcentaje de las unidades de producción que usan semilla mejorada por municipio con respecto al total.
	Recursos Naturales					
	Disponibilidad de agua por acuífero	Negativo	Disponibilidad de agua para satisfacer las necesidades básicas de una sociedad	CONAGUA	Polígono Arc Gis, por acuífero.	Calculado. Porcentaje disponible para consumo con respecto a la recarga total anual.
Zonas de cambio de uso de suelo	Negativo	Muestra en tres categorías la condición del uso del suelo en un periodo de tiempo y la propensión de este a cambiar a corto plazo ya sea para ganancia de bosque, pérdida de bosque por cambios a agricultura o urbano, y estabilidad.		Polígono Arc Gis	Se dividió el uso del suelo en tres categorías, 0 - zonas de pérdida, 1 zonas estables, 2 zonas de ganancia.	
Superficie de bosque o uso de tipo forestal	Negativo	Capacidad del ecosistema para absorber las emisiones CO ₂ , y la exposición de los suelos a sufrir daños por falta de cobertura vegetal.	Cálculo, con información de INEGI 2007	Microcuenca	Cálculo de Arc Gis, * Superficie de la microcuenca que cuenta con bosque.	
Continuación Cuadro 2	Salud	Sentido	Justificación	Fuente	Nivel de	Observaciones

				agregación	
Población Derechohabiente a servicios de salud	Negativo	Acceso a servicios de salud ante situaciones de desastre o enfermedad por efectos adversos del CC o vectores.	INEGI 2010	Municipio	
Esperanza de vida al nacer	Negativo	Muestra la incidencia de enfermedades y el grado de desarrollo de la entidad ya que el incremento o decremento de este indicador, está directamente relacionado con esos factores.	CONAPO 2010	Entidad federativa	
Educación					
Promedio de escolaridad	Negativo	La capacidad que tiene una sociedad para entender y afrontar el fenómeno del CC.	INEGI 2010	Municipio	
Capacidad económica					
Crecimiento del PIB en la última década	Negativo	El PIB es una medida de bienestar general de la población ya que considera el valor monetario de todos los bienes producidos por una sociedad.	CONEVAL 2010	Municipio	

Anomalías en los regímenes de lluvias

En el proceso de CC se prevé una intensificación del ciclo del agua (evaporación, condensación, precipitación, escurrimiento, otros), que dará lugar a diversas anomalías en los regímenes de lluvias y de humedad del suelo. Así, en regiones húmedas podría llover más o dejar de llover, y en las áridas podría acentuarse la sequía o comenzar a llover. Igualmente, el suelo, en lugares donde suele mantenerse húmedo, podría comenzar a researse, y viceversa.

Los pronósticos sobre este tipo de anomalías son en particular inciertos, puesto que la lluvia es un fenómeno esencialmente meteorológico (local y de corto plazo), más que climático, y los procesos que la generan resultan muy complejos, sin embargo, son de alta importancia en la evaluación de vulnerabilidad ya que generan condiciones que hacen más sensible a una sociedad a padecer los afectos adversos posteriores del cambio climático.

Frecuencia en la ocurrencia de desastres

Se cuenta con la variable frecuencia en la ocurrencia de desastres naturales. La definición oficial de desastre es la siguiente: Evento concentrado en tiempo y espacio en el cual la sociedad o una parte de ella sufre un severo daño o incurre en pérdidas para sus miembros, de tal manera que la estructura social se desajusta e impide el cumplimiento de las actividades esenciales de la sociedad afectando el funcionamiento vital de la misma (CENAPRED, 1995).

La medición en la frecuencia de ocurrencia de desastres en un municipio no solo aporta información sobre la ocurrencia de dicho desastre sino de las características del municipio que lo hacen más vulnerable al grado de sufrir pérdidas de tal magnitud para ser declarado zona de desastre por el gobierno estatal.

Densidad de población

La variable densidad de población acarrea distintos problemas con la disponibilidad de recursos como servicios, salud, alimentos y espacio, ya que estos tienen que dividirse entre un mayor número de pobladores, lo que a su vez genera diferentes problemas de marginación y deterioro de los recursos naturales. Para este estudio se utilizó esta variable bajo la premisa de que en estudios posteriores se considere hacer una separación de zonas rurales y urbanas y verificar la significancia de esta variable y el sentido que ésta debe tomar para una y para otra zona dentro del modelo. Para este caso en particular, se tomó como variable positiva (suma vulnerabilidad) en general.

Razón de dependencia

La razón de dependencia, muestra la cantidad de pobladores que en teoría son dependientes económicos de alguien, es decir, aquellos pobladores con edades de 0 a 14 años y de 65 y más, aquellos pobladores que aún no cuentan con edad suficiente para aportar recursos al hogar y aquellos que ya no tienen la edad y la fuerza necesaria para sostener un hogar; es decir que dependen de alguien más.

Degradación del suelo

Degradación del suelo: Proceso que disminuye la capacidad actual y potencial del suelo para producir (cuantitativa y cualitativamente) bienes y servicios (FAO-UNESCO). La degradación del suelo considera degradación física por compactación, degradación física por pérdida de la función productiva, degradación química por declinación de la fertilidad y reducción del contenido de materia orgánica, erosión eólica con deformación del terreno por acción del viento, erosión eólica con pérdida del suelo superficial por acción del viento, erosión hídrica con deformación del terreno y erosión hídrica con pérdida del suelo superficial. Estas condiciones se clasifican en cuatro categorías, ligera, moderada, fuerte y extrema que son los valores que se representan en el mapa

Al degradarse el suelo pierde fertilidad y para un buen uso agrícola hay que reponer los nutrientes con fertilizantes. Un suelo con buena salud responde con rapidez y con aumento de la producción al añadirle fertilizantes, pero un suelo degradado podría tener una respuesta lenta.

Las consecuencias de un suelo degradado son no solo medioambientales y socioeconómicas como inundaciones, avalanchas, desertificación, pobreza, hambrunas y migraciones, sino en la estructura química y física del suelo que genera vulnerabilidad en todos los aspectos que involucren el uso y la composición de este.

Partículas suspendidas de 10 μm de diámetro.

La variable siguiente seleccionada fue partículas suspendidas de 10 micrómetros de diámetro (PM10). Para esta variable se consideró en toneladas acumuladas anuales para el año 2005.

Se denomina PM10 a pequeñas partículas sólidas o líquidas de polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen, dispersas en la atmósfera, y cuyo diámetro es menor que 10 μm (1 micrómetro corresponde la milésima parte de 1 milímetro). Están formadas principalmente por compuestos inorgánicos como silicatos y aluminatos, metales pesados entre otros, y material orgánico asociado a partículas de carbón (hollín).

Las fuentes de partículas suspendidas son diversas y abarcan desde las naturales, como polvo volcánico y tolvaneras, hasta las de origen antropógeno como la combustión de motores y las actividades industriales. Las partículas suspendidas con diámetro menor a 10 micras resultan peligrosas para el ser humano debido a que se pueden inhalar (Juárez *et al.*, 1999).

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA -por sus siglas en inglés) afirma que las partículas pueden ser lo que más comúnmente afecte a la salud de las personas. Los efectos a la salud incluyen los siguientes: Tos,

dificultad para respirar, agrava el asma, daño al pulmón, muerte prematura en individuos con enfermedades existentes del corazón y del pulmón (EPA, 2010).

Entre mayores concentraciones de este contaminante estén en el aire, mayores serán las incidencias de enfermedades de tipo respiratorio y por tanto más vulnerable será la población.

Índice de marginación de la vivienda

Para el índice de marginación de la vivienda se obtuvo sacando el porcentaje de viviendas sin ningún bien (viviendas particulares habitadas que no disponen de radio, televisión, refrigerador, lavadora, automóvil, computadora, teléfono fijo, celular ni internet) con respecto al total y el porcentaje de viviendas sin servicios básicos (agua, luz y drenaje) con respecto al total y promediando estos dos porcentajes. La carencia de estos bienes y servicios se encuentra condicionada por el ingreso del que se dispone en las viviendas, ya sea por trabajo o transferencias monetarias o en especie; aún más, el no tener bienes de prioridad básica como refrigerador limita las posibilidades de contar con alimentos perecederos frescos, condiciones de higiene óptimas, e incrementa los riesgos de salud asociados con la ingesta de alimentos con algún grado de descomposición, desarrollo de bacterias por escasez de agua en cantidad o calidad .

Porcentaje de pobreza

La variable porcentaje de pobreza se refiere al porcentaje de habitantes en condiciones de pobreza ya sea media o extrema con respecto al total de habitantes en el municipio. La pobreza está estrechamente relacionada con la línea de pobreza que define una canasta básica de bienes y servicios, a partir de los precios de mercado, con el propósito de compararlos con los ingresos. De esta comparación se ubica como pobres a aquellas familias que no tienen los recursos suficientes para adquirir dicha canasta. Por tanto, esta variable está directamente

relacionada con la capacidad de la población de satisfacer sus necesidades básicas (CONAPO, 2010).

Según Stern (2006) los países más afectados ante el CC serán aquellos que se encuentran en vías de desarrollo, particularmente las comunidades más pobres, ya que para ellas, eventos como sequías, inundaciones y tormentas suelen ser experiencias terribles al poner en riesgo su vida debido a su alta dependencia de los recursos naturales que las rodean y su limitada posibilidad de adaptación a las futuras condiciones climáticas, sin ayuda externa.

Producción agrícola y tecnología para la producción

El subcriterio producción agrícola fue dividido en tres grupos, producción de cereales, producción de hortalizas y producción de frutales con el fin de dar una aproximación a la importancia del abastecimiento de alimentos ante los efectos adversos del cambio climático.

La seguridad alimentaria implica la alimentación, su producción, comercio, nutrición así como la forma en que la población y las naciones mantienen acceso a la comida a lo largo del tiempo haciendo frente a distintos tipos de situaciones. La seguridad alimentaria incluye las dimensiones de acceso, disponibilidad, estabilidad y uso de los alimentos.

Para medir qué tan preparada está una sociedad en cuanto a este aspecto, se eligieron las variables tecnología para la producción que considera aspectos como el uso de tractores, motogruas u otro tipo de maquinaria que facilite las labores agrícolas y haga más productivo en cuanto a labor, la tierra.

En segundo lugar, se consideró al uso de semilla mejorada. Bajos o mayores usos de este tipo de tecnología, de algún modo da un elemento de resiliencia para disminuir las pérdidas por las variaciones en el clima o las condiciones estructurales de la tierra para la producción.

La disponibilidad de alimentos se ve condicionada por los niveles de producción en los mercados locales, nacionales, el acceso al agua, la capacidad de importación del país y los almacenes de alimentos existentes, entre otros. Todos estos aspectos pueden ser condicionados por el CC, particularmente la producción local de alimentos y la disponibilidad de agua. A su vez, la relación entre el CC y la disponibilidad de alimentos depende, no sólo de los asuntos vinculados a la producción agrícola, sino también de los condicionantes socioeconómicos, demográficos, culturales, políticos y de la ciencia y tecnología que rodean a la población.

Las relaciones entre el CC y la seguridad alimentaria se han estudiado principalmente a través de la incidencia sobre la disponibilidad de alimentos, en concreto a través del análisis de los mecanismos de adaptación de la agricultura al cambio climático, particularmente con la introducción de mejoras tecnológicas (Ziervogel y Ericksen, 2010).

El efecto del CC y la disponibilidad de alimentos quedaba ya considerado en el cuarto informe del IPPC en el que se presentaron algunas proyecciones en cuanto a las variaciones de temperatura y sus efectos en la alimentación, fibra y productos forestales (IPCC, 2007).

El informe señala que los impactos del CC sobre el sustento de los pobladores pobres estarán dados principalmente por los servicios y bienes ambientales, agua, agricultura y seguridad alimentaria, salud y desplazamiento involuntario, migraciones y conflictos.

Los impactos del CC y la vulnerabilidad de las comunidades varían ampliamente pero se sabe que el CC actuará sinérgicamente con las vulnerabilidades ya existentes. De esta manera, el cambio climático, según la localización geográfica, podría actuar reduciendo la disponibilidad del agua, afectando la salud y ampliando la distribución de vectores; asimismo, los hogares se verán afectados

por inundaciones y se pondrá en peligro la seguridad alimentaria, entre otros impactos de igual gravedad (IPCC, 2007).

Disponibilidad de agua por acuífero

Esta variable brinda información sobre la disponibilidad de agua del acuífero. Es importante porque aporta información sobre los riesgos de la población al modificarse dicha disponibilidad.

La cantidad de agua no es el único indicador de referencia de la escasez, la calidad también tiene influencia sobre el volumen de agua que se encuentra disponible para uso, y en muchas de las cuencas la calidad es crítica debido a la contaminación. Aunque es necesario mencionar que cuando hablamos del término escasez, debe considerarse también la tasa de consumo, la tecnología para su uso y productos sustitutos (que para el caso del recurso agua, no hay sustitutos).

Sin embargo para fines de representación en esta variable, se toma solo la disponibilidad de agua por acuífero como medida de escasez.

Cuando la explotación del agua subterránea es mayor que la recarga, los niveles freáticos bajan, los costos de bombeo y la salinización de los suelos aumentan. El agotamiento de los recursos hídricos genera beneficios para algunos a la vez que agrava la pobreza y la marginación para otros.

Cambios de uso de suelo

Los cambios en el uso de suelo tales como la deforestación pueden alterar el clima a nivel local y regional. La humedad en el suelo es clave para muchos sistemas de producción de temporal.

Aunque las series de tiempo de precipitación no permiten dar una respuesta contundente al planteamiento de cómo cambia la lluvia bajo deforestación, los modelos sugieren que el cambio de bosques a zona de pastizales para ganadería o a tierras de cultivo resulta en disminución de captación e infiltración de agua.

Superficie de bosque

Los bosques desempeñan cuatro funciones principales en el cambio climático: contribuyen con casi un sexto de las emisiones de carbono mundial cuando se remueve por completo la vegetación, explotados en exceso o degradados; los bosques reaccionan sensiblemente a los cambios del clima; cuando han sido sosteniblemente ordenados, producen dendrocombustible como una alternativa más benigna que los combustibles fósiles; y por último, los bosques poseen el potencial de absorber un décimo de las emisiones mundiales de carbono previstas para la primera mitad de este siglo en sus biomásas, suelos y productos y almacenados, en principio y a perpetuidad, así como captación de agua y recarga de los mantos acuíferos (IPCC, 2001).

Población derechohabiente a servicios de salud

Es probable que los cambios del clima prolonguen las estaciones de transmisión de importantes enfermedades transmitidas por vectores y alteren su distribución geográfica. La malaria, por ejemplo, depende del clima. Transmitida por mosquitos del género *Anopheles*, la malaria mata a casi un millón de personas cada año, sobre todo niños Africanos menores de cinco años. Los mosquitos del género *Aedes*, vector del dengue, son también muy sensibles a las condiciones climáticas. Los estudios al respecto llevan a pensar que el CC podría exponer a 2000 millones de personas más a la transmisión del dengue en la década próxima (Sunyer, 2010).

Es por esto que aquellas sociedades que cuenten con algún servicio de salud, podrían ser las menos vulnerables y con la capacidad de minimizar estos efectos, ya que el acceso a los servicios de salud es el primer paso para la superación de enfermedades que atentan con la vida, y acceder a ellos de forma particular es costoso y bajo el nivel de ingresos que perciben aquellas poblaciones más vulnerables resultaría imposible atender estos casos.

Esperanza de vida al nacer

Algunos economistas utilizan la esperanza de vida al nacer como una medida de desarrollo de una sociedad. La esperanza de vida al nacer se puede considerar como una medida general de la calidad de vida en un país y resume la tasa de mortalidad para todas las edades.

Grado promedio de escolaridad

La variable grado promedio de escolaridad fue elegida ya que el nivel en que una sociedad esté preparada para tomar acciones ya sea para prevenir, mitigar o afrontar los efectos del CC, será en la medida en que ésta tenga la capacidad de adaptarse. Esta capacidad se inculca a través de la educación escolar, ya que constantemente se motiva y se informa sobre hacer conciencia en el cuidado del planeta y los efectos de no hacerlo, así como las medidas para afrontarlo.

Producto Interno Bruto

El producto interno bruto (PIB) es una medida macroeconómica que expresa el valor monetario de la producción de bienes y servicios de un país durante un período determinado de tiempo (Banco Mundial, 2013). Esta variable mide el bienestar material de una sociedad y en su valor vienen implícitos, inversión, empleo e ingreso de una sociedad, el crecimiento de éste implica también crecimiento en estos elementos constituyentes vitales de la economía de un país. Los datos fueron extraídos del Sistema de Cuentas Nacionales de INEGI con información desde 2003 hasta 2010 a precios constantes (base 2003), y se calculó el incremento porcentual anual del PIB por entidad ya que no se cuenta con datos a nivel municipal.

Las conclusiones del informe sobre CC de Stern (2006) afirman que se necesita una inversión equivalente al 1% del PIB mundial para mitigar los efectos del cambio climático y que de no hacerse dicha inversión el mundo se expondría a una recesión que podría alcanzar el 20% del PIB global.

4.3. Evaluación multicriterio para la obtención de ponderadores

Para mostrar un escenario más en esta investigación se llevó a cabo una evaluación multicriterio para determinar la importancia de cada variable con respecto a otra, según los expertos, y de acuerdo a esta jerarquización se establecieron valores de ponderación a las variables para darles peso.

El proceso analítico jerárquico (AHP) es una metodología desarrollada a fines de la década de 1970 por Thomas L. Saaty. Es un método de descomposición de estructuras complejas en sus componentes, ordenando estos componentes o variables en una estructura jerárquica, donde se obtienen valores numéricos para los juicios de preferencia y, finalmente los sintetiza para determinar qué variable tiene la más alta prioridad (Saaty, 1988) (Figura 7).

Esta metodología propone una manera de ordenar el pensamiento analítico, de la cual destacan tres principios:

- a. Construcción de las jerarquías
- b. Establecimiento de prioridades
- c. Consistencia lógica

a. Principio de construcción de jerarquías:

Las jerarquías que trata el método de AHP son aquellas que conducen un sistema hacia un objetivo deseado como la solución de conflictos, un desempeño eficiente o la felicidad total.

