

Modelo de indicadores de vulnerabilidad al cambio climático y su representación espacial en la región centro-Golfo de México



Model of indicators of vulnerability to climate change and its spatial representation in the Central-Gulf of Mexico region

Zerecero-Salazar, Brenda Carolina; Ibararán Viniestra, María Eugenia; Gómez Guerrero, Armando; Hernández-De la Rosa, Patricia; González Guillén, Manuel de Jesús; Escalona Maurice, Miguel Jorge; Sardiñas Gómez, Oreste; Rivera, Carlos; Toruño, Pedro; Editor Académico Prof. Dr. Carlos A. Zúniga-González

Brenda Carolina Zerecero-Salazar

agomezg@colpos.mx

Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo,
México

María Eugenia Ibararán Viniestra

agomezg@colpos.mx

Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo, México

 **Armando Gómez Guerrero**

agomezg@colpos.mx

Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo, México

Patricia Hernández-De la Rosa

agomezg@colpos.mx

Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo,
México

Manuel de Jesús González Guillén

agomezg@colpos.mx

Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo,
México

Miguel Jorge Escalona Maurice

agomezg@colpos.mx

Colegio de Postgraduados-Campus Montecillo,
México

Oreste Sardiñas Gómez

orestess@geotech.cu

Instituto de Geografía Tropical, Cuba., Cuba

Carlos Rivera

crivera20@gmail.com

CURLA- UNAH, Honduras, Honduras

 **Pedro Toruño**

pjoseto@gmail.com

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León.
Centro de investigación en ciencias agrarias y economía
aplicada, Nicaragua

Resumen: El tema de Cambio Climático (CC) es aún debatible, pero la evaluación de vulnerabilidad a eventos extremos es indispensable para un uso estratégico de los recursos públicos. Ejemplo reciente son los impactos de los ciclones “Ingrid” y “Manuel” que se hubieran aminorado si años atrás se hubiera evaluado la vulnerabilidad de la zona y distribuido recursos en concordancia. Este trabajo evaluó la vulnerabilidad a CC de una franja del centro del país hacia Golfo de México, alineada a la dirección que frecuentemente siguen los ciclones. Adaptado el modelo de Malone y Brenkert (2008), se emplearon como indicadores de vulnerabilidad variables socio- económicas, biofísicas y climáticas. Los subcriterios más importante para vulnerabilidad al CC son el tamaño de la población, marginación, tecnología para la producción, degradación de los recursos naturales y capacidad económica. La evaluación de vulnerabilidad también se realizó dando peso diferenciado a las variables de acuerdo a la opinión de expertos, con resultados similares. La evaluación de la vulnerabilidad a CC mediante el modelo empleado es una herramienta de valiosa para detectar las áreas prioritarias para el uso de recursos y minimizar los impactos de eventos climáticos extremos.

Palabras clave: eventos climáticos extremos, riesgo a eventos naturales, capacidad de adaptación, indicadores socio-económicos.

Abstract: The Climate Change (CC) subject is still questionable, but the assessment of vulnerability to extreme events is critical for a strategic use of public resources. The most recent example is the impacts of “Ingrid” and “Manuel” cyclones, which would have been minimized with a previous evaluation of vulnerability in past years. This paper evaluated the vulnerability to CC in a transect from central Mexico to the Gulf, along the common direction followed by cyclones. Adapting the Malone and Brenkert (2008) model, social, economic, biophysics, and climatic variables were used to assess vulnerability. The most important sub-criteria for CC vulnerability are population size, poverty, production technology, natural resources degradation

Editor Académico Prof. Dr. Carlos A. Zúñiga-González
Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León,
Nicaragua

Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, León, Nicaragua
ISSN-e: 2410-7980
Periodicidad: Semestral
vol. 1, núm. 1, 2015
czuniga@ct.unanleon.edu.ni

Recepción: 15 Julio 2014
Aprobación: 15 Diciembre 2014

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/journal/394/3941748004/>

DOI: <https://doi.org/10.5377/ribcc.v1i1.2147>

Autor de correspondencia: agomezg@colpos.mx

and economic capacity. Results were similar when variables were weighted according to the opinion of experts. The adapted model showed to be a valuable planning tool that allows the planning of public resources according to vulnerability and minimize the extreme climatic events impacts.

Keywords: extreme climatic events, natural events risk, adaptation capacity, social and economical indices.

