

# **INSTITUTO PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE EN MESOAMÉRICA, A.C.**



## **INFORME**

**“ESTUDIO PARA LA DELIMITACIÓN DE AREAS DE RIESGO E IMPACTO DE  
LOS FENOMENOS HIDROMETEOROLOGICOS, COMO ELEMENTOS  
BÁSICOS PARA LA ELABORACIÓN DE UN PLAN DE ACCION PARA  
CONTINGENCIAS AMBIENTALES EN LA CUENCA DEL RIO CUXTEPEQUES”**

San Cristóbal de las Casas, Chiapas.

## INDICE

1. Introducción.....	3
2. Antecedentes.....	3
3. Justificación.....	5
4. Objetivos .....	6
5. Resultados .....	7
6. Procedimiento para la realización del mapa de uso del suelo y vegetación.....	7
7. Procedimiento para la elaboración del mapa de riesgo de erosión.....	14
8. Procedimiento para elaborar el mapa de riesgos .....	22
9. Percepción del riesgo de la población de la cuenca del río Cuxtepeques.....	45
10. Evaluación integral del Riesgo Participativo .....	50
11. Conclusiones.....	52
11. Bibliografía.....	54

## **1. Introducción**

Por su posición geográfica y condiciones físicas el Estado de Chiapas es propenso a fenómenos naturales de gran magnitud que pueden convertirse en calamidades cuando se presentan sobre los asentamientos humanos y zonas productivas. Esta condición de riesgo del Estado de Chiapas, ha sido reiteradamente demostrada por eventos como los ocurridos en el año de 1998 por las lluvias torrenciales en la zona costera y Sierra Madre de Chiapas que produjeron inundaciones de gran magnitud provocadas por el aumento de los caudales de los ríos, afectando a las comunidades, destruyendo cultivos e infraestructura de caminos; la extensión del desastre cubrió 33 municipios, con una estimación de 82.587 damnificados, 423 comunidades afectadas, 240 muertos y 688 desaparecidos. Un caso similar se presentó en el año 2003 con la presencia de la tormenta tropical Larry que a su paso por el estado dejó 39 mil personas damnificadas, nueve mil viviendas en malas condiciones y 28 colonias de diversos municipios con graves inundaciones (Protección Civil, 2003). El desbordamiento del río Sabinal, la erupción el volcán Chichonal, los efectos de actividad sísmica y los problemas de inundaciones al norte del estado entre otros, son otros ejemplos de esta condición de riesgo en el Estado.

## **2. Antecedentes**

La región Sierra en el Estado de Chiapas es vulnerable a inundaciones y a incendios forestales, éste último es considerado como uno de los focos rojos en el Estado. Existe una alta migración de indígenas y población mestiza que realizan actividades agrícolas como roza, tumba y quema en la cuenca alta y media del río Cuxtepeques, lo cual es señalado como una de las principales causas de incendios forestales. Las comunidades inmersas en esta región del Estado, se encuentran con cierto grado de marginación, con rangos de erosión hídrica que fluctúan entre el rango de muy alta, mayor de 200 tn/ha/año a ligera de 5 tn/ha/año. Predomina como actividad primaria principal las actividades agrícolas que

cubren aproximadamente 281 km<sup>2</sup>.

La cuenca del Río Cuxtepeques, como área prioritaria para su atención. A principios del año 2003, la Comisión de Electricidad aporta la cantidad de 1.4 millones de pesos como pago de medidas compensatorias a las líneas de transmisión eléctrica. Con estos recursos se realiza el Diagnóstico y Plan de Manejo Integral de la cuenca media y alta del Río Cuxtepeques por parte de la Universidad de Chapingo.

La cuenca Cuxtepeques Alta con una superficie de 609.76 km<sup>2</sup>, representa un área con elementos de valor escénico, productivo, además de problemáticas que han sido identificadas por diversas evaluaciones realizadas con anterioridad. El potencial de la zona como polo de diversidad biológica, atracción turística y zona productiva, ha llamado la atención a dependencias e instituciones de los tres órdenes de gobierno por desarrollar proyectos integrales de aprovechamiento, los elementos antes señalados y para tal propósito se generó una primera fase de análisis en las que las dependencias e instituciones se insertan en un esquema de planeación coordinado.

Como resultado de dicho análisis surge la conveniencia por un lado de poner en práctica acciones inmediatas orientadas al rescate y conservación, al tiempo que se den proyectos productivos planteados a partir de propuestas de los habitantes de la cuenca, así como prestar atención a las necesidades planteadas por los mismos.

Como respuesta a lo anterior la SEMARNAT del Estado de Chiapas coordina el Plan de Manejo Integral de la Subcuenca Cuxtepeques Alta en el Municipio de la Concordia; Chiapas; el cual tuvo el objetivo de describir en primer instancia las características, limitaciones y distribución geográfica de los elementos que hacen posible el funcionamiento del sistema ecológico de la zona. Dicho plan fue elaborado tomando en consideración la participación de los actores locales, buscando su inserción en proyectos incluyentes del aspecto social que no generen conflictos.

La propuesta de la SEMARNAT y de diferentes instancias de gobierno, educativas y de investigación por coordinarse e integrarse operativa y territorialmente a partir de la

regionalización por cuencas para la aplicación de sus programas, particularmente por que se han visto mayores beneficios al adoptar a la cuenca como unidad de planeación territorial y a la microcuenca como la unidad de intervención. Lo anterior se identifica, después de casi dos años de establecer y coordinar reuniones de trabajo interinstitucionales con los tres órdenes de gobierno, así como la realización de talleres y foros orientados a lograr la inducción hacia la coordinación operativa a nivel de cuencas hidrográficas.

### **3. Justificación**

La degradación ambiental derivado por cambio del uso del suelo por los actuales modelos de desarrollo de las políticas productivas implementada por el gobierno a dado paso el incremento de las áreas tanto para pastizales o como para la agricultura lo que ha orillado a una importante pérdida de la biodiversidad en los recursos naturales en estado de Chiapas.

A estos factores, se suman los eventos hidromereológicos que cada vez son más recurrentes, y que a su paso han tenido un alto impacto en los ecosistemas naturales (parte alta, media, baja y litoral costero) devastando bosques importantes, azolvando esteros y lagunas, taponando las bocabarras de esteros situación que desfavorece el intercambio y renovación de las aguas y el equilibrio ecológico y con esto ha marcado un descenso en la actividad pesquera; además ha habido destrucción en la infraestructura carretera, vivienda y comunicaciones y pérdidas de vidas humanas. Estos fenómenos se estimaban en un período de retorno de 100 años, los cuales se han acortado considerablemente, debido al cambio climático mundial y regional.

En 1998 la Costa de Chiapas, sufrió el embate del huracán “Mitch”, y recientemente en el 2005, la tormenta tropical STAN y WILMA dejó daños económicos (infraestructura carretera, vivienda, servicios, etc.) y ecológicos en 41 municipios y dentro de estos el municipio de la Concordia. Afortunadamente hubo pocas pérdidas de vidas humanas en la entidad Chiapaneca.

Es evidente que con estos fenómenos hidrometeorológicos las partes altas y medias de las cuencas de la región frailesca son altamente vulnerables, debido a que la región presenta suelos muy delgados y fácilmente deslencables y que al estar desprovistos de la cubierta vegetal, los convierte en suelos fácilmente erosionables y que son acarreados a las partes bajas de la cuenca, provocando azolvamiento de los cuerpos de agua y en este caso reduciendo la vida útil de la presa el Portillo, que suministra de energía eléctrica a buena parte de la republica mexicana.

#### **4. Objetivos**

##### **General**

Generar una herramienta para la identificación de zonas vulnerables, conocer el estado de degradación ambiental y crear una propuesta de plan de acción de mitigación del riesgo para la cuenca río Cuxtepeques municipio de La Concordia, Chiapas.