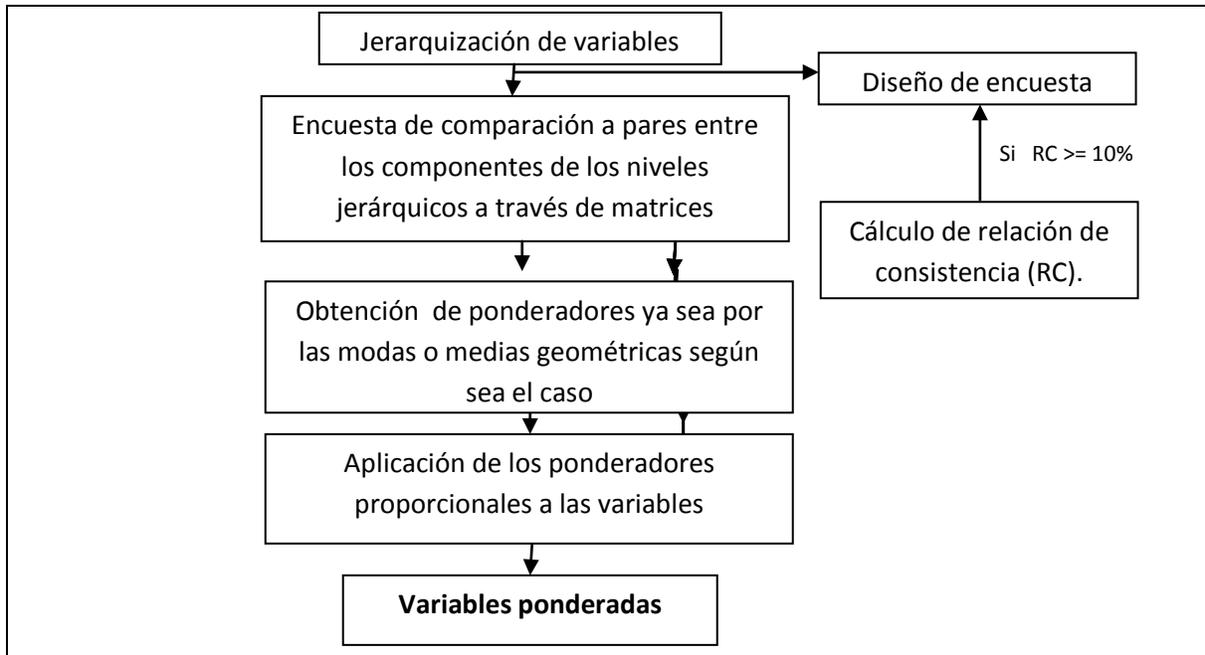


Figura 7. Esquema metodológico de la evaluación multicriterio. Adaptado de Saaty (1978).

b. Principio de establecimiento de prioridades

El cálculo de la prioridad se realizó en función de comparaciones a pares con respecto a un criterio dado. Para comparar los elementos se forma una matriz y se pregunta: ¿Cuánto supera este elemento (o actividad) al elemento con el cual se está comparando?

El segundo principio que destaca de este método multicriterio es el establecimiento de prioridades entre los elementos de la jerarquía. Se propone una escala de prioridades como forma de independizarse de las diferentes escalas que existen entre sus componentes. Los seres humanos perciben relaciones entre los elementos que describen una situación, pueden realizar comparaciones a pares entre ellos con respecto a un cierto criterio y de esta manera expresar la preferencia de uno sobre otro. La síntesis del conjunto de estos juicios arroja la escala de intensidades de preferencias (prioridad) entre el total de elementos comparados. De esta forma, es posible integrar el pensamiento lógico con los

sentimientos, la intuición (que es reflejo de la experiencia), otros. Los juicios que son ingresados en las comparaciones a pares responden a estos factores (Saaty, 1997).

Es por ello que para que esto ocurra se debe crear una matriz para cada criterio y subcriterio de la jerarquía que permita determinar la prioridad de los elementos de su nivel inmediatamente inferior. Se comparan por pares estos elementos contenidos en la matriz, usando una escala de proporciones, para determinar su importancia respecto al otro. (Escala de intensidad de Saaty) (Cuadro 3).

Es deseable que el establecimiento de prioridades, cuando hay más de un experto involucrado, se logre a través del consenso entre ellos. Sin embargo, en ocasiones no es posible sostener una serie de entrevistas junto con todos los involucrados. Saaty (1988) resolvió este inconveniente integrando los juicios a través de la media geométrica.

Cuadro 3. Escala de intensidad de Saaty.

Intensidad	Definición	Explicación
1	De igual importancia	2 criterios contribuyen de igual forma al objetivo
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen levemente a un criterio sobre otro
5	Importancia fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente un criterio sobre otro
7	Muy fuerte o demostrada	Un criterio es mucho más favorecido que otro; su predominancia se demostró en la práctica
9	Extrema	La evidencia que favorece un criterio sobre otro, es absoluta y totalmente clara
La escala considera valores intermedios (2, 4, 6, 8) los cuales se omiten con fines de simplicidad. Fuente: Saaty (1988).		

Para el establecimiento de prioridades en este trabajo se realizaron 10 encuestas a profesionistas, conocedores del tema y tomadores de decisiones en la rama del CC (Anexo I). La encuesta se estructuró con matrices por cada criterio y pidiendo

al encuestado realizara una comparación pareada, que definiera cual criterio es más importante que el otro de acuerdo a la escala de intensidad. Los resultados finales de las encuestas mostraron en algunos casos coincidencias en algunos juicios. Debido a que se trata de evaluar vulnerabilidad relativa al cambio climático, interesa saber cuáles juicios coinciden, Saaty (1997) propone juicios de consenso entre expertos, una forma de expresar cierto consenso entre los expertos es identificando la moda para cada una de las matrices de comparación, y para aquellas matrices que no presenten moda, entonces se tomó como referencia la media geométrica (Saaty, 1988).

Las matrices para cada criterio, subcriterio e indicador fueron:

Matriz 1. Comparación de criterios.

VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO	CRITERIOS (elementos columna)	Variación climática	Sensibilidad	Capacidad de adaptación
	1. Variación Climática	1		
	2.- Sensibilidad	X	1	
	3.- Capacidad De Adaptación	X	X	1

Matriz 2. Comparación de subcriterios de sensibilidad.

SENSIBILIDAD	SUBCRITERIOS (Elementos columna)	Población	Degradación	Marginación
	1.- Población	1		
	2.- Degradación Ambiental	X	1	
	3.- Marginación	X	X	1

Matriz 3. Comparación de subcriterios de capacidad de adaptación.

SUBCRITERIOS (Elementos columna)	Producción agrícola	Tecnología para la Producción	Recursos Naturales	Salud	Educación	Capacidad Económica
1.- Producción Agrícola	1					
2.- Tecnología Para La Producción	X	1				
3.- Recursos Naturales	X	X	1			
4.- Salud	X	X	X	1		
5.-Educación	X	X	X	X	1	
6.-Capacidad Económica	X	X	X	X	X	1

Matriz 4. Comparación de indicadores de clima.

CLIMA	INDICADORES (Elementos columna)	Precipitación	Ocurrencia de desastres
	1.- Precipitación	1	
	2.- Ocurrencia De Desastres	X	1

Matriz 5. Comparación de indicadores de población.

POBLACIÓN	INDICADORES (Elementos columna)	Densidad de población	Razón de dependencia
	1.- Densidad De Población	1	
	2.- Razón De Dependencia	X	1

Matriz 6. Comparación de indicadores de degradación ambiental.

DEGRADACIÓN AMBIENTAL	INDICADORES (Elementos columna)	Erosión	PM10
	1.- Degradación Del Suelo	1	
	2.- PM10	X	1

Matriz 7. Comparación de indicadores de marginación.

MARGINACIÓN	INDICADORES (Elementos columna)	Índice de marginación de la vivienda	Índice de pobreza
	1.- Índice de marginación de la vivienda	1	
	2.- Índice de pobreza	X	1

Matriz 8. Comparación de indicadores de producción agrícola.

PRODUCCIÓN AGRÍCOLA	Indicadores (Elementos Columna)	Producción de cereales	Producción de hortalizas	Producción de frutales
	1.- Producción de cereales	1		
	2.- Producción de hortalizas	X	1	
	3.- Producción de frutales	X	X	1

Matriz 9. Comparación de indicadores de tecnología para la producción.

TECNOLOGÍA PARA LA PRODUCCIÓN	Indicadores (Elementos columna)	Equipamiento De las U. de Producción	Uso de semilla mejorada
	1.- Equipamiento de las unidades de producción	1	
	2.- Uso de semilla mejorada	X	1

Matriz 10. Comparación de indicadores de recursos naturales.

RECURSOS NATURALES	Indicadores (Elementos columna)	Disp. De agua	Tierra de riego	Bosque	Zonas estables de uso de suelo
	1.- Disponibilidad de agua	1			
	2.- Tierra de riego	X	1		
	3.- Superficie de bosque	X	X	1	
	4.- Zonas estables de uso de suelo	X	X	X	1

Matriz 11. Comparación de indicadores de salud.

SALUD	Indicadores (Elementos columna)	Población derechohabiente a servicios de salud	Esperanza de vida al nacer
	1.- Población derechohabiente a servicios de salud	1	
	2.- Esperanza de vida al nacer	X	1

Las matrices individuales no se incluyeron en la encuesta de evaluación ya que su valor de comparación siempre es uno. Como es el caso de variación climática (clima), educación (grado promedio de escolaridad), y capacidad económica (Crecimiento del PIB).

El paso siguiente es simplificar la matriz de comparaciones, transformando las fracciones en números decimales, con el fin de simplificar el desarrollo. Luego, se calcula el cuadrado de la matriz simplificada (la que contiene números decimales) y se suman los elementos para cada fila.

Los valores obtenidos para cada fila se suman. Posteriormente, cada uno de éstos valores es dividido por la suma resultante. Para así obtener el vector propio, que representa el vector de prioridades para cada criterio.

Este procedimiento se repite (obtener la matriz cuadrada, sumar los elementos de cada fila, dividir esos resultados por la suma de los mismos y obtener los vectores propios) hasta que la diferencia entre los vectores propios de dos procesos consecutivos sea muy pequeña o cero.

El Cuadro 2 muestra los vectores de prioridades para cada criterio, subcriterio e indicador con su proporcionalidad en relación al total, y esta proporcionalidad es el valor que se tomará como el ponderador.

c. Principio de consistencia lógica

Los seres humanos tienen la capacidad de establecer relaciones entre los objetos o las ideas, de manera que sean consistentes. Es decir, que se relacionen bien entre sí y sus relaciones muestren congruencia. En este sentido consistencia implica dos cosas: Transitividad y proporcionalidad; la primera es que deben respetarse las relaciones de orden entre los elementos; Por ejemplo, si A es mayor que C y C es mayor que B entonces la lógica dice que A es mayor que B. La segunda es que las proporciones entre los órdenes de magnitud de estas preferencias también deben cumplirse con un rango de error permitido. Por ejemplo, si A es 3 veces mayor que C y C es dos veces mayor que B, entonces A debe ser 6 veces mayor que B, este sería un juicio 100% consistente (se cumple la relación de transitividad y de proporcionalidad) (Saaty, 1988).

La escala a que se hace referencia existe en el inconsciente, no está explícita y sus valores no son números exactos, lo que existe en el cerebro es un ordenamiento jerárquico para los elementos. Dada la ausencia de valores exactos para esta escala, la mente humana no está preparada para emitir juicios 100% consistentes (que cumplan las relaciones de transitividad y proporcionalidad). Se espera que se viole la proporcionalidad de manera tal que no signifique violaciones a la transitividad. La consistencia tiene relación con el grado de dispersión de los juicios del actor. Los juicios consistentes imponen 2 propiedades en forma simultánea:

A) Transitividad de las preferencias: Si C1 es mejor que C2 y C2 es mejor que C3 entonces se espera que C1 sea mejor que C3 (Saaty, 1988).

B) Proporcionalidad de las preferencias: Si C1 es 3 veces mejor que C2 y C2 es 2 veces mejor que C3 entonces se espera que C1 sea 6 veces mejor que C3. Por supuesto, es necesario, cierto grado de consistencia en la fijación de prioridades para los elementos o actividades con respecto a algún criterio para obtener resultados válidos en el mundo real. El AHP mide la inconsistencia global de los juicios mediante la Proporción de Consistencia, que es el resultado de la relación entre el Índice de Consistencia y el Índice Aleatorio. El Índice de Consistencia es una medida de la desviación de consistencia de la matriz de comparaciones a pares y el Índice Aleatorio es el índice de consistencia de una matriz recíproca aleatoria, con recíprocos forzados, del mismo rango de escala de 1 hasta 9.

El valor de esta proporción de consistencia no debe superar el 10%, para que sea evidencia de un juicio informado, en caso de que supere este valor, se recomienda replantear la encuesta de manera que el entrevistado responda con mayor consistencia (Saaty, 1988).

Cálculo de la Relación de Consistencia (RC)

Saaty definió una relación nueva para obtener el máximo valor propio (necesario para calcular el Índice de consistencia), que ofrece cálculos mucho más sencillos.

$$(1) \quad \lambda_{\max} = V^* B \quad \dots$$

Dónde:

λ_{\max} = máximo valor propio de la matriz de comparaciones a pares.

V= es el vector de prioridades o vectores propios obtenidos de la

matriz de comparaciones.

B= vector hilera, correspondiente a la suma de los elementos de cada columna de la matriz de comparaciones a pares. Es una matriz de $m \times 1$, donde m es el número de columnas de la matriz de comparaciones.

Ya obtenido este valor se calcula el índice de consistencia:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad \dots(2)$$

Para finalmente obtener la Relación de Consistencia, se necesita antes el Índice Aleatorio. Para éste, existe una tabla elaborada por Saaty (1988) Cuadro 4. que muestra los Índices de Consistencia para una serie de matrices aleatorias con recíprocos forzados:

Cuadro 4. Índices de consistencia para el cálculo de índice aleatorio de matrices

Tamaño de la matriz	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice aleatorio	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

Fuente: Saaty (1988).

Entonces se resuelve la relación de consistencia (RC) como:

$$RC = CI/RI \quad \dots(3)$$

En donde:

CI= Es el valor obtenido con la fórmula 1.

RI= Es el valor obtenido del Cuadro 4 según el tamaño de la matriz.

Es evidencia de un juicio informado una Relación de Consistencia menor a 0.1, por tanto, no es necesario reevaluar los juicios expresados en la matriz de comparaciones.

4.4. Normalización de variables

Debido a que cada una de las variables es de diferente naturaleza, fue necesario estandarizar dichas variables de manera que todas tuvieran la misma escala de medición y arrojaran como resultado final datos relativos entre sí. El método utilizado para normalizar las variables fue similar al sugerido por Ibarrarán *et al.* (2008), de acuerdo a las relaciones siguientes:

$$VN = 1 + \frac{100 \times (P - P_{min})}{(P_{max} - P_{min})}; \text{ si la variable suma vulnerabilidad} \quad \dots(4)$$

y

$$VN = 1 + \frac{100 \times (P_{max} - P)}{(P_{max} - P_{min})}; \text{ si la variable resta vulnerabilidad} \quad \dots(5)$$

Dónde:

VN= Valor normalizado de la variable.

P= Valor a normalizar.

Pmax= Valor máximo de toda la serie de valores.

Pmin= Valor mínimo de toda la serie de valores.

4.5. Cálculo de variables ponderadas

Después de normalizar las variables se ponderaron con base en los resultados obtenidos por la encuesta; es decir, ésta se multiplicó por el ponderador o valor de importancia obtenido para esa variable. Este hecho modificó su valor original normalizado ya sea para incrementar su peso o disminuirlo en función al criterio de los expertos.

Este proceso de ponderación de variables se aplicó para obtener un escenario posible, aplicándole un peso a cada una de las variables y mostrar a manera de

ejemplo como pueden modificarse los resultados finales en función a los criterios expresados por los expertos en el tema.

4.6. Generación de mapas y representación espacial de vulnerabilidad relativa

Cada una de las variables fue normalizada y convertida en formato raster para posteriormente realizar una suma de mapas y obtener un valor final de esa suma que representará el índice de vulnerabilidad buscado. Para la variable normalizada y para la variable ponderada.

Cada uno de los sectores cuenta con variables proxy que son las variables que compondrán el índice de vulnerabilidad final. Cada una de éstas será sumada para sacar un valor por sector con la herramienta *map algebra-raster calculator* dentro de *Spatial analyst tools*. Para obtener un valor único por microcuenca se calcula a través de la herramienta *zonal statistics* y se obtiene los valores por subcriterio a nivel microcuenca, ya teniendo un valor único zonal por microcuenca, entonces se suman los mapas obtenidos por subcriterio con *map algebra* nuevamente para obtener el índice de vulnerabilidad delimitado por microcuencas. Todo esto se realiza tanto para los mapas sin ponderar como para los mapas ponderados; es decir, para cada mapa, se generó uno con un valor normalizado solamente y otro con un valor ponderado. De igual forma, para los mapas por subcriterios y criterios, para finalmente obtener el índice agregado de vulnerabilidad relativa sumando los criterios, de esta forma se obtiene un mapa raster que mostrara la vulnerabilidad relativa entre microcuencas.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Anomalías en los regímenes de lluvias

La Figura 8a muestra la distribución espacial de las anomalías en los regímenes de lluvia. El color rojo intenso es aquel estado que tuvo un porcentaje mayor y el verde intenso es el estado que obtuvo menor porcentaje de anomalía con respecto a la media mensual por año. Los resultados indicaron que las anomalías más frecuentes ocurren en las cuencas hacia el centro del país y en especial en las que pertenecen al Estado de México.

Declaratorias de desastre por municipio

El mayor número de desastres se distribuye hacia el estado de Veracruz (Figura 8b). Históricamente los eventos registrados son el huracán Stan (2005) Dean (2007) e Ingrid (2013) que han sido los más severos para la entidad, provocando pérdidas humanas y materiales significativas.

Las lluvias severas e inundaciones son un fenómeno recurrente en esta entidad, particularmente los municipios de Calchualco, Alvarado y Xalapa. Principalmente aquellos municipios que se ven afectados más severamente por algún fenómeno climatológico son aquellos en condiciones de desventaja en cuanto a la situación socioeconómica y productiva. Este resultado se explica por la cercanía del Estado de Veracruz con el Golfo de México donde ocurre la entrada frecuente de huracanes. Adicionalmente, las precipitaciones altas que se dan en el estado facilitan la saturación del suelo provocando escurrimientos superficiales extremos y deslizamientos.