INTRODUCCIÓN

Actualmente el tema de Cambio Climático (CC) es de importancia relevante porque es un fenómeno global que no sólo afectará nuestro entorno biofísico sino también las relaciones económicas, sociales y de salud de la sociedad (Cutter, 2003). Por la limitada información del pasado con que contamos todavía para algunos científicos es debatible si está o no ocurriendo el CC (Nigel, 2005). Sin embargo, la propia variabilidad climática de nuestro entorno sugiere la necesidad de valorar la vulnerabilidad de diferentes regiones a eventos extremos. El ejemplo más fehaciente es son los impactos de eventos climáticos extremos que ocurrieron en el Pacífico y Golfo de México en 2013, con los ciclones de Ingrid y Manuel, los cuales se pudieron haber evaluado antes y redistribuir el recurso público e infraestructura acorde a indicadores de vulnerabilidad.

Los escenarios de cambio climático requieren de un componente de valoración de la vulnerabilidad para que sean empleados en la administración de recursos y la adaptación a dicho fenómeno. La evaluación de la vulnerabilidad al CC en forma espacial permitirá la canalización de recursos por prioridades según se presente espacialmente (CIFEN, 2010).

Con relación al CC la mayoría de las investigaciones se han enfocado a analizar sus aspectos biofísicos, la resistencia y resiliencia de los ecosistemas, o las amenazas para una especie en particular en sistemas agrícolas y forestales (Mileti, 1999). Sin embargo, los impactos sociales y económicos son menos estudiados, en parte por su dificultad para cuantificarlos o la limitación de información, la cual en muchos de los casos no está referida al espacio (Cutter, 2003).

Existen modelos integrales para valorar la vulnerabilidad a CC, como el Modelo de Indicadores de Vulnerabilidad y Resiliencia (Vulnerability Resilience Indicators Model VRIM). Este modelo 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 2008). También se ha probado se ha probado a nivel de estados en México (Ibarrarán, et al., 2009). Aunque el VRIM se ha empleado a varias escalas, no se ha utilizado con métodos de SIG (Sistemas de Información Geográfico) para representar la vulnerabilidad espacialmente. Así, los

NOTAS DE AUTOR

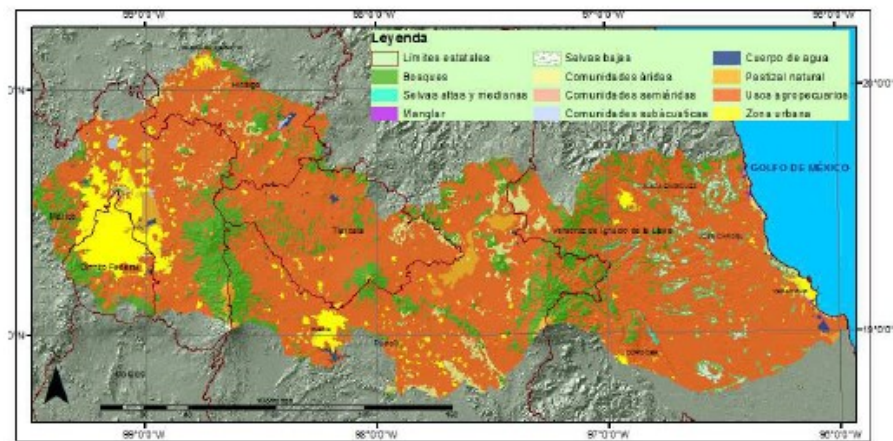
agomezg@colpos.mx

objetivos de este estudio son: (i) mediante el modelo VRIM, valorar la vulnerabilidad al CC en una franja de la Cuenca del Valle de México al Golfo de México representando espacialmente la intensidad de la vulnerabilidad; (ii) Comparar los resultados de la distribución espacial de la vulnerabilidad bajo dos escenarios, el primero dando el mismo peso a todas las variables y el segundo dando un peso diferenciado de acuerdo a la opinión de expertos. (INEGI, 2002).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio es una franja del centro de México al Golfo de México. Comprende 306 municipios y una superficie de 30,980 Km² cuya localidad más pequeña es de 448 Km² y la localidad más grande de 819 Km². La población total es de 27, 577,668 habitantes. (Arc Map 2010) La franja presenta una fisiografía compleja con regiones a nivel del mar en Veracruz, hasta elevaciones volcánicas de 5,500 msnm en Orizaba y 4000 msnm en Tlaxcala. Los ecosistemas son diversos, incluyendo bosques, selvas, pastizales y zonas agrícolas. Fig. 1



Localización del área de estudio

Se seleccionó esta área por presentar un contraste en variables socioeconómicas y de recursos naturales.

Fundamento del Modelo de Indicadores de Vulnerabilidad

El Modelo de Indicadores de Vulnerabilidad (MIV) fue retomado a partir del Modelo de indicadores de Vulnerabilidad y Resiliencia (MIVR) que integra variables económicas, sociales y biofísicas y las ordena de acuerdo sectores de, sensibilidad y capacidad de adaptación como se muestra en la Figura 2.