##### **Específicos**

- ◆ Estudiar la dinámica de la cuenca y su relación con situaciones meteorológicas, geológicas y de cobertura vegetal.
- ◆ Cuantificar los fenómenos transporte de sedimentos, relación lluvia-escurrimiento-transporte de sedimentos etc.
- ◆ Generar un plan de acción de contingencias ambientales para el manejo, la restauración, protección y conservación de los recursos naturales en base al modelo de simulación.
- ◆ Conocer la percepción del riesgo de las comunidades que se ubican en la cuenca

## **5. Resultados**

Los resultados de este estudio son los siguientes:

1. Informe técnico final, que contenga la información para proponer acciones preventivas y correctivas para evitar o resarcir los daños provocados por contingencias ambientales al medio natural y los recursos de la cuenca del río Cuxtepeques, municipio de la concordia, Chiapas.
2. Mapas de identificación y delimitación de áreas de riesgo, que considere los cambios de uso del suelo, tasas de erosión, áreas deforestadas y proceso de deforestación, plano de pendientes, plano de vegetación, isoyetas (precipitación pluvial) y causas de ríos.
3. Mapa de erosión actual y potencial tipos y grado de afectación.
4. Mapa de vegetación y uso del suelo del año 2007 de la cuenca Cuxtepeques.
5. El SIG de riesgo de la cuenca Cuxtepeques con todas las Coberturas temáticas que se deriven del estudio.
6. Memoria del taller de percepción del riesgo de las comunidades de la cuenca Cuxtepeques.

## **6. Procedimiento para la realización del mapa de uso del suelo y vegetación**

La importancia del análisis comparativo para las Ciencias que abordan el estudio del espacio es esencial. Desde el desarrollo de la Teoría Regional, el gran geógrafo francés Vidal de la Blanche advirtió que esta era la herramienta más valiosa que se tenía para poder entender los procesos de transformación del territorio. En los países subdesarrollados y en especial en América Latina, existe una importante tradición de estudios comparativos impulsados principalmente por los organismos multilaterales locales. Así que la experiencia de años, nos indica con claridad que esta es la forma de proceder en el desarrollo del conocimiento del espacio.

A continuación se desglosa el método de trabajo que se refiere al análisis general de cambios de uso del suelo realizado para cada uno de los estudios de caso presentados. Dicho trabajo se dividió en tres fases, las cuales constituyeron:

- Realización del Mapa Base y Mapa de Uso Actual del Suelo
- Realización del Análisis de Cambios de Usos del Suelo y Cobertura Forestal y,
- Conformación del Sistema de Consulta de la Información Geográfica.

### **6.1 Fase uno: Recopilación de fuentes de información de sensores remotos, datos del medio físico social, procesamiento para la generación del mapa base y del mapa de uso actual del suelo**

En esta fase, el objetivo fue desarrollar una base de información referida a cada área de trabajo, en general los temas de interés fueron relativos a la poligonal de la cuenca sobre la cual se realizó el análisis y se generaron las coberturas temáticas, tanto de los aspectos del medio físico como social.

**Selección de Imágenes de Satélite.** Para la elaboración de los mapas por la CONANP – SEMARNAT de Uso Actual del Suelo, se requirieron las escenas SPOT con claves E070521151250200 y E070521151044639, correspondientes al año 2007. En general, se utilizaron escenas con menos de un 10% de cubrimiento de nubes, por lo que la fecha de toma se ubicó preferentemente entre los meses de enero a abril, que corresponde a la temporada de secas.

**Obtención de fuentes de información complementaria.** Se utilizó la información existente por parte del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática y se incorporó en un Sistema de Información Geográfica (SIG) que utilizó como plataforma PC ARC/GIS 3.2<sup>MR</sup>. La información disponible corresponde a los aspectos de:

- Geología
- Edafología

- Climas (Temperatura y Precipitación)
- Aguas Superficiales
- Aguas Subterráneas
- Topografía
- Hidrología
- Hipsografía
- Uso del Suelo y Vegetación
- División Municipal
- Localidades y Ciudades

A excepción de la información sobre Topografía e Hidrología, que se encuentra en una escala 1:50,000, el resto de las fuentes cartográficas utilizó fuentes con base en una escala de 1:250,000. Alguna de esta información se obtuvo en formatos digitales, sobre plataformas IDRISI<sup>MR</sup> las cuales fueron transformadas para ARC/GIS. Adicionalmente se dispuso de la información de los Inventarios Nacionales Forestales elaborados por la SEMARNAT en 1996 y 2003.

Para el caso de la integración de la información socioeconómica, esta se seleccionó a nivel de Municipios y Localidades. La fuente de información con mayor detalle con la que se dispuso fue la del XII Censo de Población y Vivienda (INEGI, 2003) y la del Conteo de Población de 2005 (INEGI, 2006), las cuales dieron tanto la referencia geográfica como la información censal propiamente dicha y la cual complementó la base de información a nivel localidad.

**Procesamiento de las imágenes.** Dentro de la realización de la investigación se incluyó la generación de productos específicos para el análisis en la escala de trabajo más grande posible. El objetivo fue proveer una cartografía útil para la realización de estudios a detalle. La generación de mapas de imágenes sobre la base de la información Spot con una escala 1:50,000 pudo ser producida de la siguiente manera:

- Geocodificación de las imágenes utilizando la proyección UTM, referida a los mapas topográficos 1:50,000 de INEGI.
- Se realizó la unión de las dos distintas escenas para la producción de archivos de imagen correspondientes a las cartas 1:50,000 de INEGI.
- Se determinó también la óptima combinación de bandas para elaborar el análisis interactivo, la cual se constituye en la base para la realización de la interpretación visual, clasificación automatizada y generación de índices de vegetación. Las combinaciones de Bandas RGB= 4,3,2, RGB= 4,3,1 ó RGB= 4,1,2 son las que comúnmente se emplearon para análisis de vegetación. La utilización de las bandas 4 en lugar de las bandas del visible (1 a 3) permite una mejor penetración del sensor en zonas tropicales o subtropicales, por encima de lo estándar de la combinación RGB= 3,2,1 comúnmente usada.

**Clasificación de uso actual del suelo.** Basado en la definición de campos de entrenamiento como método de trabajo a partir de una plataforma que utiliza ERDAS IMAGINE 8.1<sup>MR</sup> para PC se clasificaron las fracciones de escenas correspondientes a cada área, de acuerdo a las categorías establecidas con los equipos de investigadores y expertos locales. En esta fase, se obtuvieron categorías generales, lo cual a su vez permitió una posterior subdivisión. Las clases definidas fueron: bosques de latifoliados de clima tropical y de clima templado, coníferas, agricultura, plantaciones, milpas, pastizales, áreas sin vegetación, zonas urbanas y cuerpos de agua. Los pasos que se siguieron para obtener esta clasificación fueron:

- Definición de las poligonales para campos de entrenamiento,
- Obtención de las firmas espectrales de acuerdo a las categorías propuestas e,
- Identificación de los píxeles representativos a cada categoría en los campos de entrenamiento correspondientes
- Clasificación digital preliminar de la escena de acuerdo a los parámetros de los píxeles representativos en los campos de entrenamiento

Con esta base se procedió a la realización de una interpretación visual de las imágenes impresas utilizando las mismas categorías enunciadas anteriormente. Esto apoyó y facilitó

el agrupamiento, digitalización y definición de un producto cartográfico preliminar que sirvió de punto de partida para la siguiente Fase del estudio un mapa temático de Uso actual del suelo escala 1:50,000.

## **6.2 Fase dos. Análisis de cambios de uso del suelo y de la cobertura forestal**

El mapa preliminar de Uso Actual del Suelo, permitió contar con una base de datos espaciales y estadísticos que servirían para evaluar los cambios de cobertura forestal en desde el año 1995 al 2007.