También destacan regiones de Puebla e Hidalgo con vulnerabilidad por factores climáticos y que podrían tener desventaja en cuanto a la situación socioeconómica y productiva.

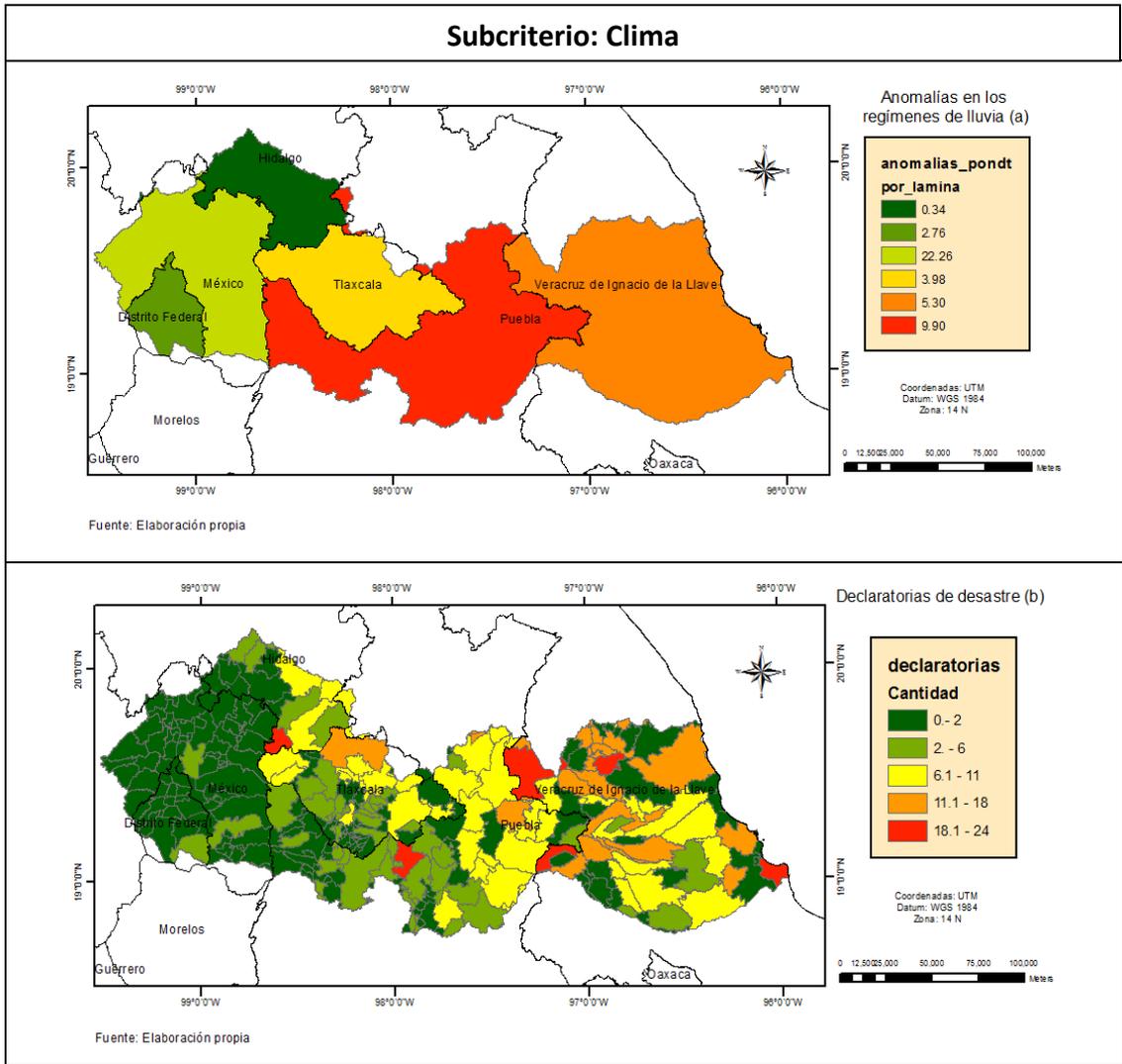


Figura 8. Indicadores del subcriterio de clima: Anomalías en los regimenes de lluvia (a) y declaratorias de desastres (b).

Densidad de población

Las regiones más pobladas se localizan en el Estado de México y el Distrito Federal aunque las ciudades de Puebla, Jalapa y Veracruz muestran un área de influencia por su densidad de población alta (Figura 9a). La densidad de población muestra una distribución que se acentúa hacia las grandes ciudades. La representación espacial de estas variables pone de manifiesto la distribución desventajosa de la población. En las grandes ciudades se agudizan los problemas de vivienda, transporte, fuentes de trabajo, servicios urbanos y seguridad, mientras que en el medio rural no se impulsan proyectos de desarrollo económico quizás por falta de mano de obra. Todos estos factores son una desventaja ante el CC.

Razón de dependencia

La razón de dependencia mostró un gradiente de mayor a menor del centro de México hacia el Golfo (Figura 9b). Con excepción de la región de Veracruz, se encontró un patrón parecido al de población.

La explicación a este fenómeno se podría deber a una mayor cantidad de infantes y adultos mayores, y se deben considerar las estadísticas de migración que están directamente relacionadas con este indicador ya que los que no emigran deben soportar una carga mayor, así como la tasa de fecundidad con respecto a la tasa de mortalidad de la región, para poder explicar el por qué se da este fenómeno en algunos municipios. Como se observa en la Figura 9b, la razón de dependencia se acentúa principalmente en aquellos estados más densamente poblados, como son el Estado de México y el Distrito Federal; es decir, donde la población en edad económicamente activa, es mucho menor que aquella teóricamente en edades económicamente inactiva.

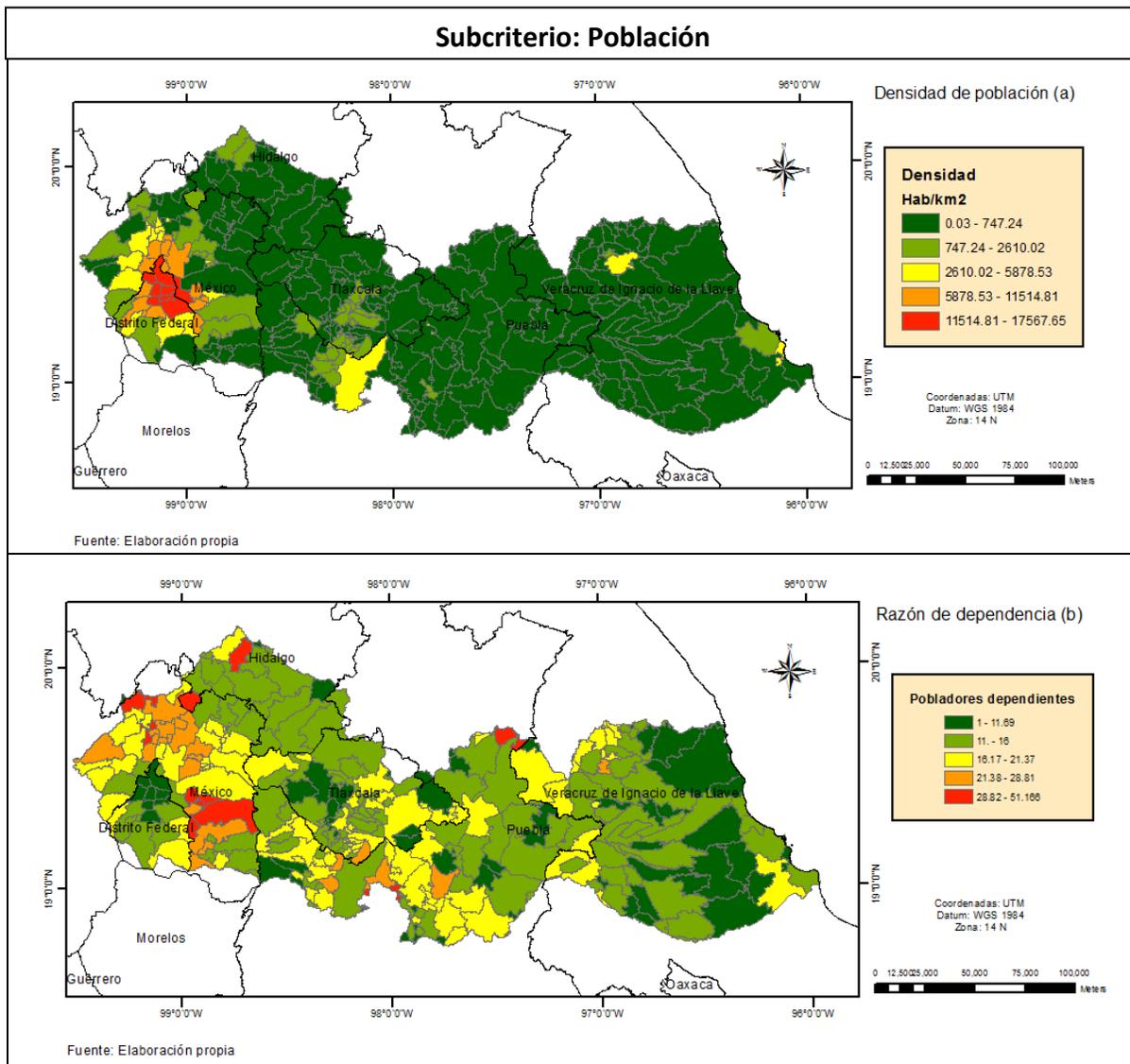


Figura 9. Indicadores del subcriterio de población: Densidad de población (a) y Razón de dependencia (b).

Degradación del suelo

Para el mapa de degradación del suelo se agruparon cuatro tipos: (1) degradación ligera; (2) degradación moderada; (3) degradación fuerte; (4) degradación extrema. Aquellas áreas sin color son las que no presentan datos, ya sea por pertenecer a zonas urbanas o porque no aplica por alguna otra razón de uso. Por tanto, se les asignó un valor de cero.

Las áreas con mayor degradación del suelo fueron las áreas del Distrito Federal algunos polígonos en el estado de Veracruz y unas pequeñas áreas en el estado de Puebla (Figura 10a). Los resultados muestran una cierta relación entre las áreas mayormente degradadas y las de mayor población.

Partículas suspendidas de 10 μm de diámetro

Debido a que en la mayoría de los municipios de la República Mexicana se llevan a cabo en mayor o menor medida, actividades de tipo industrial, así como el uso de motores de automóviles y maquinaria, derivado de esto la acumulación de PM10 se distribuye en todos los municipios del área de estudio concentrándose sin diferencias significativas en las áreas más densamente pobladas (Figura 10b).

Sorprende que regiones más afectadas por PM10 se distribuyen a lo largo del área de estudio. Aunque se intensifica en las ciudades de D.F., Puebla, Tlaxcala, Córdoba, Xalapa y el puerto de Veracruz. Es posible que este resultado indique la facilidad con la que se dispersan las partículas a otras partes de la zona a partir de fuentes principales (Figura 10b).

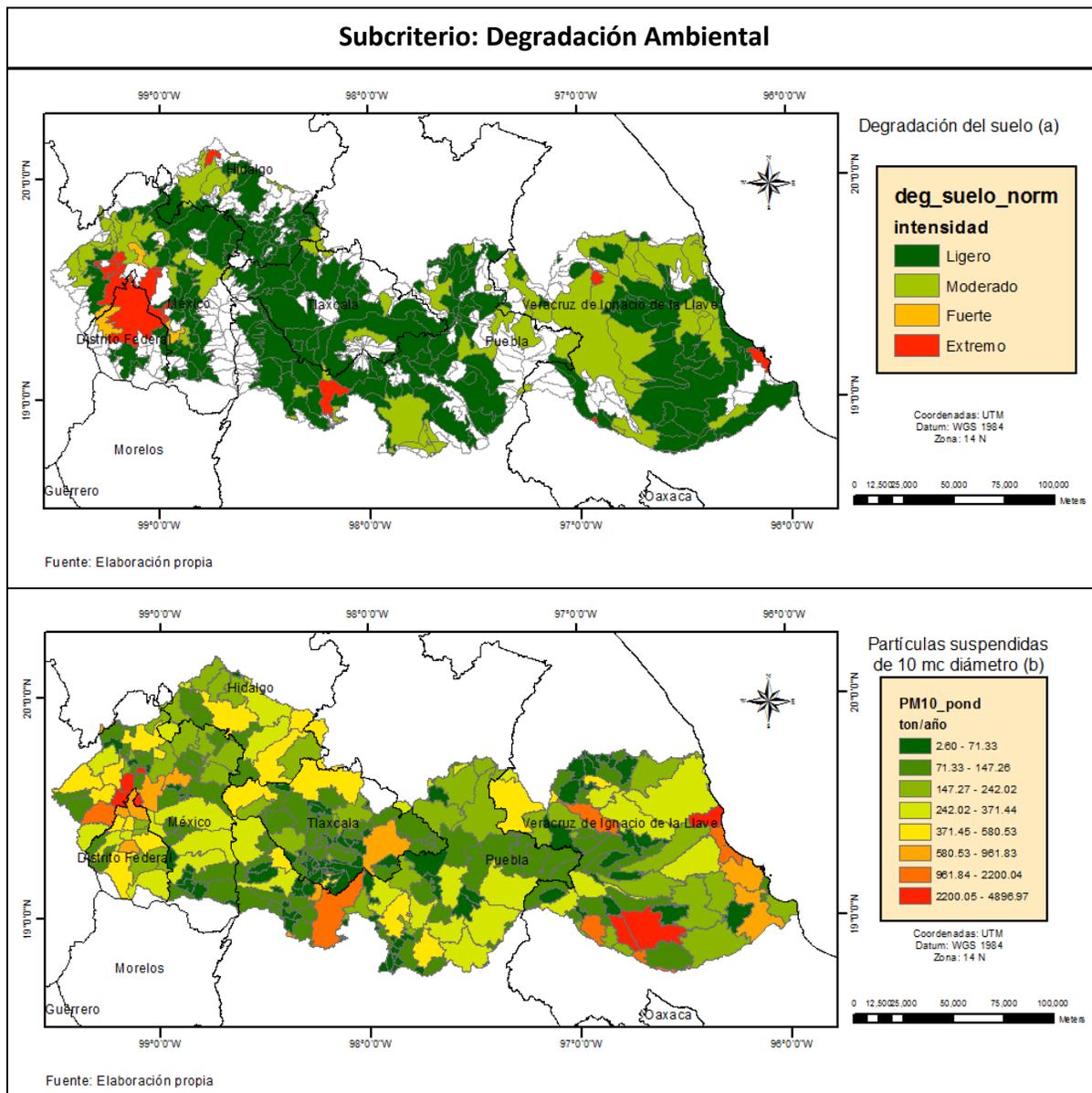


Figura 10. Indicadores del subcriterio de degradación ambiental: Degradación Del suelo (a) y Partículas suspendidas de 10mc de diámetro (b).

Índice de marginación de la vivienda e índice de pobreza

Estas dos variables tienen una estrecha relación, mientras una mide las condiciones de marginación de la vivienda y los bienes que se poseen para llevar a cabo actividades cotidianas e indispensable alimentación e higiene, la otra mide la capacidad de esta población para satisfacer sus necesidades básicas. Por tanto, coinciden algunos municipios en cuanto a estas dos características.

En estas variables, el gradiente tiene una distribución que va del centro hacia ambos lados, el Golfo y la Ciudad de México, con una marcada incidencia en el estado de Puebla para ambas variables (Figura 11). Puebla, a pesar que ha reducido sus cifras en cuanto a habitantes en pobreza, son 864 mil habitantes que se mantienen en pobreza extrema, ubicándolos como el sexto estado con más pobladores en esa condición (CONEVAL, 2010).

Puebla tiene 2.6 millones de habitantes en pobreza extrema y moderada, lo que suma más del 46% de la población (CONEVAL, 2010).

Hay municipios que cuentan con menores índices de pobreza que de marginación de la vivienda, por ejemplo la Figura 11a y 11b, los municipios pegados a la costa de Veracruz tienen cifras bajas en cuanto a pobreza pero cifras elevadas en cuanto a marginación, esto debido a que viven de los ingresos del turismo y la pesca, por tanto mayor número de familias tiene ingresos suficientes para satisfacer sus necesidades básicas. Sin embargo, viven bajo condiciones de marginación de vivienda ya que en algunos casos las localidades son tan pequeñas que el gobierno no destina recursos para generar condiciones dignas de vivienda ni en cuanto a servicios básicos. Las comunidades más densamente pobladas son las que presentan índices menores de marginación y viceversa (Figura 11a).