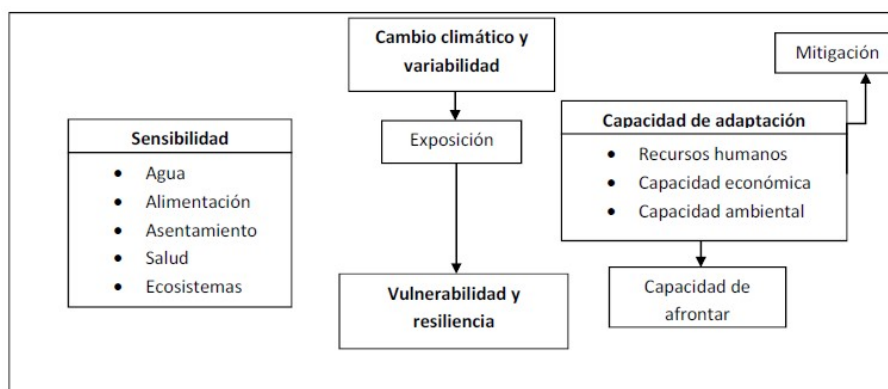


FIG. 2

Marco conceptual del Modelo de Indicadores de Vulnerabilidad y Resiliencia

El MIVR sólo considera los sectores de sensibilidad y capacidad de adaptación, asumiendo que la variación climática y los fenómenos extremos vienen implícitos dentro del modelo. (INEGI, 2005) Sin embargo, en esta investigación se propone integrar este sector, asumiendo que la variación climática y los fenómenos extremos son elementos que contribuyen de manera distinta a la vulnerabilidad, como se muestra la estructura del Modelo de Indicadores de Vulnerabilidad (MIV) en la Figura 3.

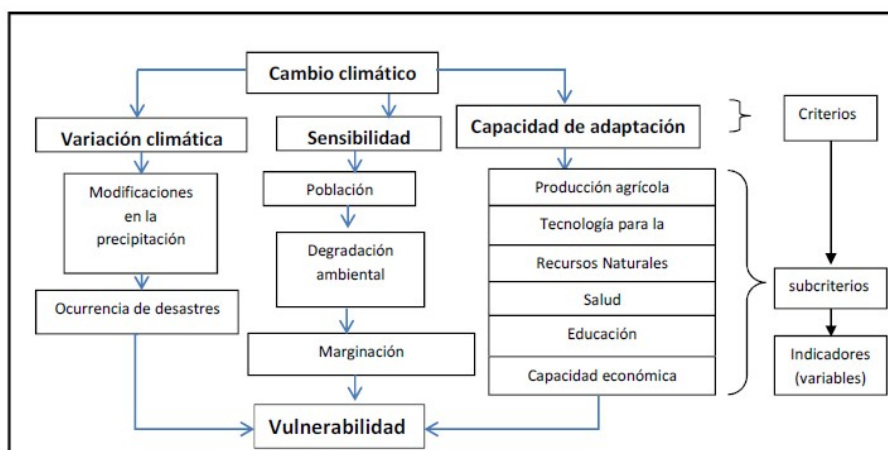


FIGURA 3

Estructura del Modelo de Indicadores de Vulnerabilidad

Caracterización de Variables del Índice de Vulnerabilidad

Después de seleccionar las variables de cada subcriterio, se definió la relación con respecto a la vulnerabilidad. Cuando la variable seleccionada contribuía la vulnerabilidad se consideró positiva, y cuando restaba vulnerabilidad se consideró negativa. La transformación de las variables se hizo de acuerdo a las siguientes expresiones: (INEGI, 2007); (INEGI, 2010); (INEGI, 2007a); (INEGI, 2007b)

Si la variable suma vulnerabilidad.

Si la variable resta vulnerabilidad

$$vn = 1 + \frac{100 \times (p - pmin)}{(pmax - pmin)} \quad [\text{si la variable suma vulnerabilidad}]$$

$$v_n = 1 + \frac{100 \times (p_{max} - p)}{(p_{max} - p_{min})} \quad [\text{si la variable resta vulnerabilidad}]$$

El sentido de cada variable es crítico para darle consistencia a la valoración del atributo y normalizar la información de manera correcta. Posteriormente, se sumaron las variables ya normalizadas

Escenarios de distribución de vulnerabilidad

Para tener un escenario más del índice y comparar como cambia espacialmente de acuerdo a la opinión de conocedores del tema, se decidió darle peso a cada variable según criterio de expertos, por medio de 15 encuestas bajo la metodología multicriterio de análisis jerárquico por sus siglas en inglés AHP que como su nombre lo indica realiza una jerarquización y una comparación pareada entre variables para determinar la importancia de cada una en relación a otra (Figura 4).