1. Análisis de las imágenes impresas junto con los técnicos y población local para conocer las tendencias de cambio de la cobertura forestal en base al conocimiento histórico y determinación de áreas de muestreo para el levantamiento específico en la Supervisión de Campo.

**Análisis y clasificación digital de las imágenes.** El desarrollo y elaboración del mapa de cambios de uso del suelo y cobertura forestal se obtuvieron utilizando una técnica mixta, que corresponde a análisis visuales y digitales. El empleo combinado de ambas técnicas permitió lograr mejores resultados al reducir el grado de incertidumbre en cuanto al conocimiento actual que tienen los expertos locales y con respecto a los usos del suelo anteriores.

Se realizaron los análisis de la imagen correspondiente al 2007 por el método de paralelepípedos para la generación de 3 vectores de correlación, esto con el fin de normalizar los datos, lo cual permitió reducir los defectos producidos por la atmósfera y otras anomalías radiométricas.

Enseguida, se dio paso a la producción de un Índice de Vegetación de la imagen SPOT basada en el método de KAUTH & THOMAS de ERDAS IMAGINE<sup>MR</sup>. Esto permitió la determinación de diferencias entre el “vigor de la biomasa”, lo cual permitió distinguir: las áreas de vegetación original, acahuals en distinto grado de sucesión, zonas sin vegetación

y otro tipo de parámetros sobre áreas de uso agropecuario.

A continuación se realizó una clasificación no supervisada de la imagen utilizando los tres vectores y el índice de vegetación como entradas. Se “corrieron” un número suficiente de interacciones para la definición de las clases necesarias que permitieran ordenar la imagen completa. En total se utilizaron diez interacciones para la generación de veinte clases.

Utilizando el apoyo del equipo técnico de IDESMAC, y de las coberturas de Uso Actual del Suelo generados en la Fase uno, se asignó nombre a cada firma espectral generada y se reclasificaron todas las clases correspondientes a la imagen.

Finalmente se realizó la vectorización de las poligonales definidas en el ámbito de cada clase para poder contar con una cobertura que permitiera sobreponer de forma retrospectiva la información de los inventarios forestales.

**Análisis e interpretación visual.** La impresión de las imágenes corregidas en la Fase uno, determinó la escala mínima de trabajo útil para las escenas SPOT en una escala 1:50,000 debido a la capacidad de resolución del sensor.

La rodalización de las áreas de cobertura forestal se basó en la interpretación visual que incluyó las clases definidas para la generación del Mapa de Uso Actual del Suelo, la interpretación se apoyó en la utilización de indicadores indirectos como la cercanía a caminos y poblados.

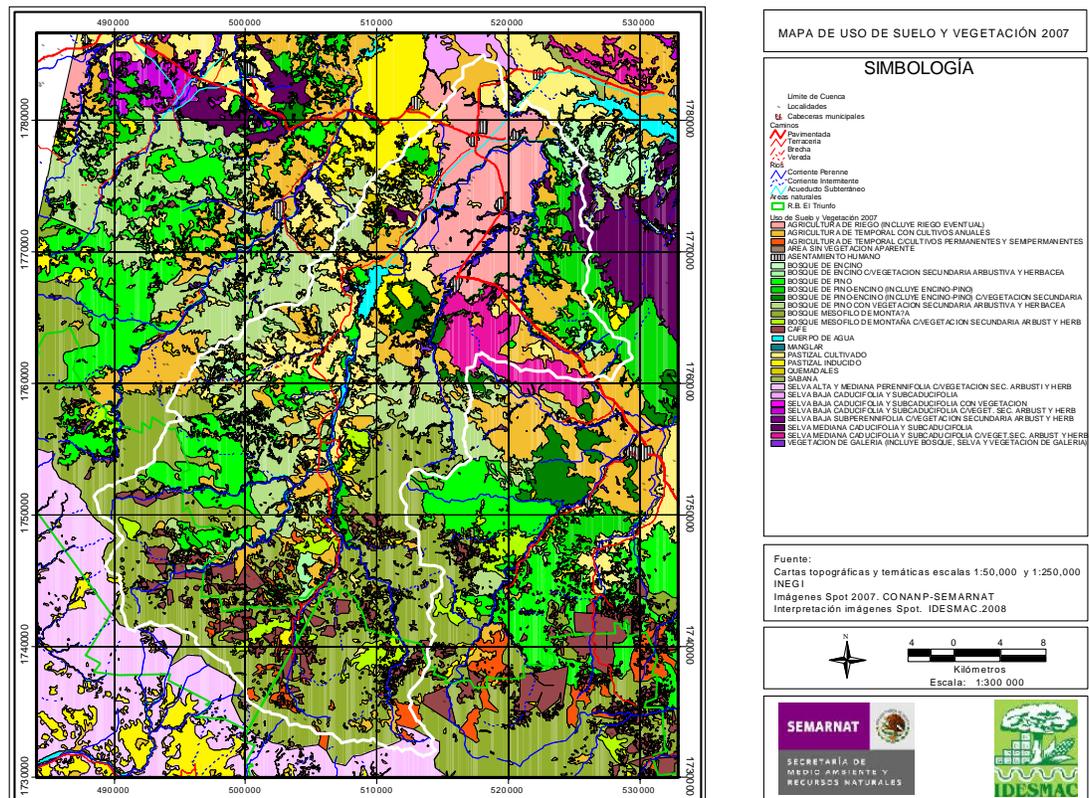
Se utilizó ARC/INFO para crear archivos digitales que pudieron ser comparados a gran detalle en ARC/GIS para el análisis de los cambios de uso del suelo. De manera interactiva se pudieron revisar y ajustar las coberturas generadas en las clasificaciones visual y digital para poder definir una cobertura final para cada década.

**Supervisión de Campo.** Esta visita tuvo por objetivo la identificación en terreno de los puntos o sitios definidos, en donde podía darse cierto grado de certeza a la secuencia de

firmas espectrales, basadas en las categorías de uso del suelo definidas. Esto con el fin de reducir la confusión en la interpretación de las imágenes.

### 6.3 Fase tres: Sistema de Consulta de Información Geográfica

Con todo lo anterior, se crearon las bases para el establecimiento de un sistema para el análisis espacial, la incorporación futura de nuevos datos, y la manipulación e impresión de productos. Se dio un fuerte impulso para la concreción de un SIG, se diseñó provisionalmente una plataforma de salida mediante la utilización de ARC/GIS 3.2<sup>MR</sup>, lo cual permitió contar con una herramienta de consulta de fácil acceso para la información producida.



## **7. Procedimiento para la elaboración del mapa de riesgo de erosión**

La construcción del mapa de erosión se genero partiendo de la extensión realizada por Daniel Farré Huguet de la Universitat de Lleida (2000), basado en la metodología desarrollada por Penella-López (1997). Teniendo como entrada los mapas de: Modelo Digital de Terreno (MDT) en formato Grid, Mapa de Uso de suelo, Mapa Geológico y Mapa Geomorfológico o de formas del terreno.

El proceso general para la obtención del mapa de Riesgo de Erosión es el siguiente: 1. Definir el área de estudio (cuenca de drenaje), 2. Mapa de pendientes, 3. Mapa de orientaciones, 4. Rasterización de los mapas de uso de suelo y vegetación, geológico y geomorfológico, 5. Aplicación de la máscara (recorte del área de estudio), 6. Superposición cartográfica para obtener el mapa de riesgo de erosión y 7. Reclasificación del mapa de riesgo de erosión.