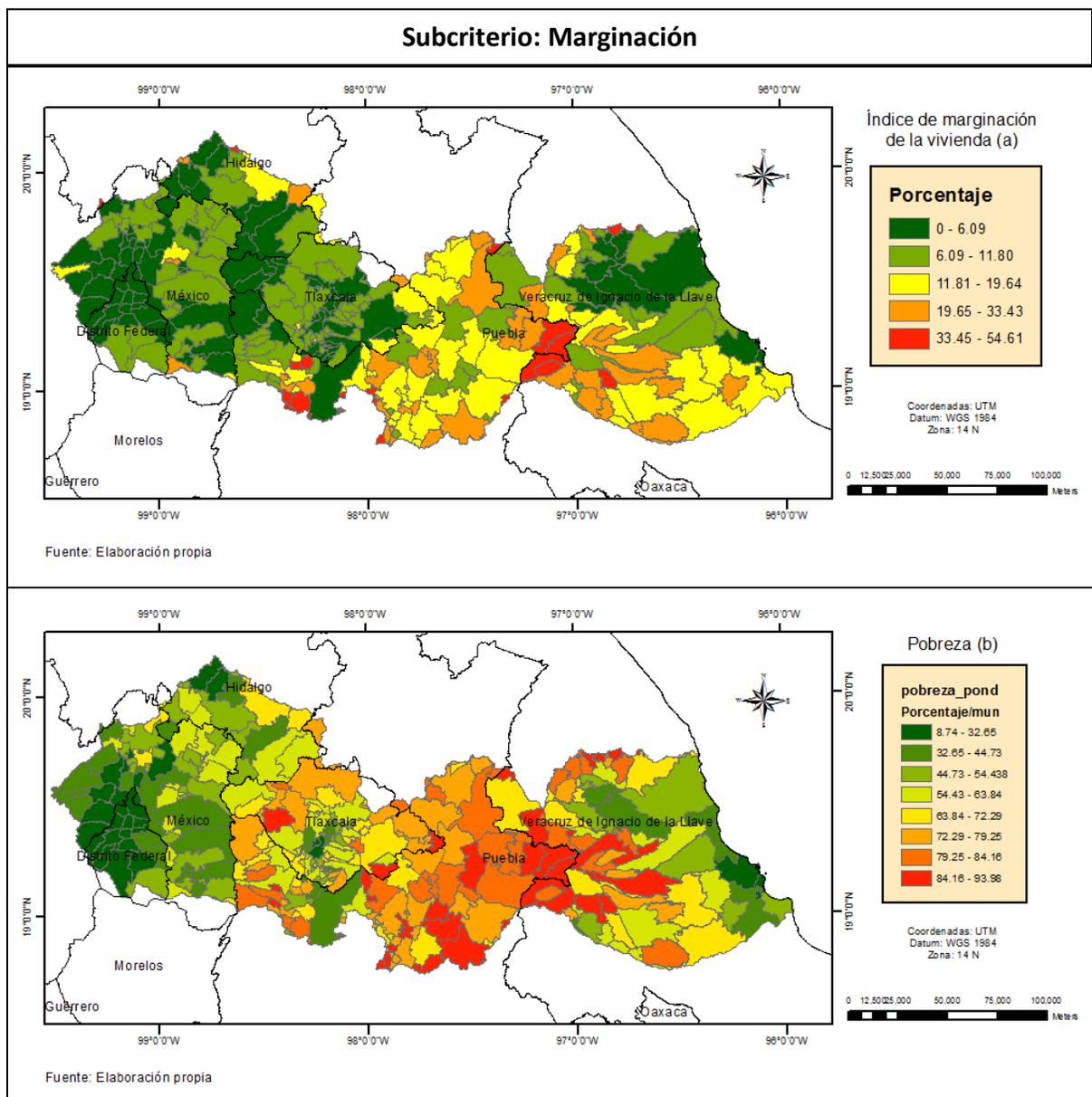


Figura 11. Indicadores del subcriterio de marginación: índice de marginación de la vivienda(a) y Pobreza (b).

Producción agrícola

La producción agrícola está más relacionada con las condiciones climáticas y características de suelo que requiere cada tipo de cultivo. En los municipios de Puebla se ve una importante producción de hortalizas, frutales y cereales (Figura 12a, 12b y 12c). Esto da ventajas en cuanto al acceso de alimentos variados, ingresos derivados de la comercialización en todas las épocas del año, ya que por su extensión Puebla cuenta con distintas características climáticas y de suelo.

Los municipios del Distrito Federal son bajos o nulos productores de los tres grupos agrícolas. Esto se debe a que sus actividades se concentran principalmente en industrializar y comercializar y no en la producción agrícola, a diferencia del Estado de México que presenta una importante producción en cuanto a hortalizas y cereales.

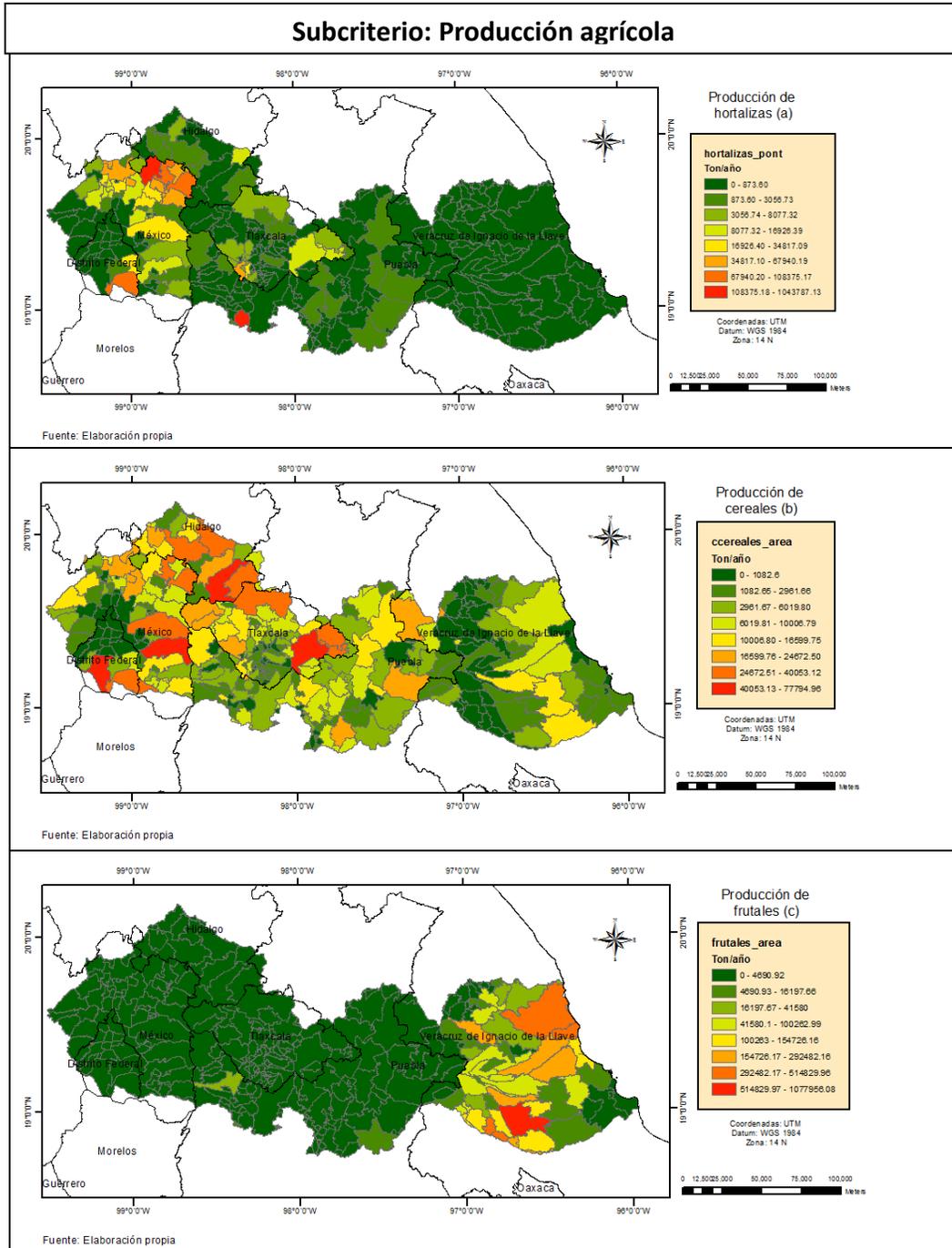


Figura 12. Indicadores del subcriterio de producción agrícola: Producción de hortalizas (a), Producción de cereales (b) y producción de frutales (c).

Equipamiento de las unidades de producción

Algunos gobiernos estatales, como medida de apoyo y mitigación de los efectos de los fenómenos naturales como huracanes o sequías, otorgan equipamiento en las unidades de producción para reactivar la producción y acondicionarlas para retomar sus actividades normales, de algún modo, esto indica que aquellas unidades equipadas tienen mayores posibilidades de reponerse de estos efectos.

Los municipios del estado de Veracruz, son aquellos menos equipados en cuanto a la producción y en contraste con la producción agrícola se observa que son productores promedio de cereales y los principales productores de frutales del país (Figura 12b y 12c). Una modificación en las condiciones óptimas para producir, por tanto provocará un desabasto principalmente de frutales, ya que los productores no están lo suficientemente equipados para absorber algunos de los daños y pérdidas en los que se incurre con este tipo de fenómenos, y los apoyos que otorga el gobierno para atender estas pérdidas nunca subsanarán el daño ocasionado.

Uso de semilla mejorada

El uso de semilla mejorada es de vital importancia para la producción agrícola ya que el mundo entero está sufriendo modificaciones en cuanto a condiciones climáticas, por tanto aquellos cultivos que no se adapten a las nuevas condiciones se podrían perder generando un sin número de consecuencias derivadas de esto.

En la Figura 13b se observa que el estado de Hidalgo es el que mayor uso hace de semilla mejorada. Respecto al desarrollo tecnológico de la entidad, según datos del plan estatal de desarrollo 2005-2011 del gobierno del estado de Hidalgo, 49.5% de la superficie agrícola está mecanizada; 19% se fertiliza; 49% usa semilla mejorada, 12% cuenta con asistencia técnica y un 8% utiliza servicios de sanidad vegetal (Figura 13b).

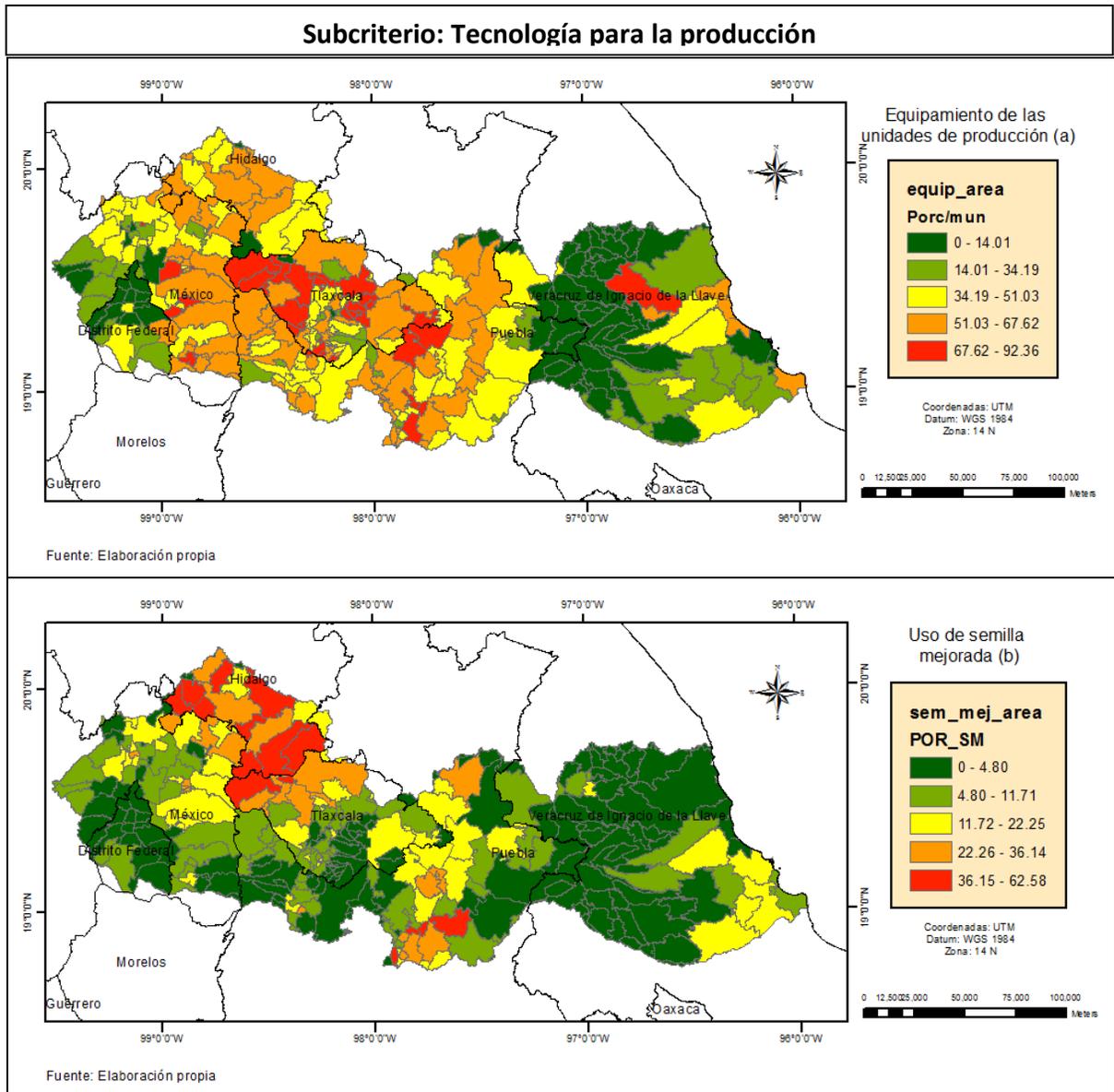


Figura 13. Indicadores del subcriterio de tecnología para la producción: Equipamiento de las unidades de producción (a) y Uso de semilla mejorada (b).

Disponibilidad de agua por acuífero

La disponibilidad de agua por acuífero está relacionada con la densidad de población, los resultados muestran que aquellas regiones altamente pobladas son las que tienen acuíferos sobreexplotados o con disponibilidad en niveles críticos como D.F., México y Puebla (Figura 14a), ya que requieren abastecer a mayor número de pobladores, de industrias y necesidades de producción de alimentos. Debido a esto, se tomó la variable disponibilidad de agua por acuífero como una manera simplificada de considerar la vulnerabilidad hídrica en uno de sus aspectos.

Porcentaje de bosque por microcuenca

La variable porcentaje de bosque por microcuenca da una idea aproximada de la vulnerabilidad de un área en función a su cantidad de bosque. Es decir, aquella área que cuenta con mayor porcentaje de bosques, tiene menos vulnerabilidad ya que esa área tiene mayor potencial de captar agua, absorción de CO₂ y conservación de suelos.

En la Figura 14b se muestra que el Valle de México y Veracruz cuentan con reducidas áreas de bosque, lo que podría estar relacionado con las actividades que se desarrollan en la región que pueden ser de tipo agrícola o la densidad de población y con esto la rápida expansión de la mancha urbana.

Cambios de uso de suelo

La actividad humana es la que más contribuye a la emisión de CO₂ a través del consumo de combustibles fósiles como gasolinas, diésel y gas natural. En segundo lugar, se encuentran las emisiones por cambios de uso de suelo, particularmente por destrucción y degradación de bosques y selvas. Aunque estos cambios de uso contribuyen sólo con la quinta parte de las emisiones totales

anuales de CO₂, son muy importantes por desempeñar un papel clave en la regulación del impacto neto del cambio climático a escalas local y regional.

Así, cuando un área forestal se convierte a otro uso de suelo, no solo genera emisiones de CO₂ a la atmósfera, sino que además modifica la capacidad del entorno para responder a los efectos del cambio climático, aumentando la vulnerabilidad en las poblaciones asentadas en esas regiones, particularmente las más pobres, ya que las variaciones drásticas del clima y fenómenos meteorológicos impactan de manera más fuerte a regiones deforestadas para otros usos (Olguín *et al.*, 2010).

Para tener una aproximación rápida de los cambios que han sufrido algunas áreas y por tanto la propensión de éstas a seguir cambiando, se identificaron 3 categorías principales en esta comparación de series, se le asignó valor 0 a aquellas áreas que cambiaron de bosque a algún otro uso (zonas de pérdida), valor 1 a aquellas áreas que permanecieron estables que no cambiaron su uso (zonas estables), y valor 2 a las zonas que ganaron superficie de bosque (zonas de ganancia).

Debido a que el periodo de tiempo comparado es muy corto, es difícil tener un dato significativo de los cambios de uso de suelo, pero proporciona una idea de las áreas propensas a sufrir cambios de uso y que generan vulnerabilidad, ganancia de bosque que restan vulnerabilidad o aquellas áreas con cierta estabilidad que restan vulnerabilidad.

En la leyenda del mapa se muestran los colores para cada categoría asignada, aquellas áreas pequeñas color verde son las que ganaron de algún otro uso a bosque, y aquellas en rojo aquellas áreas que cambiaron de bosque a otro uso, el resto son zonas estables (Figura14c).

Principalmente las zonas que han tenido pérdidas, por cambio de uso de suelo de bosque a agricultura o uso urbano se encuentran en su mayoría en el estado de Puebla y Veracruz. Lo anterior, quizás se deba al uso intensivo de la agricultura que se hace en estas zonas, lo cual tiene una alta relación con la producción agrícola. Puebla produce tres grupos agrícolas durante todos los ciclos productivos, y Veracruz, es el principal productor de frutales, y un importante productor de algunos cereales.

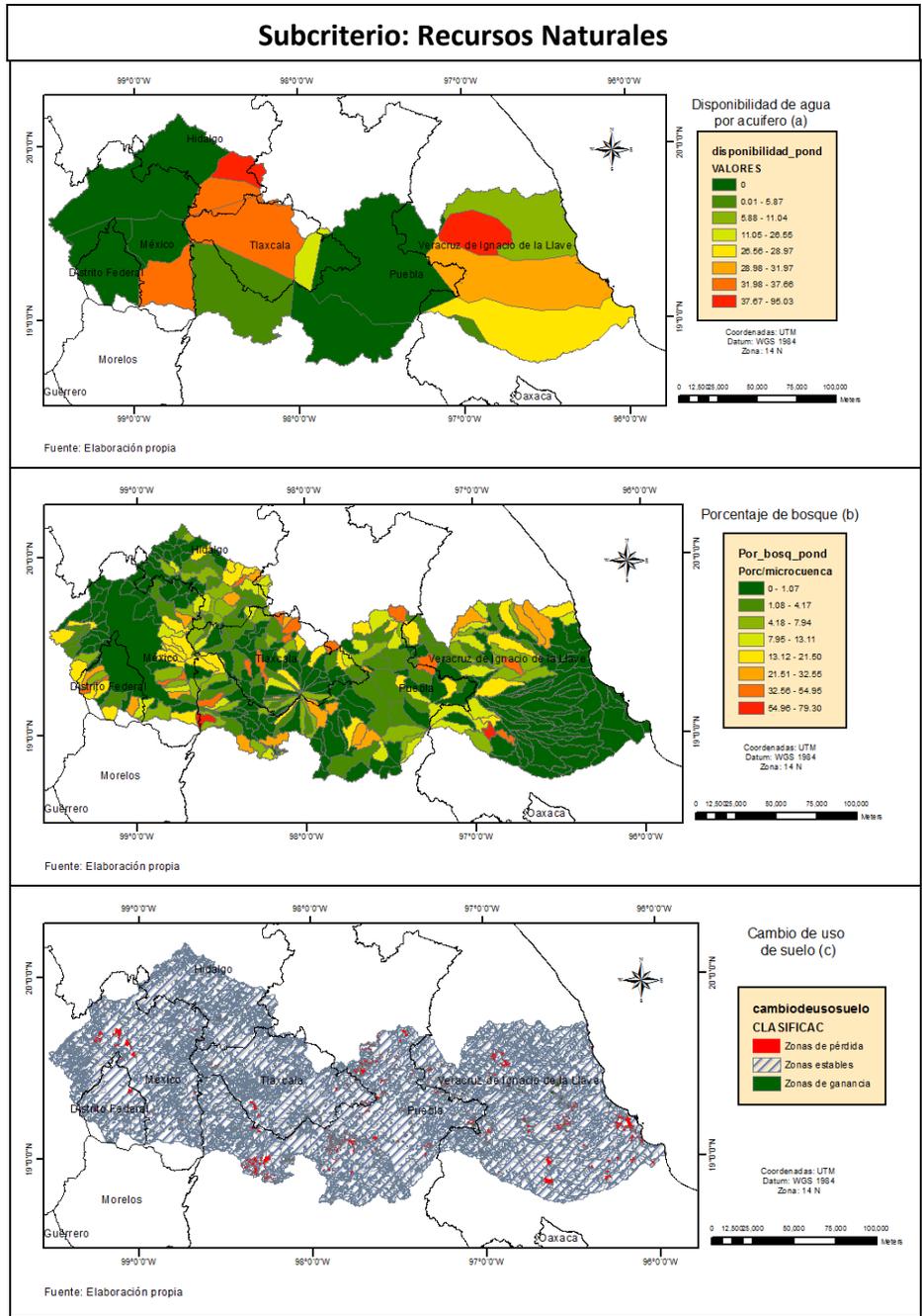


Figura 14. Indicadores del subcriterio de recursos naturales: Disponibilidad de agua por acuífero (a), Porcentaje de bosque (b) y Cambio de uso de suelo (c).