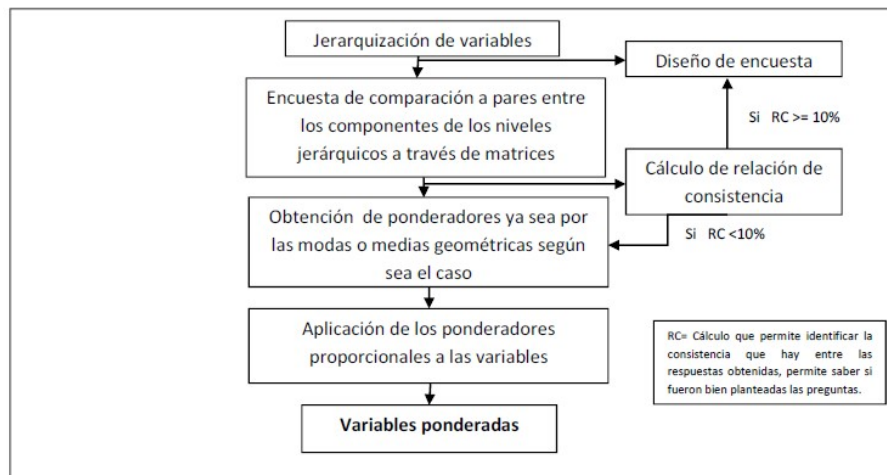


FIGURA 4
Esquema metodológico de evaluación multicriterio
Adaptado de Saaty (1978).

La selección de variables se realizó primeramente, 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 siguiente condición que se consideró 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 menos al 2010 que es el año que se tomó como base para esta investigación, ya sea por estado, municipio, microcuenca o polígono. (CONAGUA, 2009.) De un total de 28 variables se seleccionaron 22 como las más relevantes.

La información socioeconómica que se colectó, se relacionó con la tabla de atributos de la información vectorial de municipios. Las georeferencia de municipios sirvió para representar la información de diversas instancias espacialmente. Con el polígono de los municipios se relacionó cada variable ya normalizada y ponderada y se generó un archivo raster para cada una de ellas con una resolución de 30 x 30 m.

Debido a que un mapa raster asigna valores a un pixel de tamaño definido (30 x 30), y el índice de vulnerabilidad debía ser delimitado por microcuencas se hizo uso de la herramienta zonal statistics para que hiciera el cálculo de un promedio de los valores obtenidos dentro de una microcuenca y obtener el índice final de vulnerabilidad delimitado por microcuencas. Este procedimiento descrito en la sección anterior se repitió para la obtención del índice de vulnerabilidad ponderado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Distribución de la vulnerabilidad por sectores

Los mapas de vulnerabilidad para cada uno de los tres componentes del modelo por sectores, con variables sin ponderar y el escenario de acuerdo a la opinión de expertos se muestran en la Figuras 5 y 6. Los pesos asignados por los expertos a cada una de las variables para la obtención del escenario ponderado se muestran en el Apéndice II.

El criterio clima considera dos indicadores: anomalías en los regímenes de lluvia y declaratorias de desastre por municipio. La distribución de la vulnerabilidad frente a este criterio es la misma para ambos mapas (sin ponderar y ponderado), y esta 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 e imponen sobre el de desastres.

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

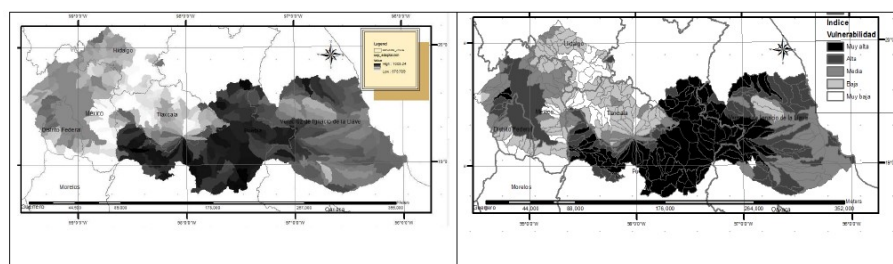


FIGURA 5
Regionalización de la vulnerabilidad al cambio climático por subcriterios sin ponderar e índice agregado de vulnerabilidad.