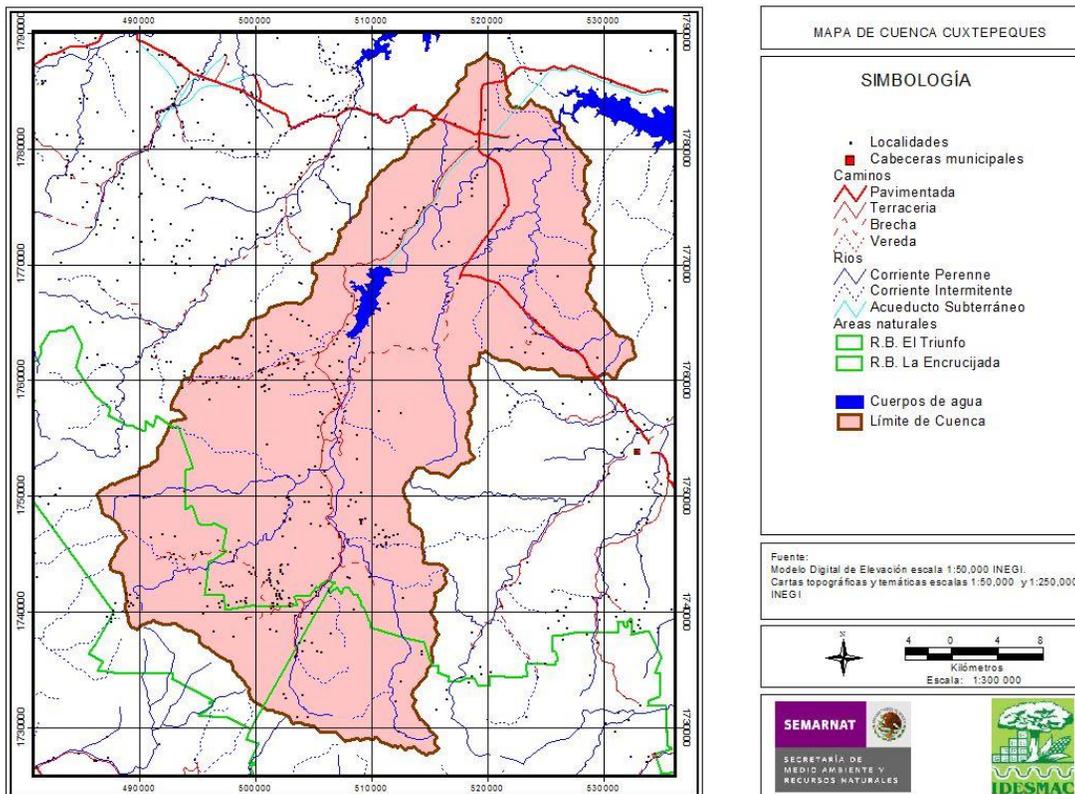
### **7.1 Definir el área de estudio–red de drenaje–área límite.**

Para obtener la red de drenaje de forma automática se tiene que definir un nivel límite o ÁREA LÍMITE (Threshold área) de flujo acumulado, por debajo de la cual las celdas del MDT se consideran que no forman parte de la red de drenaje y por encima de la cual se considera que si que forman parte de la red de drenaje.

Un valor alto de área límite creará redes de drenaje esqueléticas, dónde solo se representan el curso principal. En cambio, un valor bajo de área límite creara redes de drenaje con excesivos elementos, incluyendo áreas por donde el flujo de agua tiende a circular aún que no sea de manera concentrada.

El valor de área límite más adecuado puede ser diferente para cada zona según su relieve. Se considera que el valor óptimo es el que resultaría de la fotointerpretación por un usuario experto (J.A. Martínez Casasnovas).

ESTUDIO PARA LA DELIMITACIÓN DE AREAS DE RIESGO E IMPACTO DE LOS FENOMENOS  
HIDROMETEOROLOGICOS, COMO ELEMENTOS BASICOS PARA LA ELABORACION DE UN PLAN DE ACCION PARA  
CONTINGENCIAS AMBIENTALES EN LA CUENCA DEL RIO CUXTEPEQUES



## 7.2 Definir el área de estudio-cuenca de drenaje–distancia de influencia.

Con el ratón se hace clic sobre un punto de la red de drenaje, este punto define el punto final de la cuenca de drenaje. Es aconsejable hacer un zoom para poder definir el punto con precisión. Se puede crear más de una cuenca de drenaje (área de estudio) con la opción - Cuenca de drenaje a partir de un punto del menú “Cartografía de Erosión”. Si el punto final de la cuenca se define sin tener la red de drenaje como referencia, o teniendo una red de drenaje obtenida por procesos que no derivan del mapa de acumulación de flujo, el resultado puede ser una cuenca de drenaje incompleta. Esto se debe a que no se ha elegido exactamente el punto final de la cuenca.

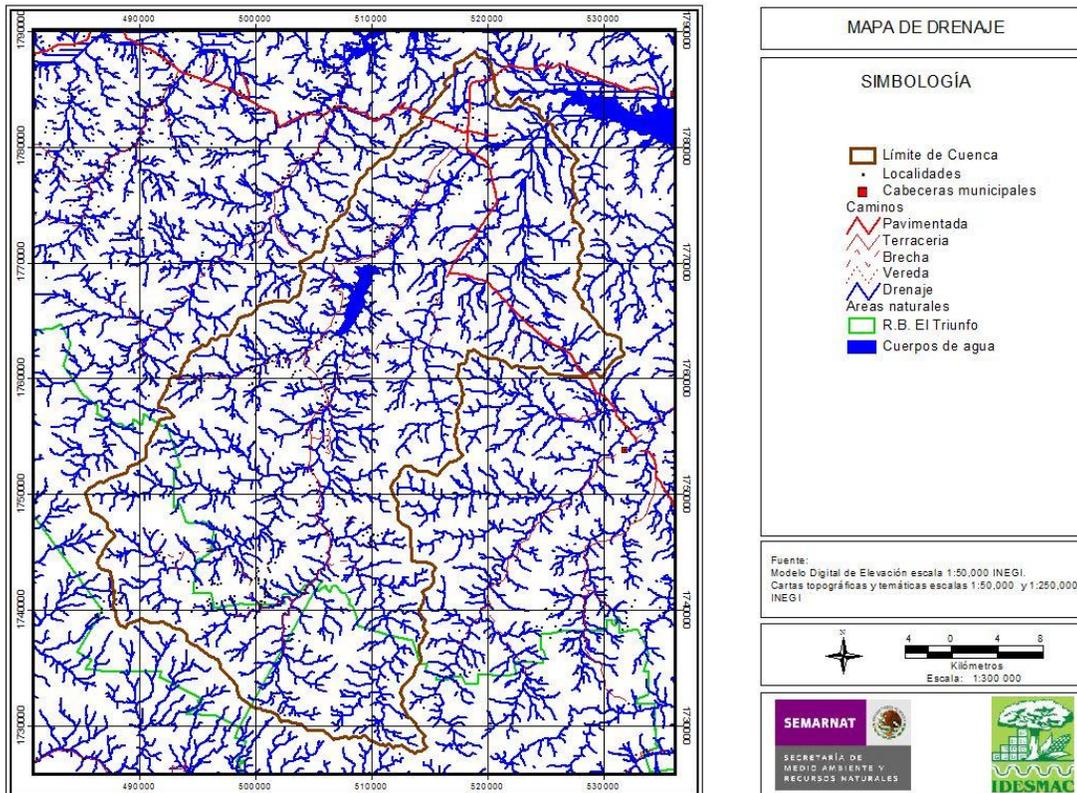
Para resolver este problema se define una DISTANCIA DE INFLUENCIA en unidades del

ESTUDIO PARA LA DELIMITACIÓN DE AREAS DE RIESGO E IMPACTO DE LOS FENOMENOS  
HIDROMETEOROLOGICOS, COMO ELEMENTOS BASICOS PARA LA ELABORACION DE UN PLAN DE ACCION PARA  
CONTINGENCIAS AMBIENTALES EN LA CUENCA DEL RIO CUXTEPEQUES

mapa. La celda con el valor más alto de flujo acumulado, dentro de una distancia de influencia, será la que se cogerá para delimitar la cuenca de drenaje.