Población derechohabiente a servicios de salud

El CC puede ser una amenaza considerable para la salud pública y modifica la manera en que se debe considerar la protección de las poblaciones vulnerables, debido a la fácil propagación de enfermedades por vectores y el alargamiento de las estaciones por las modificaciones en el clima, así como la ocurrencia de desastres, exponen a la población a problemas de salud que requieren atención.

El mayor porcentaje de personas afiliadas a servicios de salud pública o privada, se encuentra en el estado de Tlaxcala e Hidalgo (Figura 15a), esto debido a que los gobiernos estatales han impulsado el fomento a la salud y equipamiento de las instituciones, para poder dar acceso a mayor número de personas a afiliarse a estos servicios.

Asimismo, en Puebla hay una población importante que no cuenta con servicios de salud. CONEVAL (en su informe 2010) menciona que en Puebla hay más de 1.2 millones de personas consideradas vulnerables por sus condiciones sociales al carecer de acceso a servicios como salud y seguridad social.

Esperanza de vida al nacer

En el Distrito Federal y Estado de México se observan los índices más altos de esperanza de vida (Figura 15b), entidades que cuentan con niveles de desarrollo mayores que el resto del área. En el caso de Veracruz, aunque se dedican a la producción, pesca e industria manufacturera, su nivel de desarrollo se encuentra muy por debajo de los anteriores, esto se puede observar en sus índices de marginación presentados en el mapa 11a, aunado a la frecuencia en la ocurrencia de desastres que disminuyen el promedio de vida de los habitantes en general.

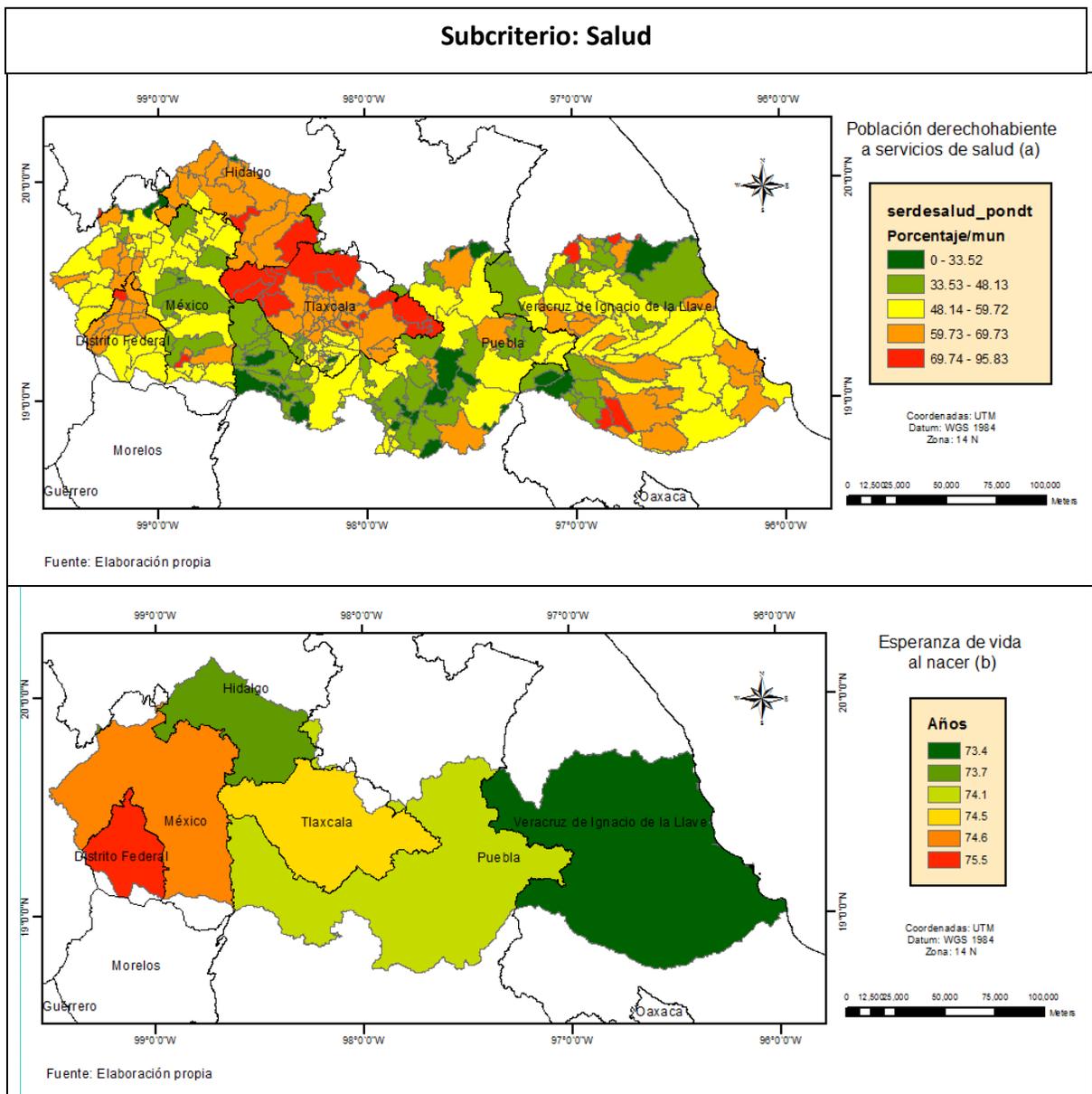


Figura 15. Indicadores del subcriterio de salud

Grado promedio de escolaridad

La variable grado promedio de escolaridad tiene una relación con el índice de pobreza y de marginación que presenta la región, por las dificultades de acceso a la educación así como la necesidad de aportar ingresos al hogar desde edades tempranas lo que limita las posibilidades, no en vano las regiones con altos índices de pobreza y marginación de la vivienda coinciden con las regiones con bajos niveles de escolaridad como es el caso de Veracruz y Puebla (Figura 16), comparativamente con el Distrito Federal y Estado de México que cuentan con las cifras mayores de escolaridad dentro del área de estudio.

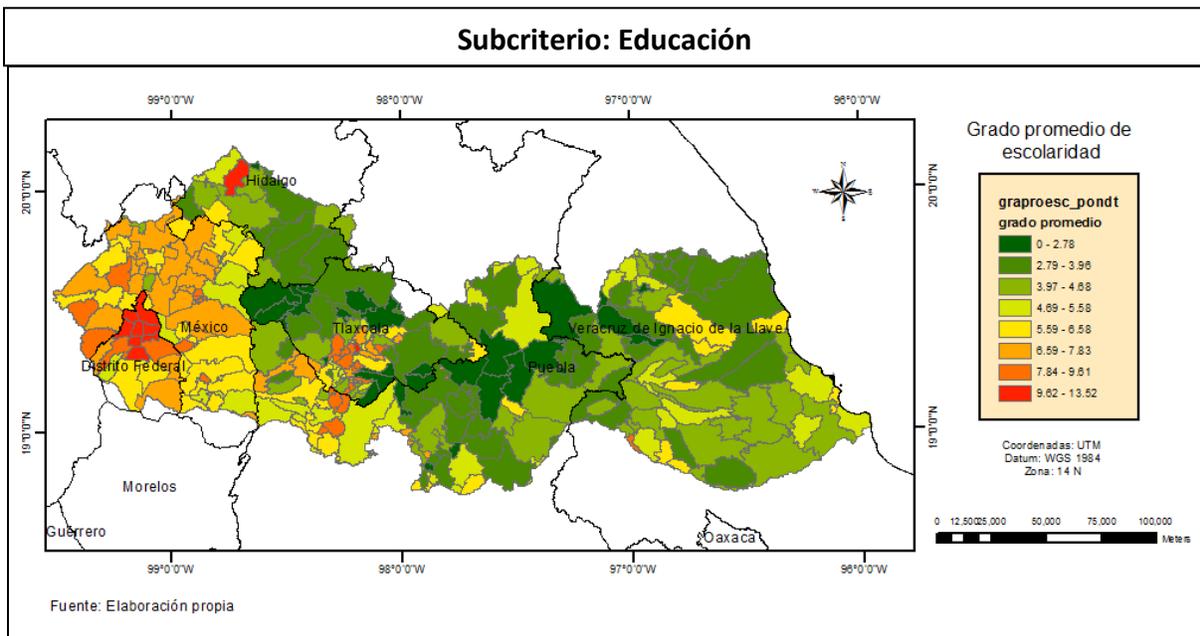


Figura 16. Indicador del subcriterio de educación: Grado promedio de escolaridad.

Crecimiento del PIB

El estado que tuvo mayor incremento del PIB en promedio de diez años fue el estado de Veracruz (Figura 17), este crecimiento se explica ya que este estado es un productor agrícola importante y se encuentra en los primeros lugares de producción de azúcar, hule, arroz, piña y chayote (INEGI, 2010) lo que repercute en los ingresos generados.

A pesar de que las economías del Distrito Federal y Estado de México, en términos nominales a nivel nacional, son las que presentan el mayor aporte al PIB nacional (INEGI, 2010), el incremento anual que registra el Distrito Federal desde 2003 hasta 2010, es de los más bajos junto con Puebla en comparación con el resto de las economías de esta área de estudio.

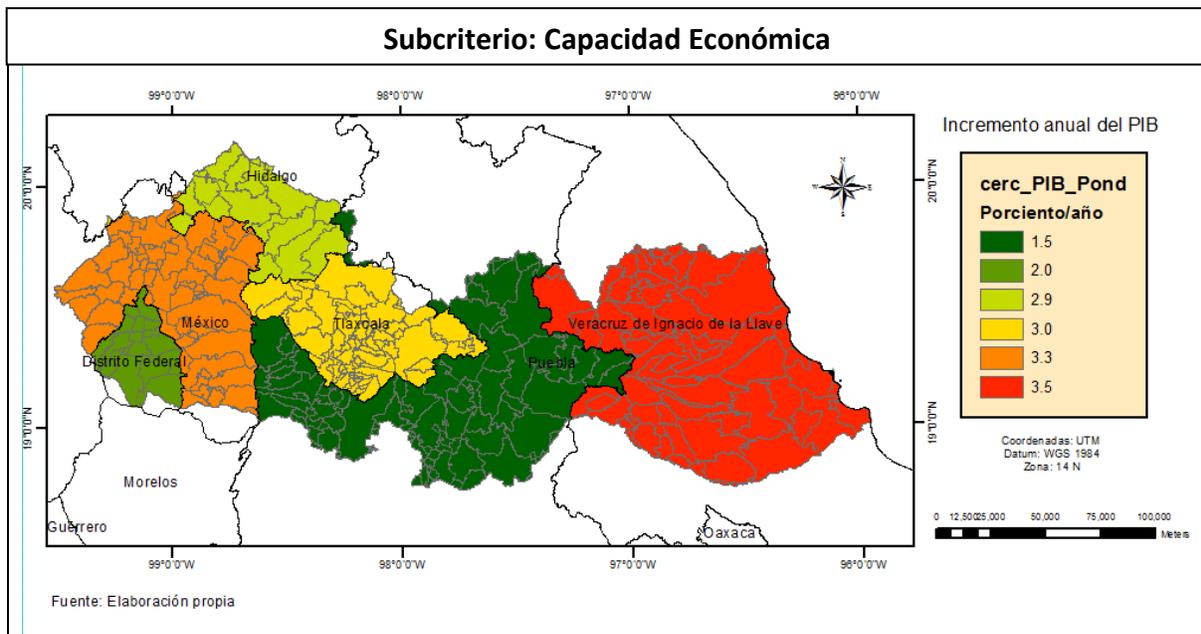


Figura 17. Indicador del subcriterio de capacidad económica: Incremento anual del PIB.

5.1. Generación de mapas raster

Los resultados indican que la mayoría de las variables presentan una distribución similar a la representada en los mapas en formato shape (polígonos en este caso). Sin embargo, con la normalización y análisis en formato raster, las áreas críticas que describen cada variable se representaron con mayor claridad. Una vez normalizados y obtenidos los ponderadores (Cuadro 5) se representaron en forma espacial.

Los valores de ponderación que se muestran en el Cuadro 5 corresponden a los resultados obtenidos por las encuestas aplicadas a expertos, en la columna “matriz de prioridades” se muestra el porcentaje de la variable en función al criterio correspondiente y el ponderador proporcional es el valor en función al total de las variables evaluadas y el valor por el que se multiplicó el valor normalizado de la variable.

Cuadro 5. Valores de ponderación para las variables

Crterios	Ponderación	Subcriterios	Matriz de prioridades	Ponderador proporcional	Indicadores	Matriz de prioridades	Ponderador proporcional	
VARIACIÓN CLIMÁTICA	5.72	Clima	100	5.72	Anomalías en los regímenes de lluvias	50	2.86	
					Declaratorias de desastre por municipio	50	2.86	
SENSIBILIDAD	78.56	Población	31.96	25.10	Densidad de población	70	17.58	
					Razón de dependencia	30	7.53	
		Degradación ambiental	46.39	36.45	Degradación del suelo	50	18.22	
					Partículas suspendidas de 10 micrómetros de diámetro	50	18.22	
		Marginación	21.65	17.00	Índice de marginación de la vivienda	50	8.50	
					Índice de Pobreza	50	8.50	
CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN	15.71	Producción agrícola	25.67	4.033	Producción de cereales	33.33	1.34	
					Producción de hortalizas	33.33	1.34	
					Producción de frutales	33.33	1.34	
		Tecnología para la producción	15.45	2.43	Equipamiento de las unidades de producción	78.12	1.89	
					Uso de semilla mejorada	21.88	0.53	
		Recursos Naturales	13.18	2.07	Disponibilidad de agua por acuífero	48.71	1.00	
					Superficie de bosque o uso de tipo forestal	43.56	0.90	
					Cambio de uso de suelo	7.72	0.15	
		Salud	5.92	0.93	Población derechohabiente a servicios de salud	50	0.46	
					Esperanza de vida al nacer	50	0.46	
		Educación	11.80	1.85	Promedio de escolaridad	100	1.85	
		Capacidad económica	27.99	4.40	Crecimiento del PIB en la última década	100	4.40	
		100				100		100

Los valores de ponderación van de 0 a 100 y muestran la importancia porcentual que tiene determinada variable frente a la vulnerabilidad, según los expertos.

Los valores de consistencia para las respuestas obtenidas en las encuestas se muestran en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Resultados de la relación de consistencia para cada criterio y subcriterio

Matriz	Relación de Consistencia
Vulnerabilidad al cambio climático	0.433
Sensibilidad	0.106
Capacidad de adaptación	0.300
Clima	0
Población	0
Degradación ambiental	0
Marginación	0
Producción agrícola	0
Tecnología para la producción	0.0004
Recursos naturales	0.005
Salud	0

En los casos de las matrices de Vulnerabilidad al Cambio Climático, Sensibilidad y Capacidad de Adaptación, Saaty (1988) recomienda replantear las preguntas y aplicar nuevamente la encuesta para ajustar los valores de consistencia de tal manera que queden menores a 0.1 en las respuestas y éstas sean más confiables. Sin embargo, en este caso no es raro una relación de consistencia alta, debido al número de encuestas aplicadas (12 de la cuales solo fueron respondidas correctamente 9 que son las que se sistematizaron).

Es de esperarse que con una muestra más alta se mejore el Índice de Consistencia y el tipo de planteamiento en forma de matrices en principio genera controversia, sobre todo en temas tan actuales y con tanta diversidad de criterios como es el caso del CC y más aún cuando se trata de evaluar la vulnerabilidad en todos sus aspectos.

Estos resultados (Cuadro 6) pueden mejorarse replanteando la encuesta en alguna estructura que resulte fácil de realizar la comparación pareada de las matrices en cuestión, y ampliando el número de muestra.

En el caso de aquellas matrices con relación de consistencia menor a 0.1 son aceptables las respuestas y se puede confiar en los datos obtenidos, (Saaty, 1988).

5.2. Análisis de mapas por subcriterios e índice agregado de vulnerabilidad

Para la obtención del índice de vulnerabilidad delimitado por microcuencas, se obtuvo calculando el promedio de los valores contenidos en una microcuenca por la variable normalizada, y sumando los mapas promediados por subcriterios y posteriormente por criterios para obtener el índice agregado de vulnerabilidad (Figura 18). Este procedimiento se repitió para las variables ponderadas (Figura 19).