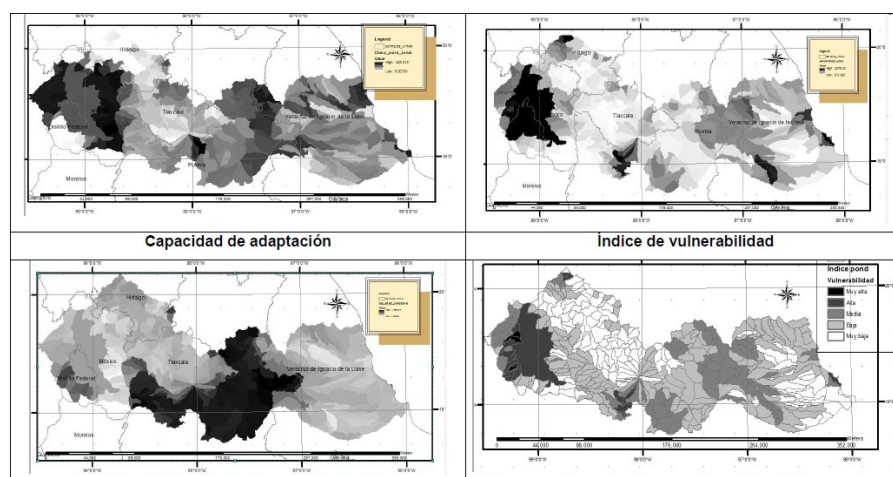


FIGURA 6
Regionalización de la vulnerabilidad al cambio climático por subcriterios ponderados e índice agregado de vulnerabilidad

El criterio de sensibilidad considera los subcriterios de población, degradación ambiental y marginación. En el mapa sin ponderar (Figura 5), se observa un importante número de microcuencas altamente vulnerables con respecto a este criterio, las cuales se localizan hacia la vertiente del Golfo de México.

Los principales municipios vulnerables bajo este subcriterio son: Tlalnepantla de Baz, Cuautitlan Izcalli, Tultitlán y Atizapan de Zaragoza en el Estado de México y Acatzingo, Cuapiaxtla de Madero, Chignautla, Quimixtlan, Los Reyes de Juárez, San Salvador Huixcocotla, Tepeaca y Xiutetelco en el estado de Puebla; y Atoyac, Tlaltetela Calcahualco, Coacoatzintla, Comapa, Cosautlan de Carvajal, Coscomatepec, Huatusco, Ixhuacán, Ixhuatlán Paso del Macho, Las Vigas, Tenampa, Tepatlaxco, Tlalcolulán, Tonayán, Totútla, y Ayahualulco, en el estado de Veracruz.

Los resultados indican que hay una zona de alta vulnerabilidad para la mayoría de las microcuencas ubicadas al norte del estado de Puebla y en Veracruz donde inicia la vertiente hacia el Golfo de México. También en parte del estado de Tlaxcala se encontraron zonas de alta vulnerabilidad donde tuvo peso la degradación ambiental.

Para el mapa ponderado (Figura 6), los expertos le dieron el mayor peso a sensibilidad con respecto a los de clima y capacidad de adaptación. En una escala de 0-100, sensibilidad tiene un peso de 79% y la vulnerabilidad respecto a este criterio se distribuye de manera más uniforme en toda el área de estudio, sin diferencias contrastantes, aunque con mayores intensidades en las microcuencas del Valle de México y Veracruz.

Estos resultados se deben 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 serán las que influyen en mayor medida en la distribución de la vulnerabilidad respecto a este criterio.

Con el uso de ponderadores que reflejan la opinión de los expertos la Cuenca del Valle de México se muestra como zona de alta vulnerabilidad. Este resultado, refleja la preocupación de los expertos con relación a las zonas más pobladas, sin embargo, destaca también la vertiente hacia el Golfo, las microcuencas del noreste de la Ciudad de Puebla y las de la costa hacia el oeste del Puerto de Veracruz.

El criterio de capacidad de adaptación incluye los subcriterios de producción agrícola, tecnología para la producción, recursos naturales, salud, educación y capacidad económica. Todos estos se considera que reducen la vulnerabilidad al cambio climático

En el mapa sin ponderar mostrado en la Figura 5 la tendencia toma un gradiente del centro hacia el Golfo principalmente. En el caso de Veracruz esto se atribuye principalmente al subcriterio de 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 personas derechohabientes a servicios de salud la primera impone sobre la segunda y contribuye a la vulnerabilidad.

Otro subcriterio que contribuye de manera importante es tecnología para la producción. Aunque Veracruz es altamente productivo en cuanto a 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 cualquier desastre desestabiliza en gran medida el abasto de productos agrícolas aumentando la vulnerabilidad.

En el caso de las microcuencas que se encuentran dentro del estado de Puebla el bajo crecimiento anual del PIB es el que más aporta a la vulnerabilidad respecto a la capacidad de adaptación que de algún modo es el criterio que equilibra las condiciones presentadas por el anterior que es sensibilidad, si bien es cierto que para producción agrícola contribuye en gran medida a esta vulnerabilidad, el PIB es el principal factor.