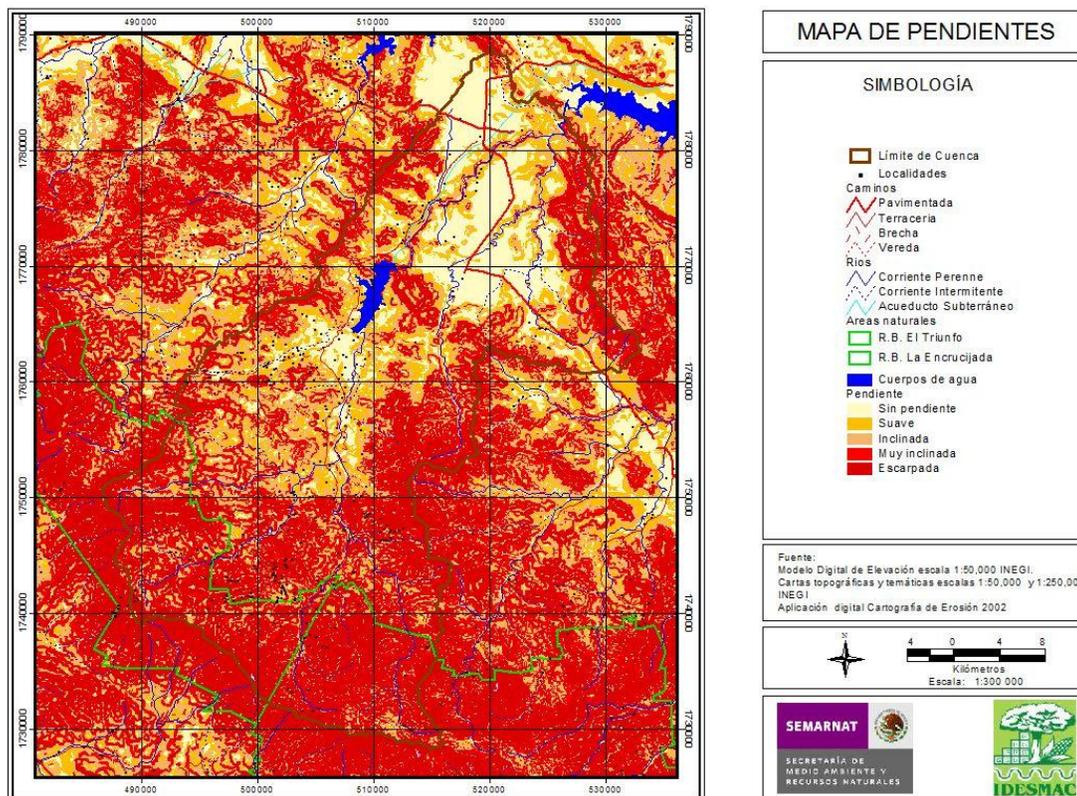
La distancia de influencia ha de ser cero o el valor más pequeño posible, dependiendo del posible error al elegir el punto final de la cuenca, para poder definir una cuenca de drenaje determinada.

Un área de influencia grande puede ser útil para determinar el área de drenaje que va a parar a una zona (camping, pueblo, etc.) y definir, por ejemplo, el peligro que puede existir en caso de una fuerte lluvia.



### 7.3 Mapa de pendientes.

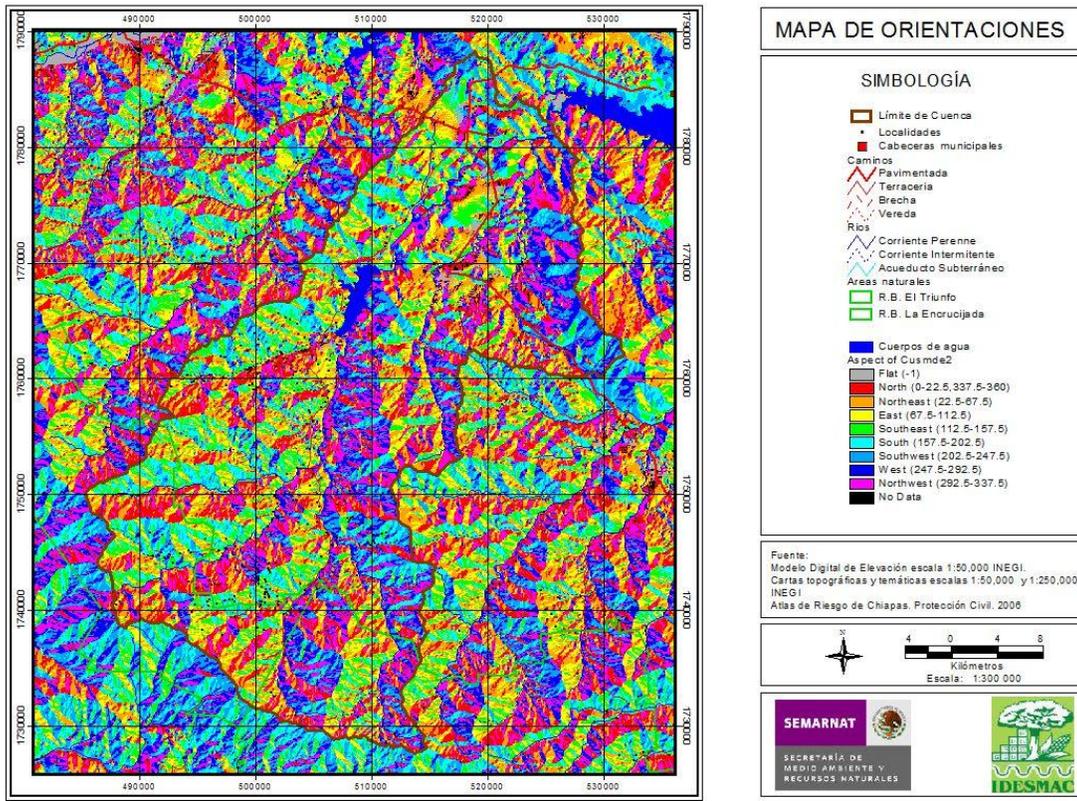
Los intervalos de pendiente tiene que ir correlativos y con el formato (número - número). Con el botón Cancel se retorna al diálogo principal. El valor -1 (zonas planas) tiene que estar incluido a la primera clase. No se puede poner en el último intervalo (>55), el formato correcto es : (55 - 3000).



### 7.4 Mapa de orientaciones.

Zonas con valor -1 (zonas sin orientación; de pendiente cero) normalmente se consideran zonas de orientación Sur. Los intervalos de orientaciones se tienen que introducir de forma correlativa y con el formato (número - número). Por ejemplo, el valor -1 se tiene que introducir obligatoriamente al primer intervalo como (-1 - 0). Con el botón Cancel se retorna al diálogo principal.