Clima

El criterio clima considera dos indicadores: Anomalías en los regímenes de lluvia y declaratorias de desastre por municipio. La vulnerabilidad para este criterio en ambos mapas (ponderado y sin ponderar) (Figura 18a y 19a) se concentra principalmente en la microcuencas del Estado de México con la mayor intensidad, seguida de un gradiente que va de Puebla hacia Veracruz con distinta intensidad

de vulnerabilidad para estas microcuencas. El indicador que está generando esta distribución en mayor medida es el de anomalías en los regímenes de lluvia, porque a pesar de que Puebla y Veracruz presentan alta ocurrencia de desastres, los cambios en los regímenes de lluvias han sido importantes y se imponen sobre el de desastres.

Los municipios más vulnerables bajo este subcriterio son una mayoría importante de los del Estado de México; y Alvarado, Calcahualco, Perote y Xalapa en el estado de Veracruz; y Acajete en el estado de Puebla.

Sensibilidad

El criterio de sensibilidad (Figura 18b y 19b) considera los subcriterios de población, degradación ambiental y marginación.

En el mapa sin ponderar, se observa un número importante de microcuencas altamente vulnerables con respecto a este criterio de sensibilidad, observando los mapas que componen éste, aquellos que están contribuyendo de manera importante a esta distribución es principalmente el de marginación que presenta una alta vulnerabilidad para la mayoría de las microcuencas del estado de Puebla y algunas de Veracruz y Tlaxcala, los mapas de población y degradación ambiental tienen influencia menos importante en el resultado final de sensibilidad.

Para el mapa ponderado (Figura 19b), los expertos le dieron el mayor peso a sensibilidad con respecto a los otros criterios, en una escala de 0-100, sensibilidad tiene un peso de 78.56%, sin embargo, la vulnerabilidad respecto a este criterio se distribuye de manera más uniforme en toda el área de estudio, sin diferencias tan contrastantes, a excepción de algunas microcuencas del Valle de México y Veracruz, y se atribuye estos resultados a los subcriterios de población y marginación principalmente y en menor medida degradación ambiental, se observa también que aquellas áreas más pobladas así como las marginadas son las más vulnerables respecto a este criterio.

Capacidad de adaptación

Respecto a la capacidad de adaptación, los subcriterios considerados son producción agrícola, tecnología para la producción, recursos naturales, salud, educación y capacidad económica.

En la Figura 18c se observa que la distribución toma un gradiente del centro hacia el Golfo de México. Principalmente las microcuencas que se encuentran dentro del estado de Puebla y Veracruz son altamente vulnerables frente a este criterio, se atribuye principalmente en el caso de Veracruz, al criterio salud, debido a que la población constantemente está expuesta a desastres naturales la esperanza de vida para los pobladores de esa entidad es la menor respecto al resto de los estados considerados en el área de estudio, y aunque hay cifras altas en cuanto a población derechohabiente a servicios de salud, la primera impone sobre la segunda.

Otro criterio que contribuye de manera importante es la tecnología para la producción; aunque el estado de Veracruz es altamente productivo en cuanto a producción de frutales y cereales, no cuenta con las condiciones necesarias para afrontar cambios en las condiciones tanto climáticas como físicas en la producción por lo que algún desastre desestabiliza en gran medida el abasto y genera esta vulnerabilidad.

En el caso de las microcuencas que se encuentran dentro del estado de Puebla el crecimiento anual del PIB y producción agrícola son los dos subcriterios que contribuyen en mayor medida a la distribución de la vulnerabilidad respecto al criterio de capacidad de adaptación que presenta variables que disminuyen vulnerabilidad y de algún modo es el que equilibra las condiciones presentadas por el anterior que es sensibilidad, quien presenta variables que contribuyen a la vulnerabilidad.

El criterio siguiente es el de recursos naturales, como se observa en el mapa de disponibilidad de agua por acuífero en la Figura 14a, Puebla cuenta con acuíferos sobre explotados (con disponibilidad de agua nula), así como un número

importante de microcuencas con porcentaje de bosque bajo, así como cambios de uso de suelo en un periodo de tiempo muy corto. Esto puede probablemente atribuirse al alto grado de marginación con que cuenta el estado lo que incide en los recursos naturales y en la capacidad económica de la región que esta medida por el crecimiento del PIB, y la urbanización acelerada.

El mapa ponderado (Figura 19c) para la capacidad de adaptación, los expertos le asignaron un peso de 15.71% respecto a los otros criterios y éste hace que la vulnerabilidad se concentre principalmente en el estado de Puebla y se reduce de manera importante la vulnerabilidad para Veracruz. Esto habla de que aquellas variables que hacen más vulnerable a Veracruz como son esperanza de vida y tecnología para la producción en el mapa sin ponderar Figura 18c, no tienen un peso tan importante como crecimiento del PIB, variable a la que se le asignó el peso mayor respecto a los otros indicadores con un valor de 4.4 de ese 15.71% total asignado a capacidad de adaptación.

Índice agregado de vulnerabilidad

El índice final de vulnerabilidad al cambio climático arrojó resultados interesantes, como se observa en la Figura 18d las microcuencas en la categoría de vulnerabilidad muy alta son aquellas que se encuentran en el estado de Puebla y Veracruz, seguidas de la más grande que es la del Valle de México. Esta tendencia obedece principalmente a la influencia de los subcriterios de marginación, tecnología para la producción, recursos naturales y capacidad económica, que influyen en mayor medida en el índice de vulnerabilidad.

Respecto al PIB, es claro que contribuye de manera importante a los resultados finales del índice agregado, solo para el estado de Puebla que es en su totalidad el más vulnerable del área recibiendo una gran influencia de este indicador (PIB).

Aunque el criterio clima presenta al Valle de México, y la parte superior de Puebla así como algunas microcuencas de Veracruz como altamente vulnerables, no influyen de manera importante al índice agregado de vulnerabilidad contribuyendo otros indicadores de manera más importante para el resultado final.

En el mapa de vulnerabilidad al cambio climático ponderado (Figura 19d), los resultados son distintos en comparación al índice sin ponderar (Figura 18d), considerando que los expertos dieron los pesos siguientes a cada uno de los criterios: 5.72% a variación climática, 78.56% a sensibilidad y 15.71% a capacidad de Adaptación.

Estos pesos permiten distribuir la vulnerabilidad de acuerdo a la percepción de un grupo de expertos. Si bien es cierto que Puebla presenta un grado de vulnerabilidad al CC, este estado no se encuentra en su totalidad como altamente vulnerable, por el contrario la mayoría de las microcuencas contenidas están en la categoría de vulnerabilidad media y solo algunas de éstas dentro de la categoría de vulnerabilidad alta y muy alta.

Los subcriterios que están incrementando la vulnerabilidad en algunas áreas son aquellos a los que se les asignó el mayor peso como es el caso de población, degradación ambiental y marginación. Para el caso de la microcuenca del Valle de México, la vulnerabilidad se concentra principalmente solo para esa área en los límites máximos que es el mismo caso que para degradación ambiental, sin embargo, marginación no presenta alta vulnerabilidad para esta microcuenca pero si para el área de Puebla y Veracruz y contribuye a la tendencia del índice agregado de vulnerabilidad (Figura 19d).

Por tanto, el criterio que tiene mayor influencia en la distribución del índice agregado de vulnerabilidad es el de sensibilidad debido al peso que le asignaron los expertos, y esto permite afirmar que aquellas variables que hacían más vulnerables a algunas áreas en el mapa sin ponderar son aquellas que se encuentran en capacidad de adaptación para las cuales el estado de Puebla presenta alta vulnerabilidad. Para el caso del mapa ponderado, las variables con valores bajos de vulnerabilidad son las que tuvieron el mayor peso por tanto, se distribuye de manera más uniforme la vulnerabilidad dentro del área de estudio.

Los subcriterios como educación que es importante para determinar que tanto la población está informada respecto al CC, así como el subcriterio salud que

también es un factor importante para determinar la fragilidad de la población ante disturbios. Ambas variables al final contribuyen poco al índice de vulnerabilidad tanto en el mapa sin ponderar como en el ponderado aunado a que los expertos asignaron pesos bajos a estas variables.

Mapas de vulnerabilidad por criterios sin ponderar

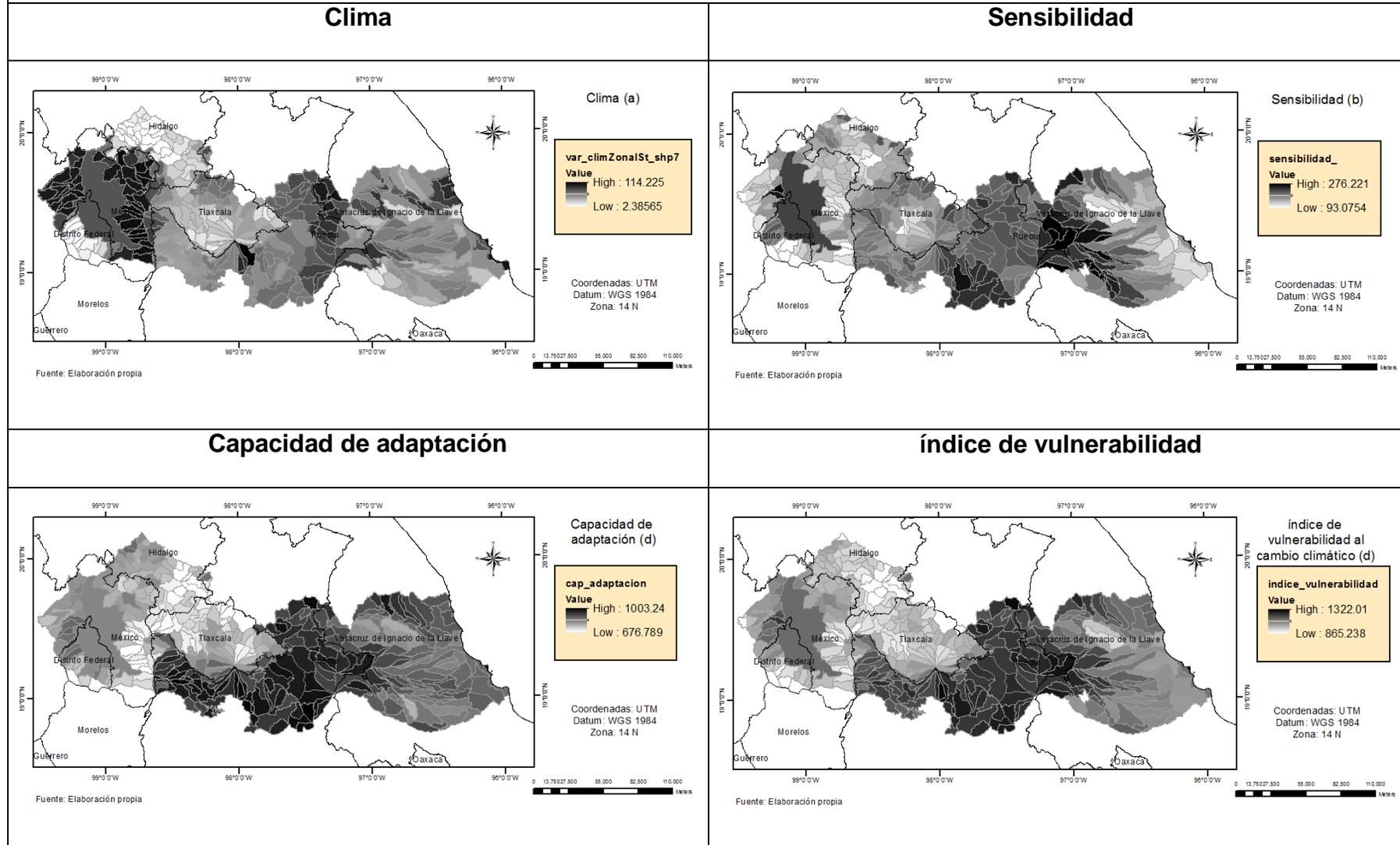
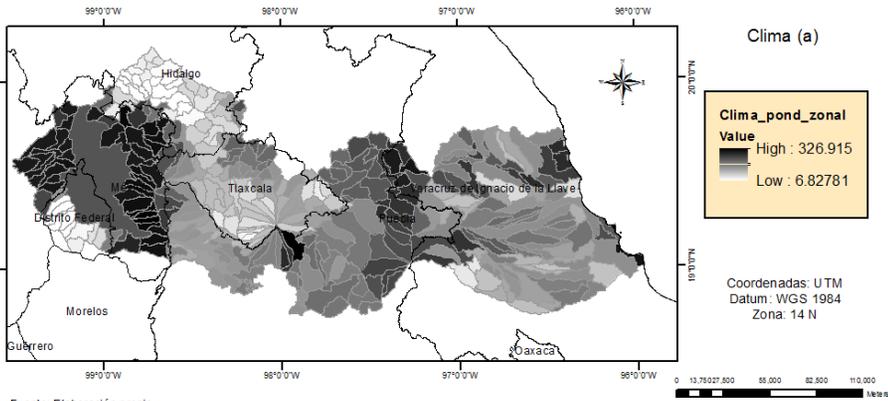


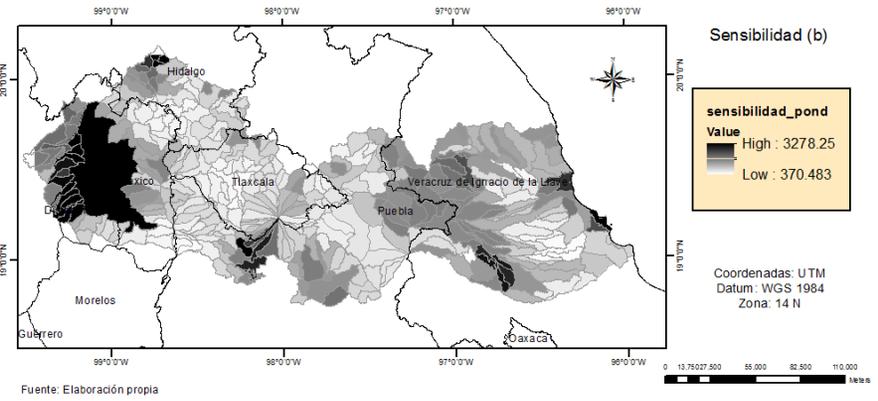
Figura 18. Resultados por criterios e índice de vulnerabilidad sin ponderar: Clima (a), Sensibilidad (b), Capacidad de adaptación (c) e índice de vulnerabilidad (d).

Mapas de vulnerabilidad ponderados

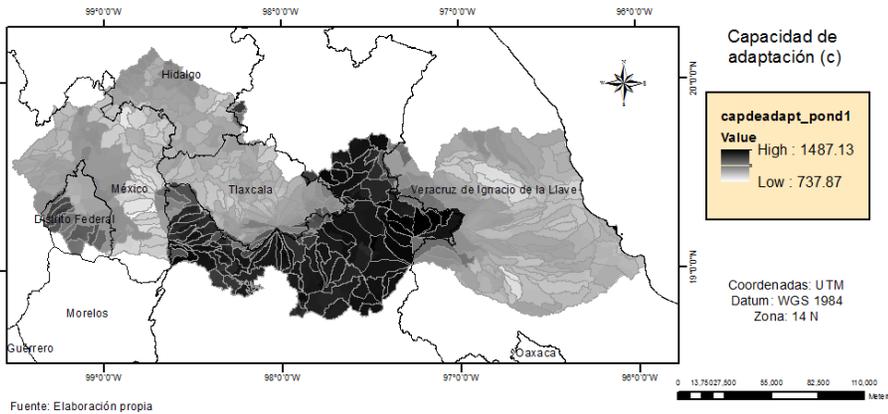
Clima



Sensibilidad



Capacidad de adaptación



Índice de vulnerabilidad

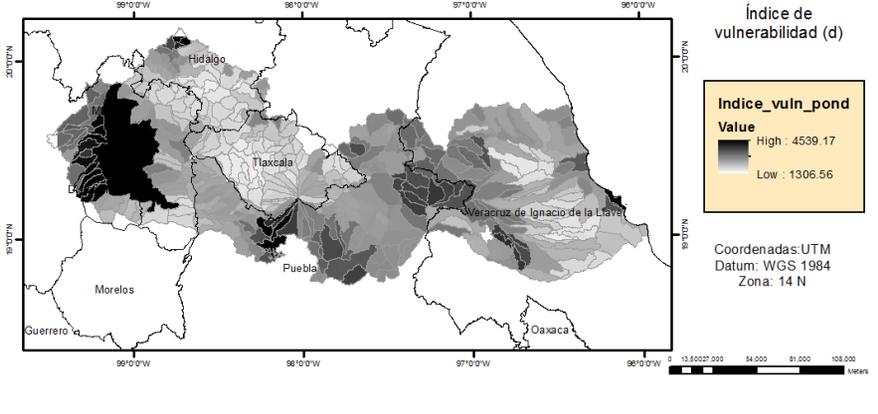


Figura 19. Resultados por criterios e índice de vulnerabilidad ponderado: Clima (a), Sensibilidad (b), Capacidad de adaptación (c) e Índice de vulnerabilidad (d).

En el Cuadro 7 se muestran las microcuencas en la categoría de alta vulnerabilidad en el escenario sin ponderar, las microcuencas ubicadas dentro del estado de Puebla en su totalidad entran dentro de esta categoría así como un gran número de microcuencas del estado de Veracruz.

Cuadro 7. Microcuencas en la categoría de alta vulnerabilidad bajo el escenario sin ponderar según MIV.