En el subcriterio de recursos naturales, Puebla cuenta con acuíferos sobreexplotados con muy baja disponibilidad de agua, así como un importante número de microcuencas con bajo porcentaje de bosque que reducen las zonas de captación de agua, así como cambios de uso de suelo en muy corto periodo de tiempo, esto puede atribuirse al alto grado de marginación o al crecimiento intensivo de la urbanización. Esto incide en la disponibilidad de los recursos naturales así como en la capacidad económica de la región que se refleja en el bajo crecimiento del PIB. (IPCC, 2001)

Para el mapa ponderado los expertos le asignaron a capacidad de adaptación un peso de 16%. De acuerdo a este ponderador la vulnerabilidad se concentra principalmente en el estado de Puebla y se muestra un gradiente de disminución de vulnerabilidad hacia Veracruz. Los resultados confirman dos

zonas críticas de vulnerabilidad que son la de la cuenca del Valle de México que involucra el Distrito Federal y varios municipios y Estado de México seguida por los estados de Puebla y Veracruz.(CONAPO, 2010)(CONEVAL, 2010) (Saaty L. T., 1988)

El índice agregado de vulnerabilidad al cambio climático bajo los dos escenarios se muestra en las Figuras 5 y 6.

En el mapa sin ponderar la vulnerabilidad toma un gradiente del centro hacia el Golfo, y en la cuenca del Valle de México pero se concentra en mayor medida en el estado de Puebla siendo las microcuencas de este estado las más vulnerables con algunas de Veracruz. Esta tendencia obedece principalmente a la influencia de los subcriterios de marginación, tecnología para la producción, recursos naturales y capacidad económica. Así, los municipios en las regiones de alta vulnerabilidad son todos los del estado de Puebla, algunos del estado de Veracruz con menor intensidad y seguidos por los de la microcuenca del Valle de México que incluye algunos municipios del Distrito Federal y el Estado de México (cuadro 1).

CUADRO 1
Principales microcuencas y municipios dentro de la categoría de alta vulnerabilidad, sin la ponderación de variables

REGION HIDROLOGICA	CUENCA	SUBCUENCA	ESTADO	MUNICIPIO	MICROCUENCA
PÁNUCO	RÍO MOCTEZUMA	PACHUCA - CD. DE MEXICO	MEXICO	ATIZAPAN DE ZARAGOZA (MEX)	PRESA LAS RUINAS
PÁNUCO	RÍO MOCTEZUMA	PACHUCA - CD. DE MÉXICO	MEXICO	CUAUTITLAN IZCALLI (MEX)	BUENAVISTA
PÁNUCO	RÍO MOCTEZUMA	PACHUCA - CD. DE MEXICO	MEXICO	HUEHUETOCA (MEX)	SALITRILLO
PAPALOAPAN	RÍO JAMAPA Y OTROS	ATOYAC	PUEBLA	TODA EL ÁREA DE ESTUDIO ALPATLAHUAC (VER)	TODA EL ÁREA DE ESTUDIO TODOS COSCOMATEPEC DE BRAVO
PAPALOAPAN	RÍO JAMAPA Y OTROS	ACATLAN	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	CALCAHUALCO (VER)	IXHUATLAN DEL CAFE

En comparación con los resultados obtenidos por Ibararán y Malone (2009) donde aplicando 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.

En el mapa agregado de vulnerabilidad al CC ponderado, los expertos dieron los siguientes pesos a cada uno de los subcriterios: 5.7% a variación climática, 78.6% a sensibilidad y 15.71% a capacidad de adaptación.

Estos pesos llevan a un índice de vulnerabilidad distinto al calculado en el ejercicio sin ponderar. Algunas microcuencas del Estado de México, Distrito Federal, y Puebla, presentan alta y muy alta vulnerabilidad y los subcriterios que la incrementan son aquellos a los que se les asignó el mayor peso y fueron población, degradación ambiental y marginación. (IPCC, 2007)

Los subcriterios como educación que es importante para determinar qué 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, al final contribuyen poco al índice de vulnerabilidad tanto en ejercicio sin ponderar como en el ponderado, aunado a que se les asignaron pesos bajos (Cuadro 2).

CUADRO 2
Principales microcuencas y municipios dentro de la categoría de alta vulnerabilidad, con ponderación de variables.