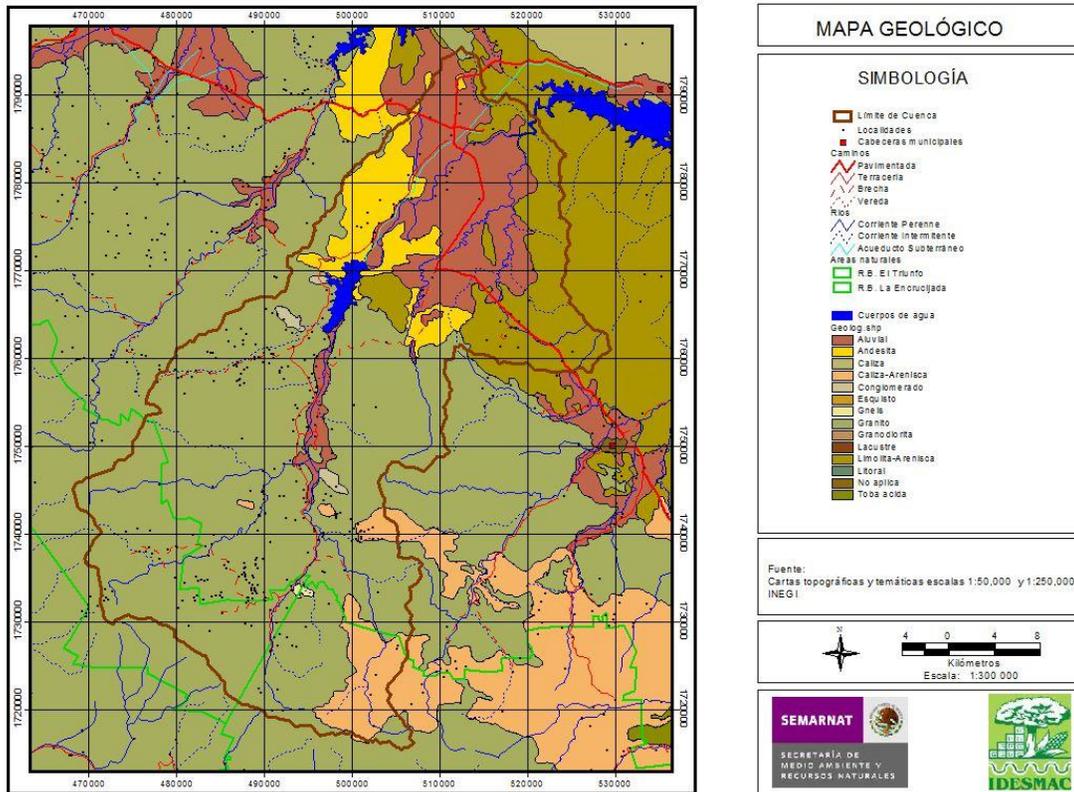
ESTUDIO PARA LA DELIMITACIÓN DE AREAS DE RIESGO E IMPACTO DE LOS FENOMENOS  
HIDROMETEOROLOGICOS, COMO ELEMENTOS BASICOS PARA LA ELABORACION DE UN PLAN DE ACCION PARA  
CONTINGENCIAS AMBIENTALES EN LA CUENCA DEL RIO CUXTEPEQUES



### 7.5 Rasterización del mapa de uso de suelo y vegetación, geológico y geomorfológico.

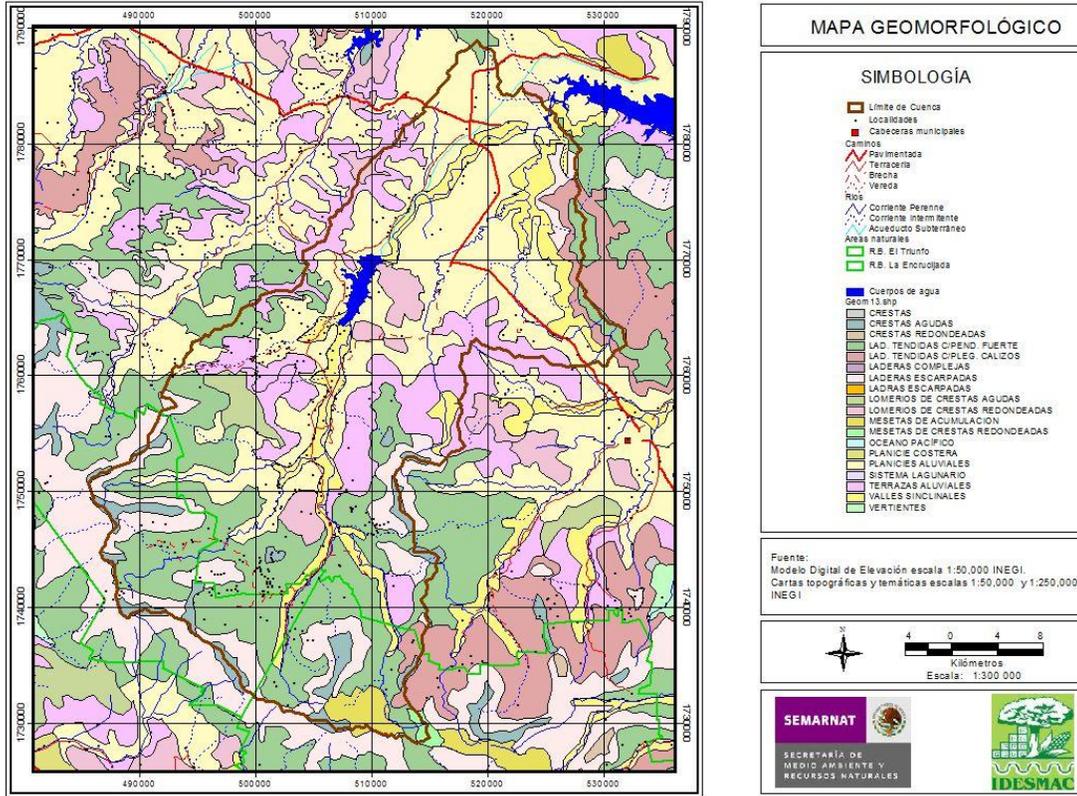
Los mapas de Usos, Geológico y Geomorfológico tienen que tener el formato vectorial de ArcView (Shapefile) o el formato de ArcInfo. Se tiene que seleccionar un atributo de cada cobertura dónde estén representados los valores del factor de erosión. Este valor es el que se le asigna a la celda en el mapa Grid que se obtiene de la rasterización.

ESTUDIO PARA LA DELIMITACIÓN DE ÁREAS DE RIESGO E IMPACTO DE LOS FENÓMENOS  
 HIDROMETEOROLÓGICOS, COMO ELEMENTOS BÁSICOS PARA LA ELABORACIÓN DE UN PLAN DE ACCIÓN PARA  
 CONTINGENCIAS AMBIENTALES EN LA CUENCA DEL RÍO CUXTEPEQUES



Los valores de factor de erosión tienen que ser números enteros. Por ejemplo, estos varían de 1 (poco riesgo de erosión) a 10 (alto riesgo de erosión). La resolución y extensión de los mapas Grid que se obtienen vienen marcados por el Modelo Digital de Terreno. Es importante que la resolución de estos 3 mapas sea la misma que la del mapa de pendientes y de orientaciones para poder hacer un análisis conjunto y obtener el mapa final de riesgo de erosión.

ESTUDIO PARA LA DELIMITACIÓN DE ÁREAS DE RIESGO E IMPACTO DE LOS FENÓMENOS  
HIDROMETEOROLÓGICOS, COMO ELEMENTOS BÁSICOS PARA LA ELABORACIÓN DE UN PLAN DE ACCIÓN PARA  
CONTINGENCIAS AMBIENTALES EN LA CUENCA DEL RÍO CUXTEPEQUES



### 7.6 Aplicación de la máscara (recortar área de estudio).

Todos los mapas deben tener formato Grid. La cuenca de drenaje debe de tener el valor 1 por las zonas que pertenecen en el área de estudio, y el valor 0 por el resto. Si se selecciona la opción “Reclasificar el mapa de erosión”, también tiene que estar seleccionada la opción “Superposición Cartográfica”.