Región hidrológica	Cuenca	Subcuenca	Estado	Municipio	Microcuenca
Pánuco	Río Moctezuma	Pachuca - Cd. De México	México	Atizapán De Zaragoza (Mex)	Presa Las Ruinas
Pánuco	Río Moctezuma	Pachuca - Cd. De México	México	Cuautitlán Izcalli (Méx)	Buenavista
Pánuco	Río Moctezuma	Pachuca - Cd. De México	México	Huehuetoca (Méx)	Salitrillo
			Puebla	Toda el área de estudio	
Papaloapan	Río Jamapa y otros	Atoyac	Veracruz	Alpatlahuac (Ver)	Coscomatepec De Bravo
Papaloapan	Río Jamapa Y Otros	Acatlán	Veracruz	Alto Lucero (Ver)	Blanca Espuma
Balsas	Río Atoyac-A	Huamantla - San Diego Tepexmelucan	Veracruz	Ayahualulco (Ver)	Los Altos
Papaloapan	Río Jamapa y otros	Pescados	Veracruz	Ayahualulco (Ver)	Ixhuacan De Los Reyes
Papaloapan	Río Jamapa y otros	Xicuintla - Jamapa	Veracruz	Calchualco (Ver)	Ixhuatlan Del Cafe
Papaloapan	Río Jamapa y otros	Acatlan	Veracruz	Coacoatzintla (Ver)	Coacoatzintla
Papaloapan	Río Jamapa y otros	Xicuintla - Jamapa	Veracruz	Comapa (Ver)	Boca Del Monte
Papaloapan	Río Jamapa y otros	Jalapa	Veracruz	Cosautlan De Carvajal (Ver)	Teocelo
Papaloapan	Río Jamapa y otros	Jalapa	Veracruz	Cosautlan De Carvajal (Ver)	Tlaltetela (Pinillos)
Papaloapan	Río Jamapa y otros	Atoyac	Veracruz	Coscomatepec (Ver)	Xocotla
Papaloapan	Río Jamapa y otros	Xicuintla - Jamapa	Veracruz	Huatusco (Ver)	Chavaxtla
Papaloapan	Río Jamapa y otros	Xicuintla - Jamapa	Veracruz	Huatusco (Ver)	Huatusco De Chicuellar
Papaloapan	Río Jamapa y otros	Xicuintla - Jamapa	Veracruz	Ixhuatlan Del Cafe (Ver)	Ixcatla
Papaloapan	Río Jamapa y otros	Acatlán	Veracruz	Las Vigas De Ramirez (Ver)	Las Vigas De Ramirez
Papaloapan	Río Jamapa y otros	Acatlán	Veracruz	Naolinco (Ver)	Naolinco De Victoria
Balsas	Río Atoyac-A	Huamantla - San Diego Tepexmelucan	Veracruz	Perote (Ver)	Loma Larga
Balsas	Río Atoyac-A	Huamantla - San Diego Tepexmelucan	Veracruz	Perote (Ver)	El Frijol Colorado
Balsas	Río Atoyac-A	Huamantla - San Diego Tepexmelucan	Veracruz	Perote (Ver)	La Chingada

Continuación Cuadro 7.

Región hidrológica	Cuenca	Subcuenca	Estado	Municipio	Microcuenca
Papaloapan	Río Jamapa y otros	Atoyac	Veracruz	Tepatlatxco (Ver)	La Palma
Papaloapan	Río Jamapa y otros	Acatlán	Veracruz	Coacoatzintla (Ver)	Coacoatzintla
Papaloapan	Río Jamapa y otros	Xicuintla - Jamapa	Veracruz	Comapa (Ver)	Boca Del Monte
Papaloapan	Río Jamapa y otros	Jalapa	Veracruz	Cosautlan De Carvajal (Ver)	Teocelo
Papaloapan	Río Jamapa y otros	Jalapa	Veracruz	Cosautlan De Carvajal (Ver)	Tlaltetela (Pinillos)
Papaloapan	Río Jamapa y otros	Atoyac	Veracruz	Coscomatepec (Ver)	Xocotla
Papaloapan	Río Jamapa y otros	Xicuintla - Jamapa	Veracruz	Huatusco (Ver)	Chavaxtla
Papaloapan	Río Jamapa y otros	Xicuintla - Jamapa	Veracruz	Huatusco (Ver)	Huatusco De Chicuellar
Papaloapan	Río Jamapa y otros	Xicuintla - Jamapa	Veracruz	Ixhualtan Del Cafe (Ver)	Ixcatla
Papaloapan	Río Jamapa y otros	Acatlán	Veracruz	Las Vigas De Ramirez (Ver)	Las Vigas De Ramirez
Papaloapan	Río Jamapa y otros	Acatlán	Veracruz	Naolinco (Ver)	Naolinco De Victoria
Balsas	Río Atoyac-A	Huamantla - San Diego Tepexmelucan	Veracruz	Perote (Ver)	Loma Larga
Balsas	Río Atoyac-A	Huamantla - San Diego Tepexmelucan	Veracruz	Perote (Ver)	El Frijol Colorado
Balsas	Río Atoyac-A	Huamantla - San Diego Tepexmelucan	Veracruz	Perote (Ver)	La Chingada
Balsas	Río Atoyac-A	Huamantla - San Diego Tepexmelucan	Veracruz	Perote (Ver)	La Gloria
Papaloapan	Río Jamapa y otros	Atoyac	Veracruz	Tepatlatxco (Ver)	La Palma

En el Cuadro 8 se muestran las microcuencas en la categoría de alta vulnerabilidad para el escenario ponderado, para este escenario las microcuencas del Estado de México y Distrito Federal son las predominantes, reduciéndose de manera importante el número de microcuencas dentro de esta categoría en comparación con el escenario sin ponderar.

Cuadro 8. Microcuencas en la categoría de alta vulnerabilidad bajo el escenario ponderado según MIV.

Región hidrológica	Cuenca	Subcuenca	Estado	Municipio	Microcuenca
Pánuco	Río Moctezuma	Pachuca - Cd. De México	Distrito Federal	Álvaro Obregón (D-F)	La Venta
Pánuco	Río Moctezuma	Pachuca - Cd. De México	Distrito Federal	Álvaro Obregón (D-F)	La Magdalena Contreras
Pánuco	Río Moctezuma	Pachuca - Cd. De México	México	Atizapán De Zaragoza (Mex)	Presa Las Ruinas
Pánuco	Río Moctezuma	Pachuca - Cd. De México	México	Cuautitlán Izcalli (Mex)	Cuautitlan Izcalli
Pánuco	Río Moctezuma	Pachuca - Cd. De México	México	Cuautitlán Izcalli (Mex)	Buenavista
Pánuco	Río Moctezuma	Pachuca - Cd. De México	México	Ecatepec (Mex)	Valle De México
Pánuco	Río Moctezuma	Pachuca - Cd. De México	Distrito Federal	La Magdalena Contreras (D-F)	Tlalpan
Pánuco	Río Moctezuma	Pachuca - Cd. De México	Distrito Federal	La Magdalena Contreras (D-F)	El Gavillero
Pánuco	Río Moctezuma	Pachuca - Cd. De México	Hidalgo	Mineral De La Reforma (Hgo)	Pachuca
Pánuco	Río Moctezuma	Pachuca - Cd. De México	México	Naucalpan (Mex)	Ciudad López Mateos
Pánuco	Río Moctezuma	Pachuca - Cd. De México	México	Naucalpan (Mex)	Magdalena Chichicarpa
Pánuco	Río Moctezuma	Pachuca - Cd. De México	Hidalgo	Pachuca De Soto (Hgo)	Pachuca De Soto
Pánuco	Río Moctezuma	Pachuca - Cd. De México	Hidalgo	Pachuca De Soto (Hgo)	Fraccionamiento La Reforma
Balsas	Río Atoyac-A	Chapulco	Puebla	Puebla (Pue)	Santa María Xonacatepec
Balsas	Río Atoyac-A	Panzacola	Puebla	Puebla (Pue)	Heroica Puebla De Zaragoza
Balsas	Río Atoyac-A	Chapulco	Puebla	Puebla (Pue)	Manuel Ávila Camacho (Valsequillo)
Balsas	Río Atoyac-A	Chapulco	Puebla	Puebla (Pue)	El Oasis Valsequillo
Pánuco	Río Moctezuma	Pachuca - Cd. De México	Distrito Federal	Tlalpan (D-F)	Colonia Heroes De 1910
Papaloapan	Río Jamapa Y Otros	San Francisco	Veracruz	Veracruz (Ver)	Veracruz

En comparación con los resultados obtenidos por Ibararán *et al.* (2010) donde se aplicó este modelo para la República Mexicana con variables similares y haciendo comparaciones entre estados, el Distrito Federal, a pesar de su alta tasa de recursos humanos y su capacidad económica Figura como una de las regiones más vulnerables en comparación con el resto, lo que coincide con parte de los resultados obtenidos en esta investigación en el índice agregado sin ponderar en donde la microcuenca del Valle de México resulta de las más vulnerables a pesar

de tener infraestructura para la provisión de servicios de salud, educación y capacidad económica.

5.3. Justificación del modelo

Debido a la complejidad de los fenómenos del CC, es difícil realizar una validación del modelo a través de un proceso de experimentación donde se reproduzcan cambios en las condiciones ambientales y comprobar si los resultados de este estudio coinciden con la realidad. Esta forma de confrontar los resultados predichos y los reales se puede realizar bajo otras condiciones experimentales; sin embargo, es importante señalar que el modelo empleado en este trabajo, genera escenarios, los cuales pueden acercarse a la realidad en función de la relación directa de las variables usadas con la vulnerabilidad.

Para el desarrollo del MIV se emplearon variables relacionadas con vulnerabilidad al CC, de acuerdo a la literatura y consulta con algunos investigadores, bajo el supuesto de que generan o reducen vulnerabilidad, de acuerdo a la relación directa que tienen éstas. Por tanto, se asume que los escenarios generados se acercan a la realidad y también pueden modificarse de acuerdo a la percepción de los expertos consultados.

La aplicación de este modelo MIV permitió relacionar un conjunto de microcuencas de acuerdo a su grado de vulnerabilidad e identificar aquellos sectores que hacen vulnerable a una región considerando sus condiciones socioeconómicas y ambientales. Brenkert y Malone (2005) hicieron una comparación de vulnerabilidad entre estados para India utilizando un modelo similar llamado Prototipo de Indicador de Vulnerabilidad y Resiliencia y el resultado final fue la identificación de aquellos estados más vulnerables y las condiciones que contribuían a esta condición.

Este modelo fue probado por Ibararán *et al.*, (2009) para la República Mexicana y en comparación con el modelo de Brenkert and Malone (2005), los autores sustituyeron la variable porcentaje de tierra de riego por el porcentaje de tierra

bajo manejo, arrojando resultados satisfactorios. Asimismo, se ha comprobado que después de varias corridas y generación de escenarios los resultados que produce este modelo son consistentes (Ibarrarán *et al.*, 2008).

Para esta investigación fueron sustituidas y agregadas algunas variables del modelo original, por ejemplo anomalías en los regímenes de lluvia, en lugar de precipitación, y fue agregada frecuencia en la ocurrencia de desastres por la disponibilidad de la información y sus características relacionadas con las condiciones climáticas de la región, por mencionar algunas. Sin embargo, al igual que los autores mencionados, las variables se normalizaron y se les definió su relación (positiva/negativa) con respecto a vulnerabilidad. Por tanto, de acuerdo a las experiencias mencionadas, se asume que el modelo genera escenarios cercanos a la realidad, los cuales deben tomarse como información preliminar y complementarse con información adicional que tengan los tomadores de decisiones (Ibarrarán *et al.*, 2008).

5.4. Implicaciones y limitaciones del modelo

La representatividad de las variables en todos los modelos puede ser cuestionada. Por ejemplo, la variable cambio de uso de suelo puede no ser lo suficientemente explícita para determinar las características históricas del uso del suelo como pueden ser conflictos de uso. Pero por otra parte, por experiencia se sabe que el uso del suelo actual es el resultado de varios factores relacionados con esto y por tanto es una variable adecuada para fines de este estudio.

Aunque una variable no puede representar perfectamente una categoría dentro de la estructura del modelo, la utilización de dicha variable se debe adecuar basándose en estos criterios: Habilidad de la variable para resumir una serie de propiedades importantes y su capacidad para ser cuantificada. Además, hay una limitación práctica extremadamente importante de buena calidad de los datos y es que deben estar disponibles, especialmente cuando se hacen comparaciones entre unidades espaciales (Brenkert and Malone, 2005).

En esta investigación se seleccionaron aquellas variables de acuerdo a las características del área de estudio después de una consulta bibliográfica y con investigadores en el tema. Se consideró la disponibilidad de la información, ya que la representación de la vulnerabilidad se hizo espacialmente lo que requirió que la información a utilizar tuviera ciertas características para poder representarla, cuidando que tuviera una alta relación con la vulnerabilidad y representara las condiciones del área de estudio

Algunas de las variables dentro del conjunto del MIV no son independientes por ejemplo, la producción agrícola tiene implicaciones dentro del PIB municipal, la salud humana por el acceso a los alimentos frescos y de calidad, en el ingreso y así sucesivamente. Este es una cuestión que surge cuando se trabaja con un conjunto de variables que tratan de proporcionar una versión completa de la condición actual y es difícil tener variables que son completamente independientes. La dependencia de las variables debe ser reconocida como parte de los resultados de análisis y tenida debidamente en cuenta. No es necesario considerar componentes totalmente independientes para tener un indicador de vulnerabilidad eficaz, sin embargo cada variable es elegida por un motivo diferente y cada una representa un aspecto diferente de la vulnerabilidad (Brenkert and Malone, 2005).

Un factor más a considerar es que aplicando este modelo a una escala más pequeña, los resultados pueden cambiar significativamente, debido a que este modelo es comparativo entre las unidades espaciales que se decida considerar, teniendo en cuenta que parte de las limitantes de este modelo es la disponibilidad de la información a unidades espaciales pequeñas; sin embargo, es útil para ser aplicado bajo la escala que se desee arrojando resultados distintos en cada caso, aunque puede haber similitudes dependiendo el caso.

Dado que lo más probable es que los eventos extremos de clima sean cada vez más frecuentes e intensos, dos implicaciones relevantes del estudio son: (1) La urgencia de cambiar la política tradicional de asignación de recursos públicos y la elaboración de planes de acuerdo a la vulnerabilidad de cada región; (2) Para

finés de planificación, es indispensable que entidades de gobierno generen su bases de datos con georeferencia a fin planificar la atención en forma más eficiente en zonas más vulnerables a CC.

5.5. Propuestas a considerar para la toma de decisiones

El CC probablemente ha ocasionado muchas de las condiciones que se presentan actualmente tanto en el ambiente como en la población, y esta es una condición que seguirá incrementando, conforme el calentamiento global incrementa (Stern, 2006). Es necesario tomar acción al respecto al tratar de minimizar los efectos que estos cambios ocasionan a todo el entorno, es decir trabajar para lograr resiliencia ante estos cambios.

El primer elemento que hay que considerar para la toma de decisiones es el nivel al que se aplican las políticas. Los efectos adversos del CC van más allá de límites políticos, afecta directamente a las personas y medio ambiente que estén más expuestas independientemente de su división política. Es por ello que las decisiones al respecto deben considerarse a otro nivel, que permita dar soluciones más integrales respecto al tema. Si bien es cierto que cuando se habla de personas y las condiciones en las que viven, es imposible no respetar estas divisiones políticas, ya que los datos y estadísticas se presentan a este nivel; sin embargo, las tendencias de vulnerabilidad siguen otros patrones como ambientales y geográficos.

De igual forma sucede con variables como anomalías en los regímenes de lluvia y frecuencia en la ocurrencia de desastres, estos fenómenos son de carácter climático, sin embargo, están documentados a nivel municipal o estatal y las políticas se encuentran limitadas a esta superficie. En los mapas correspondientes se ve claramente esta situación, si la información pudiera levantarse a nivel microcuenca, subcuenca o cuenca hidrológica, habría resultados muy distintos, ya que se tendrían datos más exactos sobre los verdaderos alcances de determinado fenómeno sin duplicidad de la información ni traslapes, de igual forma las políticas

se aplicarían considerando las condiciones generales de las áreas mayormente afectadas sin limitantes divisionales y de fronteras.

Es necesario implementar programas gubernamentales que ofrezcan oportunidades accesibles, cercanas y rentables en regiones en donde no las hay solicitando mayor presupuesto gubernamental para estos rubros, presentando el riesgo que representa el no hacerlo ante los efectos del CC, con esto se puede reducir en gran medida la alta concentración poblacional ya que la razón de dependencia responde a los mismos factores que anteriormente se mencionaron, estas situaciones obligan a los pobladores a trasladarse a lugares con mejores condiciones y oportunidades para poder subsistir, lo que deja a ciertos municipios con una razón de dependencia alta y aquellos pobladores en edad económicamente activa son mucho menos en proporción con los que dependen de ellos, por la alta tasa de migración que existe en algunos lugares.

Sería importante analizar en la toma de decisiones primeramente estos factores ya que la concentración de la población en un área pequeña significa sobreexplotación de los recursos naturales y degradación del medio ambiente por la demanda de bienes y servicios para satisfacer a un mayor número de pobladores, aunque esto depende principalmente del grado de dependencia de los recursos naturales y del ambiente, la necesidad de otorgar vivienda y servicios a los pobladores significa crecimiento de la mancha urbana con todos los efectos adversos que esto trae. No en vano la degradación del suelo se concentra principalmente en las áreas más pobladas. El abandono de su lugar de origen para acceder a mejores condiciones, por lo que, tomando medidas para equilibrar las condiciones y oportunidades para la población de manera equitativa podría aminorar la presión sobre áreas pequeñas y disminuir la razón de dependencia alta presente de manera generalizada en toda el área.

Es bien sabido que la producción agrícola de los diferentes grupos, esta principalmente influenciada por las condiciones climáticas favorables para el desarrollo de determinado cultivo. Sin embargo, hay áreas potencialmente productoras que han tenido que cambiar de actividad e incluso migrar por que los

suelos dejaron de ser productivos o simplemente los cambios en las condiciones del clima ya no son favorables. Esto puede deberse también a la falta de equipamiento y tecnología para afrontar estas modificaciones en las condiciones por la falta de recursos.

En un estudio realizado en el Distrito de Riego 075, Río Fuerte, Sinaloa se concluyó que el mayor impacto por incremento de la temperatura se apreciará en la reducción del ciclo fenológico de los cultivos anuales. De igual manera, el impacto sobre las variaciones en la disponibilidad de agua durante el crecimiento de los cultivos alterará los rendimientos debido a que el inicio de la floración se modificará. (ONUPA, 2012).

Un porcentaje bajo de las unidades de producción utilizan semilla mejorada para mantener su producción y sus ganancias a pesar de las condiciones adversas, es por ello necesario el fomento hacia el uso de este tipo de tecnología, así como equipar las unidades con maquinaria necesaria para realizar aquellas acciones que contribuyan a mitigar los efectos del CC ya sea por adquisición propia o subsidiada por el gobierno.

La implementación de un número mayor de programas para reforestar corresponde a una situación en la que todos ganan pues se captura bióxido de carbono, se propicia mayor humedad en el suelo y posiblemente más lluvia capturada y se recuperan los bosques naturales del país.