REGIÓN HIDROLÓGICA	CUENCA	SUBCUENCA	ESTADO	MUNICIPIO	MICROCUENCA
PÁNUCO	RÍO MOCTEZUMA	PACHUCA - CD. DE MÉXICO	DISTRITO FEDERAL	ALVARO OBREGON (D-F)	LA VENTA
PÁNUCO	RÍO MOCTEZUMA	PACHUCA - CD. DE MÉXICO	DISTRITO FEDERAL	ALVARO OBREGON (D-F)	LA MAGDALENA CONTRERAS
PÁNUCO	RÍO MOCTEZUMA	PACHUCA - CD. DE MÉXICO	MEXICO	ATIZAPAN DE ZARAGOZA (MEX)	PRESA LAS RUINAS
PÁNUCO	RÍO MOCTEZUMA	PACHUCA - CD. DE MÉXICO	MEXICO	CUAUTITLAN IZCALLI (MEX)	CUAUTITLAN IZCALLI
PÁNUCO	RÍO MOCTEZUMA	PACHUCA - CD. DE MÉXICO	MEXICO	CUAUTITLAN IZCALLI (MEX)	BUENAVISTA
PANUCO	RÍO MOCTEZUMA	PACHUCA - CD. DE MÉXICO	MEXICO	ECATEPEC (MEX)	VALLE DE MEXICO
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

Según Stern (2006) en su documento La Economía del Cambio Climático, afirma que, si no se actúa, los costos y riesgos generales del cambio climático serán equivalentes a perder al menos el 5% del PIB a nivel global cada año desde ahora y para siempre

Esto tiene relevancia cuando se observan los resultados que arrojan los mapas, particularmente las microcuencas ubicadas en el estado de Puebla que es el estado que presenta el mayor número de microcuencas altamente vulnerables y finalmente en el PIB es el estado que presenta menor crecimiento de este en los últimos diez años.

La aplicación de este modelo MIV permite 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 por y el resultado final fue la identificación de aquellos estados más vulnerables y las condiciones que contribuían a esta condición.

Este modelo ha sidoprobado para distintas áreas y dimensiones, (Brenkert and Malone, 2005, Ibarrarán, et al., 2009, Malone, et al., 2009) ya que permite emplear las variables significativas para el modelo y adaptarlas para el área de estudiar, como en el caso de la aplicación de este modelo realizado por Ibarrarán et al., pero para la República Mexicana en donde se aplicó después de un estudio anterior para India (Brenkert and Malone, 2005), en el caso de México se añadió la variable de precipitación al modelo original y se sustituyó la variable de porcentaje de tierra de riego por la de porcentaje de tierra bajo manejo, arrojando resultados satisfactorios.

CONCLUSIONES

Tomando como base información de instituciones gubernamentales se combinaron variables sociales, económicas y biofísicas para calcular un índice de vulnerabilidad al cambio climático y representarlas espacialmente. Se hizo un ejercicio sin ponderadores y otro ponderado según la opinión de algunos expertos.

Aquellos subcriterios que contribuyen de manera importante para la tendencia del índice de vulnerabilidad al cambio climático en este modelo son principalmente población, marginación, tecnología para la producción, degradación de los recursos naturales y crecimiento PIB.

Los resultados finales de vulnerabilidad difieren mucho cuando se considera la opinión de los expertos, tanto investigadores como tomadores de decisiones, quienes le otorgaron el mayor peso a sensibilidad, pero son consistentes con los resultados sin ponderar. (Instituto Nacional de Ecología, 2005)

Este estudio propone el Modelo de Indicadores de Vulnerabilidad combinado con técnicas geográficas, como una herramienta de planeación valiosa para administrar los recursos públicos de acuerdo a la vulnerabilidad espacial a atender. Asignando espacialmente los recursos de acuerdo a la vulnerabilidad a Cambio Climático, se podrá proteger a la población bajo mayor riesgo.

AGRADECIMIENTO

El planteamiento del presente estudio derivó del Proyecto de Investigación Integrador de la Línea de Investigación ocho del Colegio de postgraduados “Impacto y Mitigación del Cambio Climático”.

ANEXOS

Apéndice 1

C3

SELECCIÓN DE VARIABLES VULNERABILIDAD						
	VARIABLES	SENTIDO	JUSTIFICACIÓN	FUENTE	NIVEL DE AGREGACIÓN	OBSERVACIONES
Variación Climática	Clima					
	Anomalías en los regímenes de lluvias	Positivo	Las modificaciones en el promedio de la precipitación media anual provocan distintos problemas y vulnerabilizan el área	CONAGUA	Estado	Porcentaje de precipitación que se aleja de la media en un periodo de 20 años.
	Declaratorias de desastre por municipio	Positivo	La frecuencia en la ocurrencia de estos fenómenos contribuye a la vulnerabilidad de un ecosistema por los daños y las pérdidas ocasionadas.	CONAGUA 2000-2010	Municipio	Declaratorias de desastre acumuladas para Nevadas, heladas, granizadas, inundaciones, sequías, ciclón tropical y deslaves.
Sensibilidad	Población					
	Densidad de población	Positivo	Entre más pobladores haya en un área, la disponibilidad de servicios y recursos será más limitada	INEGI 2010	Municipio	Cantidad de pobladores en un municipio entre la superficie.
	Razón de dependencia	Positivo	El número de pobladores dependientes con respecto a los que son independientes, nos da un estimado de la población que se encuentra más vulnerable	INEGI 2010	Municipio	Numero de pobladores independientes entre los dependientes