### 7.7 Superposición cartográfica para obtener el mapa de riesgo de erosión.

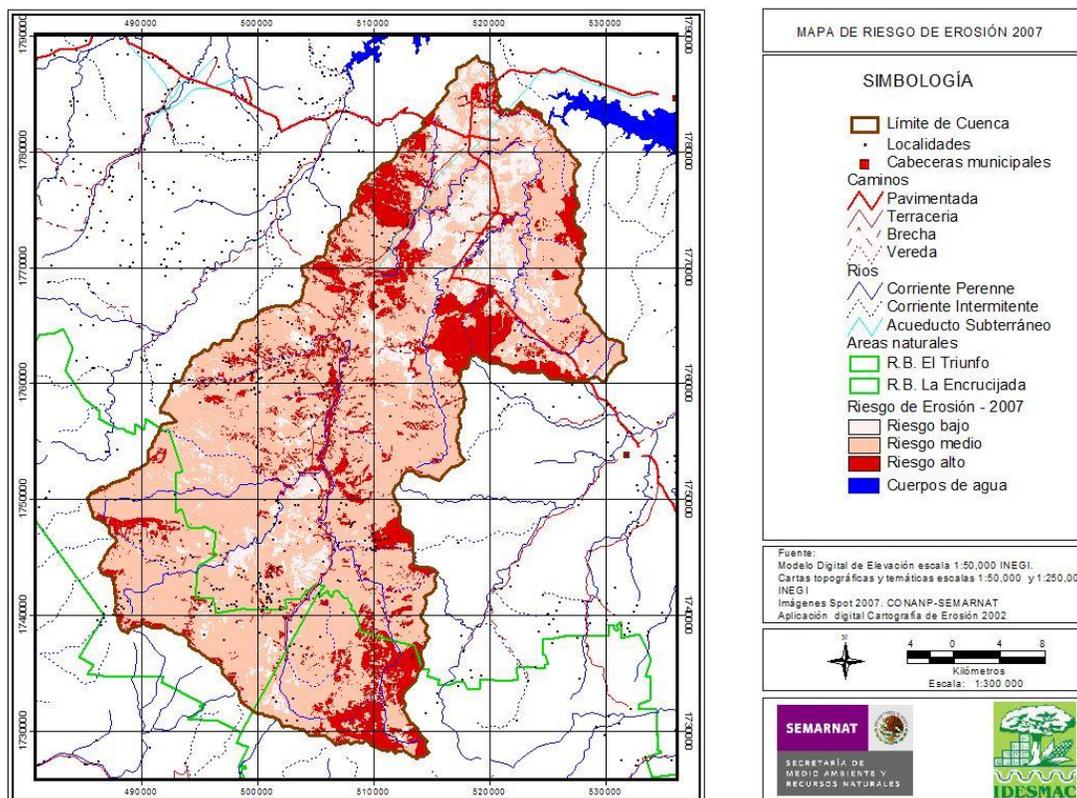
La Superposición Cartográfica consiste en la suma espacial de los 5 mapas obteniendo un mapa cualitativo de riesgo de erosión. Se tienen que seleccionar los mapas (de Usos, Geológico, Geomorfológico, de Pendientes y de Orientaciones) que ya tienen la máscara aplicada. Para aplicar la máscara se tiene que seleccionar la opción 5. “Aplicación de la máscara” (recortar el área de estudio) del menú “Cartografía de erosión”. El mapa que se

obtiene por Superposición Cartográfica se tiene que reclasificar para obtener zonas con diferente riesgo de erosión. Para reclasificar selecciona la opción de este menú “Reclasificar el mapa de riesgo de erosión” o posteriormente seleccionar esta opción en el menú “Cartografía de erosión” del documento Vista.

Todos los mapas tienen que tener el formato Grid y tienen que estar clasificados según factores de erosión.

### 7.8 Reclasificación del mapa de erosión.

Los valores por defecto son los que se utilizaron en el trabajo de Penella (1997). Los intervalos de pendientes tienen que ir correlativos y con el formato (número - número).



## **8. Procedimiento para elaborar el mapa de riesgos**

### **8.1 Introducción**

El trabajo que aquí se presenta es el resultado de un proyecto de investigación desarrollado por el Instituto para el Desarrollo Sustentable en Mesoamérica A.C. (IDESMAC), por encargo de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales en colaboración con los integrantes del Consejo de Cuenca del Río Cuxtepeques, funcionarios públicos, académicos y representantes de los usuarios de la cuenca. .

El objetivo principal del proyecto es dotar al Consejo de Cuenca de un instrumento de análisis geográfico que permita la formulación de planes, programas y acciones relativas a la prevención de desastres. Para ello, se intentaba obtener los siguientes resultados: a) Generación de una serie de mapas de exposición a las principales amenazas que azotan el territorio de la cuenca de forma más o menos periódica. b) La identificación global de zonas de riesgos catastróficos con incidencia sobre la vida, la salud y las actividades económicas a efectos de la localización precisa y la gradación de posibles daños (escenarios catastróficos).

Para ello se han utilizado los procedimientos, ya bien conocidos, de cartografía de riesgos (Laín, 2000), en el siguiente apartado se detallan los componentes usuales de un mapa de riesgos.

### **8.2 Los componentes de la cartografía de riesgos**

En primer lugar, tenemos que definir el concepto de mapa de riesgo y sus componentes. De manera general, la cartografía de riesgos tiene como objetivo "identificar las áreas geográficas susceptibles de sufrir daño en caso de que una amenaza se haga realidad" (Lowry et al., 1995). Habitualmente (Jiménez y Laín, 200, Bosque Sendra *et al.*, 2000), se considera que el riesgo ante un peligro (natural o de origen humano) se puede

medir mejor considerándolo compuesto de dos elementos: la exposición al peligro, lo que a veces se denomina peligrosidad natural, y la vulnerabilidad del territorio ante un peligro. Vamos a precisar cada uno de estos conceptos.

La **exposición** sería la probabilidad de que un suceso potencialmente dañino ocurra en un lugar y dentro de un periodo de tiempo definido.

Por lo tanto, su determinación requiere realizar dos tipos de operaciones, por un lado establecer la exposición territorial al peligro, es decir, qué zonas se verán mas afectadas y cuales lo serán menos, y por otra parte, cuantas veces puede ocurrir un fenómeno dañino dentro de un periodo de tiempo determinado, por ejemplo un año. Evidentemente ambos datos son muy específicos y diferentes para cada fuente de peligro. Las zonas expuestas a una inundación no suelen coincidir con las que pueden sufrir un terremoto, etc. Por lo tanto, como se verá mas adelante, para cada una de las amenazas estudiadas en este trabajo se ha utilizado un procedimiento diferente para establecer las zonas expuestas y el nivel de la gravedad de esa exposición.

De manera muy general, podemos considerar que la localización (distancia y posición espacial) respecto al foco de ese hecho dañino es el mayor determinante de la exposición. Por supuesto también depende del alcance y propiedades dañinas de la posible catástrofe y de las condiciones del medio físico para propagar sus efectos.

Igualmente la determinación del periodo de retorno, es decir de la probabilidad de que ocurra un hecho dañino en un intervalo temporal, también es muy específico de cada peligro, y su cálculo se suele basar en el estudio de los fenómenos peligrosos ocurridos a lo largo de la historia pasada para, en función de ello, establecer una probabilidad de ocurrencia. En este trabajo este aspecto no se ha tratado en profundidad.

En resumen, para elaborar los mapas de riesgos finales vamos a establecer las zonas de la Cuenca de Cuxtepeques expuestas a la acción de diversos fenómenos peligrosos, diferenciando así zonas más o menos libres de amenazas y otras con más posibilidades

de ser afectadas por los daños.

La **vulnerabilidad** del territorio a los riesgos, la podemos definir como: “susceptibilidad de la vida, propiedades y medio ambiente para ser dañados en caso de catástrofe”, o como “el nivel de resistencia a las pérdidas que un lugar tiene cuando es afectado por un fenómeno dañino”.

Depende de la fragilidad tanto del medio natural, como de la población humana y de sus actividades. Normalmente supone la identificación de grupos humanos y usos del suelo sensibles. Por lo tanto, la vulnerabilidad territorial hace referencia al potencial de una población para experimentar graves daños en caso de accidente y está relacionada con aspectos como el estándar de vida, salud y nivel cultural o con la existencia de sistemas de protección civil; hay grupos de población especialmente vulnerables (ancianos y niños, enfermos, sectores marginales, etc.) como lo son también ciertos usos del suelo o actividades (hospitales, escuelas, determinados cultivos, etc.).