Atendiendo todos estos aspectos antes mencionados se pueden mejorar los resultados en cuanto a disponibilidad de agua por acuífero, la cantidad de bosque, y los cambios en el uso del suelo, ya que reducirá la presión sobre pequeñas áreas, fomentando condiciones más favorables para los pobladores y los recursos de la región.

Con estas acciones podría reducirse de manera importante los riesgos que se corren de un decremento porcentual en el PIB que ya se visualizan de manera evidente en aquellas regiones más vulnerables del área de estudio.

Dentro del concepto de vulnerabilidad deben considerarse las condiciones y situaciones vulnerables y deficientes de un grupo social. Las investigaciones conceptualizan estos factores con la pobreza, la carencia de condiciones materiales adecuadas de vivienda, que ya de forma cotidiana enfrentan problemáticas sociales, pero que les hacen particularmente frágiles ante un desastre que mueve el equilibrio precario en que se encuentran (Ranero, 2005).

VI. CONCLUSIONES

Es posible combinar variables sociales, económicas y biofísicas para calcular un índice de vulnerabilidad al cambio climático y representarlas espacialmente delimitando el área por microcuencas y determinar la distribución que sigue la vulnerabilidad relativa para la toma de decisiones.

Con la información obtenida se logró realizar una caracterización del área de estudio considerando su situación socioeconómica y biofísica y representar de manera espacial sus características. A partir de esta información se obtuvieron distintas variables que después de una selección de aquellas que reflejaran las condiciones de vulnerabilidad del área, se conformó el MIV.

Después del procesamiento y normalización de la información fue posible generar indicadores de vulnerabilidad al cambio climático por criterios subcriterios e indicadores así como un índice de vulnerabilidad agregado, que son los niveles que componen el MIV. El índice de vulnerabilidad agregado fue agrupado en cinco niveles de vulnerabilidad, muy baja, baja, media, alta y muy alta, y de este modo se representó el grado de vulnerabilidad por microcuencas para el área de estudio.

Después de obtenidos los resultados y de acuerdo a estos se proponen algunas consideraciones para la toma de decisiones.

VII. LITERATURA CITADA

Arc Map 2010, Arc Map ESRI Versión 10.0. USA.

Adger W., 2000. Social and ecological resilience: are they related?. Progress in Human Geography 24: 347-364.

Agencia de Protección ambiental de los Estados Unidos, 2010. Temas de la A a la Z, Aire, Red de Transferencia de Tecnología del Centro de Información sobre Contaminación de Aire (CICA). <http://www.epa.gov/espanol/temas.html#sustancias>. Consultada en junio de 2012.

Bellon M., D. Hodson and J. Hellin, 2011. Assessing the vulnerability of traditional maize seed systems in Mexico. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 108: 13432-13437.

Boateng I., 2011. An assessment of the physical impacts of sea-level rise and coastal adaptation: a case study of the eastern coast of Ghana. Climatic Change, 114: 273-293.

Brenkert A. L. and E. L. Malone, 2005. Modeling vulnerability and resilience to climate change: A case study of India and Indian States. Climatic Change, 72: 57-102.

Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2005. Atlas estatales de riesgos, Atlas de Riesgos del estado de Veracruz. http://atlasnacionalderiesgos.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=212. Consultada en Enero de 2012.

Comisión Intersectorial de Cambio Climático, Secretariado Técnico, 2008. Programa Especial de Cambio Climático 2008-2012, Versión Consulta Pública. Poder Ejecutivo Federal, México, 98 p.

CONAGUA, 2009. Sistema de aguas nacionales. Disponibilidad de agua subterránea por estados, México. Disponible en <http://www.conagua.gob.mx/disponibilidad.aspx?n1=3&n2=62&n3=94>. Consultada en noviembre de 2012.

CONAPO, 2010. Indicadores demográficos básicos, esperanza de vida al nacer por estados, México. Disponible en http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Indicadores_Demograficos_Basicos_1990-2010. Consultada en junio de 2012.

CONEVAL, 2010. Medición de la pobreza por municipio, México. Disponible en <http://www.coneval.gob.mx/Medicion/Paginas/Medici%c3%b3n/Medicion-de-la-pobreza-municipal-2010.aspx>. Consultada en noviembre de 2012.

Cutter S., 1996. Vulnerability to environmental hazards. *Progress in Human Geography*, 20:529–39.

Cutter S. L., J. T. Mitchell and M. S. Scott, 2000. Revealing the vulnerability of people and places: A case study of Georgetown County, South Carolina. *Annals of the Association of American Geographers*, 90:713–37.

Cutter ed., 2001a. *American hazard scapes: The Regionalization of hazards and disasters*. Joseph Henry Press. Washington, D.C., 197 p.

Cutter S., B. J. Boruff, W. L. Shirley, 2003. Social Vulnerability to Environmental Hazards. *Social Science Quarterly* by the Southwestern Social Science Association, 84: 242-261.

- Cutter S., C. T. Emrich, J. J. Webb and D. Morath, 2009. Vulnerability to climate variability hazards: A review of the literature, final report. Hazards and Vulnerability Research Institute, Department of Geography, University of South Carolina. Columbia, 44 p.
- Feng S., A. B. Krueger, M. Openheimer, 2010. Linkages among climate change, crop yields and Mexico-US cross-border migration. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 17:14257-14262.
- Fox B. J. and M. D. Fox, 1986. Resilience of animal and plant communities to human disturbance. En: Dell, B., Hopkins, A. J. M., Lamont, B. (eds.): Resilience in Mediterranean-type ecosystems. Dordrecht, Netherlands, 39-64.
- Ibarrarán M. E., E. L. Malone, A. L. Brenkert, 2008. Climate Change Vulnerability and Resilience: Current Status and Trends for Mexico. United States Department of Energy, Pacific Northwest National Laboratory. Richland Washington, 26 p.
- Ibarrarán M. E., E. L. Malone, A. L. Brenkert, 2010. Climate change vulnerability and resilience: current status and trends for Mexico. Environment Development Sustainability 12:365–388.
- Instituto Latinoamericano de Comunicación Educativa (ILCE), 2012. Río Moctezuma. www.ilce.edu.mx. Consultada en enero de 2012.

Instituto Nacional de Ecología, 2005. Contaminación urbana y regional, investigación sobre calidad del aire. Ponencia. Junio, 2005. México.

INEGI, 2002. Carta de uso de suelo y vegetación. Escala 1:250 000 Serie III. Información vectorial, México.

INEGI, 2002. Carta de climas. Escala 1:1 000 000, Información vectorial. México.

INEGI, 2005. Carta de regiones hidrológicas, Escala 1:1 000 000 Serie III. Información vectorial. México.

INEGI, 2007. Carta de uso de suelo y vegetación. Escala 1:250 000 Serie IV, Información vectorial. México.

INEGI, 2007. Censos agropecuarios de la República Mexicana. México.

INEGI, 2009. Censos Económicos de la República Mexicana. México.

INEGI, 2010. Censo de Población y Vivienda. ITER 2010. México.

Isla, O. R. M. y D. Pereyra, 1990. Aspectos Físicos y Recursos Naturales del Estado de Veracruz III. Col. Textos Universitarios, Universidad Veracruzana, 29 p.

Juárez A., E. A. Martínez, 1999. ¿Por qué medir la calidad del aire?. Elementos, 34: 35.

Malone E. L. and A. L. Brenkert, 2009. Vulnerability, sensitivity, and coping/adaptive capacity worldwide. In M. Ruth and M. E. Ibararán (Eds.), The distributional effects of climate change and disasters: Concepts and cases. Edward Elgar Publishing. U.K., 216 p.

- Mileti D., 1999. Disasters by design: A reassessment of natural hazards in the United States. Joseph Henry Press. Washington, D.C., 376 p.
- Moss R. H., A. L. Brenkert and E. L. Malone, 2001. Vulnerability to climate change: A quantitative approach. Pacific Northwest National Laboratory. Washington D.C., 70 p.
- Muhling B. A., J. T. Lamkin and Y. Liu, 2011. Predicting the effects of climate change on bluefin tuna (*Thunnus thynnus*), spawning habitat in the Gulf of Mexico. ICES Journal of Marine Science, 68: 1051–1062.
- O' Brien K., A. L. St. Clair and B. Kristoffersen, 2010. Climate Change, Ethics and Human Security, eds., Cambridge University Press. Cambridge, 220 p.
- Olguín E. J., R. E. González-Portela, G. Sánchez-Galván, J. E. Zamora-Castro y T. Owen, 2010. Contaminación de ríos urbanos: El caso de la subcuenca del río Sordo en Xalapa, Veracruz, México. Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal, 1:178-190.
- Organización de las Naciones Unidas para la Pesca y la Alimentación, Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2012. México: El sector agropecuario ante el desafío del cambio climático, Volumen I. México, D.F., 428 p.
- Panel Intergubernamental al Cambio Climático, 2001. Cambio climático, Tercer informe de evaluación: Mitigación, Resumen para responsables de políticas y Resumen técnico, Parte de la contribución del Grupo de trabajo III al Tercer Informe de evaluación del IPCC. Ginebra, Suiza, 95 p.

Panel Intergubernamental al Cambio Climático, 2007. Cambio climático, Cuarto informe de evaluación: Informe de síntesis, Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del IPCC. Ginebra, Suiza, 104 p.

Pfeffer W. T., J. T. Harper and S. O'Neel, 2008. Kinematic constraints in glacier contributions to 21st-century sea-level rise. *Science* , 321: 1340 .

Pankaj L., R. R. Janaki, D. M. Alavalapati and Evan, 2011. Socio-economic impacts of climate change on rural United States. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 16:819-844.

Parry M., P. Jean, H. Clair and I. Jason, 2008. Squaring up to reality. *Nature reports Climate Change*, climate 2008, 50. Available at: <http://www.nature.com/climate/2008/0806/full/climate.2008.50.html>. Consultada en agosto 2013.

Programa de Integración de Ecosistemas y Adaptación al Cambio Climático en el Macizo Colombiano, 2010. Metodología para el análisis de vulnerabilidad al cambio y a la variabilidad climática aplicada al área piloto. MDG Achievement Found. Colombia, 49 p.

Purnomo H., H. Herawati and H. Santoso, 2010. Indicators for assessing Indonesia's Javan Rhino National Park vulnerability to climate change. *Mitigation and Adaptation Strategies in Global Change*, 16: 733-744.

Saaty L. T., 1988. What is the analytic hierarchy process, mathematical model for decision support. *NATO ASI Series*, 48: 109-121.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Instituto Nacional de Ecología. Coordinación del Programa de Cambio Climático. Diciembre de 2009.

http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/clave_2010/clave/indicadores/ibi_apps/ind_clave_07.html. Consultada en diciembre de 2011.

Stern, N., 2006. Stern review on the economics of climate change (pre-publication edition), Executive summary, HM Treasury. London U.K., 662 p.

Sunyer J., 2010. Promoción a la salud frente al cambio climático. Scielo, gaceta sanitaria. Barcelona, España, 24 p.

Ziervogel G. and P. J. Ericksen, 2010. Adapting to climate change to sustain food security. *Climate Change*, 1: 525-540.

ANEXO I. FORMATO DE EVALUACIÓN DE CRITERIOS, SUBCRITERIOS E INDICADORES

La presente encuesta es parte de una investigación que realiza la Lic. Brenda Zerecero Salazar estudiante del Postgrado Forestal, Colegio de Postgraduados y que tiene como objetivo determinar la vulnerabilidad al cambio climático a partir de criterios, subcriterios e indicadores, a los cuales se requiere evaluar su importancia relativa. Por lo anterior, y conociendo su amplia experiencia y conocimiento sobre el tema se le solicita amablemente responder a las preguntas contenidas en la encuesta. Los resultados obtenidos serán usados para generar conocimiento y posibles estrategias de conservación de los recursos naturales en el área de estudio. Se le agradece sinceramente su apoyo muchas gracias.

Por favor responda según sea el caso:

Grupo 1: INVESTIGADORES SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO

1.- Nombre del encuestado: _____

2.- Institución: _____

3.- Grado: _____

4.- Área de investigación: _____

5.- Años de experiencia en el área: _____

Grupo 2: TOMADORES DE DECISIONES EN LA RAMA DE CAMBIO CLIMÁTICO

1.- Nombre del encuestado: _____

2.- Institución: _____

3.- Departamento: _____

4.- Cargo: _____

5.- Área o especialidad: _____

6.- Años de experiencia en el área: _____

Los criterios, subcriterios e indicadores que se muestran a continuación (Cuadro 1) son derivados de una selección considerando diferentes factores, y tienen la finalidad de encontrar un indicador relativo de vulnerabilidad, por lo que es necesario ponderar el peso o importancia de acuerdo a la intensidad mostrada en el Cuadro 2, en la evaluación de vulnerabilidad al cambio climático.

Cuadro 1. Criterios, subcriterios e indicadores de vulnerabilidad al cambio climático

Criterios	Subcriterios	Indicadores
VARIACIÓN CLIMÁTICA	Clima	Anomalías en los regímenes de lluvias
		Declaratorias de desastre por municipio
SENSIBILIDAD	Población	Densidad de población
		Razón de dependencia
	Degradación ambiental	Erosión
		Partículas suspendidas de 10 micrómetros de diámetro
		Áreas de conflicto
	Marginación	Índice de marginación de la vivienda
Índice de Pobreza		
CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN	Producción agrícola	Producción de cereales
		Producción de hortalizas
		Producción de frutales
	Tecnología para la producción	Equipamiento de las unidades de producción
		Uso de semilla mejorada
	Recursos Naturales	Disponibilidad de agua por acuífero
		Porcentaje de tierra de riego
		Superficie de bosque o uso de tipo forestal
	Salud	Pob. Derechohabiente a serv. De salud
		Esperanza de vida al nacer
	Educación	Promedio de escolaridad
	Capacidad económica	Crecimiento del PIB en la última década

Cuadro 2. Escala de intensidad de importancia.

Intensidad	Definición	Explicación
1	De igual importancia	2 criterios contribuyen de igual forma al objetivo
3	Importancia moderada	La experiencia y el juicio favorecen levemente a un criterio sobre otro
5	Importancia fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente un criterio sobre otro
7	Muy fuerte o demostrada	Un criterio es mucho más favorecido que otro; su predominancia se demostró en la práctica
9	Extrema	La evidencia que favorece un criterio sobre otro, es absoluta y totalmente clara

La escala considera valores intermedios (2,4,6,8) los cuales se omiten con fines de simplicidad. Fuente: Saaty (1997).

1.- Compare de acuerdo a la escala de intensidad de importancia (Cuadro 2) los elementos de la columna con los de la fila, siempre tomando los elementos columna como base de comparación, en la tabla 1. Por ejemplo si variación climática es **3** veces mas importante que sensibilidad coloque **tres** en el recuadro en blanco correspondiente y si sensibilidad es **tres** veces menos importante que capacidad de adaptación entonces coloque **1/3** (inverso) ya que los elementos de la columna son la base de la comparación.(Solo llene los recuadros en blanco como en el ejemplo).

Ejemplo			
CRITERIOS	Variación climática	Sensibilidad	Capacidad de adaptación
1. VARIACIÓN CLIMÁTICA	1	3	2
2.- SENSIBILIDAD	x	1	1/3
3.- CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN	x	x	1
Interpretación: Variación climática es preferible 3 veces a sensibilidad (importancia moderada) y dos veces a capacidad de adaptación, sensibilidad es menos importante 3 veces que capacidad de adaptación en función a la vulnerabilidad al cambio climático.			

Tabla 1.

VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO 100%	CRITERIOS (elementos columna) ↓	Variación climática	Sensibilidad	Capacidad de adaptación
	1. VARIACIÓN CLIMÁTICA	1		
	2.- SENSIBILIDAD	x	1	
	3.- CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN	x	x	1

2.- De igual forma compare los elementos de la columna (subcriterios) con los de la fila siguiendo las indicaciones de la pregunta anterior.

Tabla 2.

SENSIBILIDAD	SUBCRITERIOS (Elementos columna) ↓			
		Población	Degradación	Marginación
	1.- POBLACIÓN	1		
	2.- DEGRADACIÓN AMBIENTAL	X	1	
3.- MARGINACIÓN	X	X	1	

Tabla 3.

CAPACIDAD DE ADAPTACIÓN	SUBCRITERIOS (Elementos columna) ↓	Producción agrícola	Tecnología Para la Producción	Recursos Naturales	Salud	Educación	Capacidad Económica
	1.- PRODUCCIÓN AGRÍCOLA	1					
	2.- TECNOLOGÍA PARA LA PRODUCCIÓN	X	1				
	3.- RECURSOS NATURALES	X	X	1			
	4.- SALUD	X	X	X	1		
	5.- EDUCACIÓN	X	X	X	X	1	
	6.- CAPACIDAD ECONOMICA	X	X	X	X	X	1

3.- De igual forma, compare los elementos de la columna (Indicadores) con los de la fila siguiendo las indicaciones de la pregunta (1).

Tabla 4.

Clima	Indicadores (Elementos columna) ↓	Precipitación	Ocurrencia de desastres
	Precipitación	1	
	Ocurrencia de desastres	X	1

Tabla 5.

Población	Indicadores (Elementos columna) ↓	Densidad de población	Razón de dependencia
	Densidad de población	1	
	Razón de dependencia	X	1

Tabla 6.

Degradación ambiental	Indicadores (Elementos columna) ↓	Erosión	PM10
	Erosión	1	
	PM10	X	1

Tabla 7.

Marginación	Indicadores (Elementos columna) ↓	Índice de marginación de la vivienda	Índice de pobreza
	Índice de marginación de la vivienda	1	
	Índice de pobreza	X	1

Tabla 8.

Producción agrícola	Indicadores (Elementos Columna) ↓	Producción de cereales	Producción de hortalizas	Producción de frutales
	Producción de cereales	1		
	Producción de hortalizas	X	1	
	Producción de frutales	X	X	1

Tabla 9.

Tecnología para la producción	Indicadores (Elementos columna) ↓	Equipamiento De las U. de Producción	Uso de semilla mejorada
	Equipamiento de las unidades de producción	1	
	Uso de semilla mejorada	X	1

Tabla 10.

Recursos Naturales	Indicadores (Elementos columna) ↓	Disp. De agua	Tierra de riego	Bosque	Zonas estables de uso de suelo
	Disponibilidad de agua	1			
	Tierra de riego	X	1		
	Superficie de bosque	X	X	1	
	Zonas estables de uso de suelo	X	X	X	1

MUCHAS GRACIAS