C4

C4

	VARIABLES	SENTIDO	JUSTIFICACIÓN	FUENTE	NIVEL DE AGREGACIÓN	OBSERVACIONES
Sensibilidad	Degradación ambiental					
	Erosión	Positivo	Muestra la fragilidad de la microcuenca en función del porcentaje de erosión reportado en relación con el total de la superficie de la microcuenca	INEGI Datos vectoriales de uso de suelo y vegetación 2007	Microcuenca	Cálculo en Arc Gis
	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.	Instituto Nacional de ecología INE con datos del Inventario Nacional de Emisiones 2005	Municipio	Toneladas anuales para 2005
	Marginación					

Sensibilidad	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	

C5
C5

	Variabes	Sentido	Justificación	Fuente	Nivel de agregación	Observaciones
Capacidad de Adaptación	Producción agrícola					
	Producción de cereales	Negativo	Acceso a productos agrícolas originarios de la <u>región</u> , así como bienestar económico obtenido para la producción así como ganancias de comercializar esos 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 preparación para afrontar los cambios	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, motogruas 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	Esto permite tener un nivel de producción estable aun cuando las condiciones de suelo y clima no sean las óptimas
	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 2010	Cálculo hecho con la cantidad de agua que se consume respecto a la recarga anual total.
	Zonas de cambio de uso de suelo	Negativo	Muestra en tres categorías la condición del uso del suelo en un periodo de tipo 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.	Cartas de uso de suelo y vegetación INEGI III Y IV.	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 captación de agua, absorber CO2, preservar los suelos.	Cálculo, con información de INEGI 2007	Microcuencia	Cálculo de Arc Gis
	Variabes	Sentido	Justificación	Fuente	Nivel de agregación	Observaciones
	Salud					
	Población derechohabiente a servicios de salud	Negativo	Acceso a servicios de salud ante situaciones de desastre o enfermedad	INEGI 2010	Municipio	

Cuadro 3, Cuadro 4, cuadro 5

LITERATURA CITADA

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

Brenkert, A. L., & 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 Internacional para la Investigación del Fenómeno del Niño (CIFEN), 2010. Estrategia provincial del Cambio Climático. Implementación de un sistema de información de vulnerabilidad sectorial de la provincia del Guayas frente al cambio y la variabilidad climática. Gobierno provincial de Guayas, Ecuador. 95 págs.

Cutter S., 2003. Social Vulnerability to environmental hazards, *Social Science Quarterly*, by the Southwestern Social Science Association. 84, 2: 242-261.

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>.

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 07/07/2014

- CONEVAL, 2010. Medición de la pobreza por municipio, México. Disponible en <http://www.coneval.gob.mx/Medicion/Paginas/Medicion-de-la-pobreza-municipal-2010.aspx>. Consultada en 07/07/2014
- Ibarrarán M. E., E. L. Malone, A. L. Brenkert, 2009. Climate change vulnerability and resilience: current status and trends for Mexico; *Environment Development Sustainability*. 12:365–388.
- Instituto Nacional de Ecología, 2005. Contaminación urbana y regional, investigación sobre calidad del aire, México. SEMARNAT, Distrito Federal.
- INEGI, 2002. Uso de Suelo y Vegetación. Escala 1:250 000 Serie III. Información vectorial, México.
- INEGI, 2007. Uso de Suelo y Vegetación. Escala 1:250 000 Serie IV. Información vectorial, México.
- INEGI, 2010, Principales resultados del Censo de Población y Vivienda 2010, México. INEGI, 2007, Censo Agrícola, Ganadero y Forestal, 2007, México.
- INEGI, 2007, Censos económicos, 2009, México.
- IPCC, 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 págs.
- IPCC, 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 págs
- Malone, E. L., and, A. L. Brenkert 2009. Vulnerability, sensitivity, and coping/adaptive capacity worldwide. In M. Ruth & M. E. Ibarra (Eds.), *The distributional effects of climate change and disasters: Concepts and cases*. UK: Edward Elgar Publishing. 215 págs.
- Moss, R. H., A. L. Brenkert., and E. L. Malone, 2001. *Vulnerability to climate change: A quantitative approach*. Washington DC: PacificNorthwestNational Laboratory. 70 págs.
- Nigel W., 2005. Heavyweight attack on climate-change denial, *Current Biology* 15 (4): 109– 110.
- Saaty L. T., 1988. What is the analytic hierarchy process, mathematical model for decision support, *NATO ASI Series*. 48: 109-121.
- Stern, N., 2006. *Stern review on the economics of climate change*. HM Treasury, Londres Inglaterra RU. 662 págs.