El **riesgo** es el resultado de la conjunción de exposiciones y vulnerabilidades. Una vez definidos los mapas de exposición al riesgo y vulnerabilidad territorial podemos, combinándolos, obtener el mapa síntesis de riesgo, que es considerado, por lo tanto, como una consecuencia de la interacción de exposición y vulnerabilidad. El mapa de riesgos, por lo tanto, será el resultado de cruzar y combinar los mapas de exposición y vulnerabilidad.

De esta manera, el mapa de riesgo muestra una valoración global de las consecuencias de un fenómeno dañino en cada uno de los lugares analizados, en función de las posibles pérdidas de vidas humanas, heridos, propiedades dañadas, o alteración de las actividades económicas derivada de la acción del fenómeno citado.

### **8.3 La medición de la exposición y de la vulnerabilidad a los peligros**

Los elementos incorporados en el apartado de amenazas de nuestro modelo de riesgos se han reducido a seis debido básicamente a la disponibilidad de los datos que se pudieron reunir: las inundaciones debidas a desbordamiento de ríos y, cauces fluviales y los deslizamientos de laderas.

#### a) Exposición a inundaciones derivados de los ríos y cauces fluviales

El objetivo prioritario de este mapa es localizar aquellas zonas del país que tienen una posibilidad elevada de sufrir inundaciones. Las inundaciones generalmente están ligadas directamente a uno o varios de los siguientes procesos genéticos: a) Desbordamientos naturales del agua de los cauces durante momentos de precipitaciones muy intensas, debido a que el caudal de agua fluyente supera a la capacidad natural del cauce. b) Encharcamientos en zonas llanas, mal drenadas y en sustrato impermeable. c) Obras públicas, como carreteras, ferrocarriles, canales de riesgo y edificaciones, que reducen el caudal máximo que es capaz de evacuar un cauce sin desbordar, o bien que reducen la capacidad drenante de las llanuras de inundación en momentos críticos. d) Deslizamientos de laderas que desciendan hasta ocupar total o parcialmente la zona aluvial, actuando a modo de embalse. e) Zonas de desembocadura de ríos cuyo desagüe se dificulta por las fuertes mareas.

En este estudio se ha considerado que para conseguir el objetivo propuesto, de acuerdo con la escala cartográfica requerida y a la vista de la escasez de información, no era recomendable abordar los cuatro últimos aspectos. En consecuencia el estudio se centró en intentar caracterizar zonas inundables por desbordamientos fluviales naturales. Dichos desbordamientos están ligados a las llanuras de inundación de los ríos.

El método utilizado se ha basado en el mapa geológico de INEGI (1979), el mapa topográfico (1979) y el de pendientes (generado a partir de un modelo digital del terreno con un pixel de 50 m, la resolución de todos los mapas utilizados en este trabajo).

Se han considerado únicamente las tres categorías siguientes: zonas de alta susceptibilidad a la inundación, zonas de susceptibilidad moderada a la inundación, y zonas no inundables (Martín Loeches *et al*, 2002).

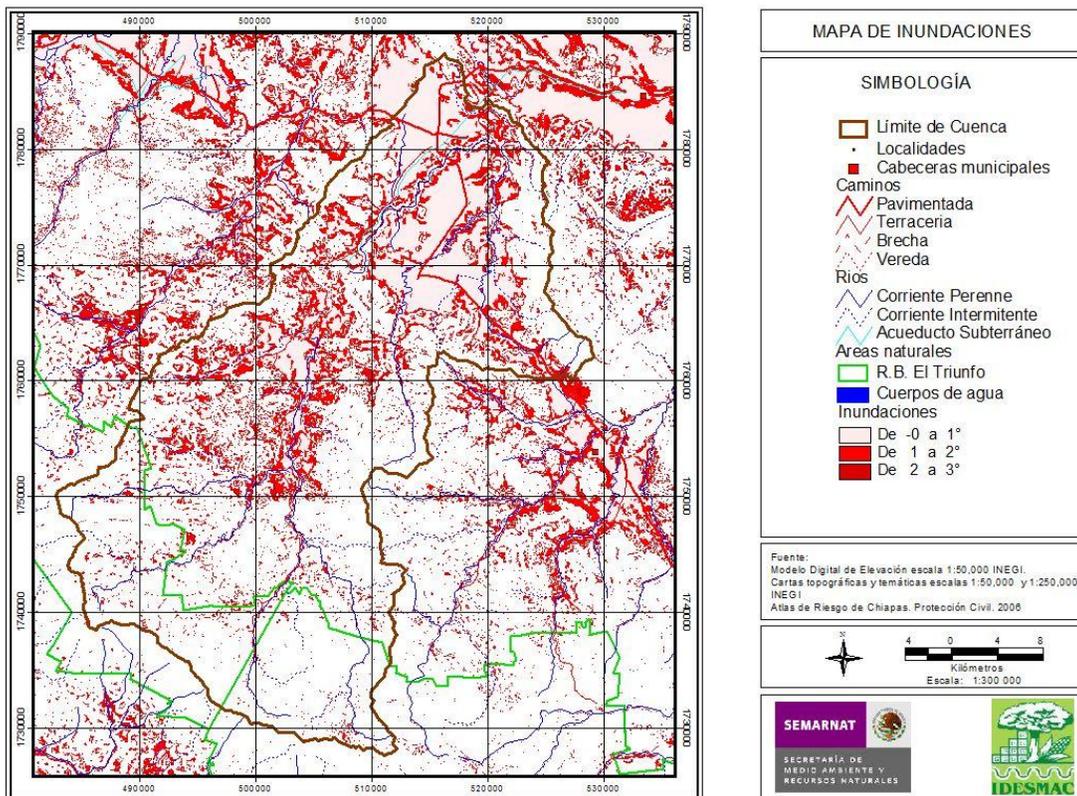
Los criterios utilizados para definir qué parte del territorio de la cuenca se incluye en cada una de estas categorías son los siguientes:

- *Zonas de alta susceptibilidad a la inundación:* son aquellas zonas cartografiadas (en el mapa geológico) como cuaternario aluvial, con pendientes inferiores o iguales al 2% y situadas hasta 3 m de altura por encima del cauce de los ríos.
- *Zonas de susceptibilidad moderada a la inundación:* son aquellas zonas cartografiadas como cuaternario aluvial, con pendientes inferiores o iguales al 2% y situadas entre 3 y 10 m de altura por encima del cauce de los ríos.
- *Zonas no inundables:* el resto de zonas que no cumplen las condiciones anteriores.

De este modo se obtiene un mapa que muestra la diferente situación de cada zona de la cuenca respecto a la exposición a inundaciones. Este mapa y los siguientes mencionados en este texto se han obtenido mediante la utilización del programa IDRISI, evidentemente los mapas iniciales han sido convertidos u obtenidos en formato digital, mediante diversos procesos.

Es importante recordar que nuestro objetivo final, como ya se ha mencionado, es combinar éste y otros mapas para obtener la cartografía del riesgo; para llevar a cabo esta combinación de mapas es necesario que todos ellos se encuentren expresados en las mismas unidades, por ello el mapa obtenido se ha convertido a una escala que varía entre 0 y 1, el cero indica el valor mínimo de exposición a las inundaciones y el 1 el máximo. Esta normalización al intervalo [0,1] se realiza utilizando funciones borrosas (fuzzy) disponibles en IDRISI. Es necesario indicar que el riesgo es directamente proporcional a la exposición, es decir que, valores cercanos a cero de exposición señalan, si el resto de los factores se mantienen constantes, valores bajos de riesgo.

ESTUDIO PARA LA DELIMITACIÓN DE AREAS DE RIESGO E IMPACTO DE LOS FENOMENOS  
HIDROMETEOROLOGICOS, COMO ELEMENTOS BASICOS PARA LA ELABORACION DE UN PLAN DE ACCION PARA  
CONTINGENCIAS AMBIENTALES EN LA CUENCA DEL RIO CUXTEPEQUES

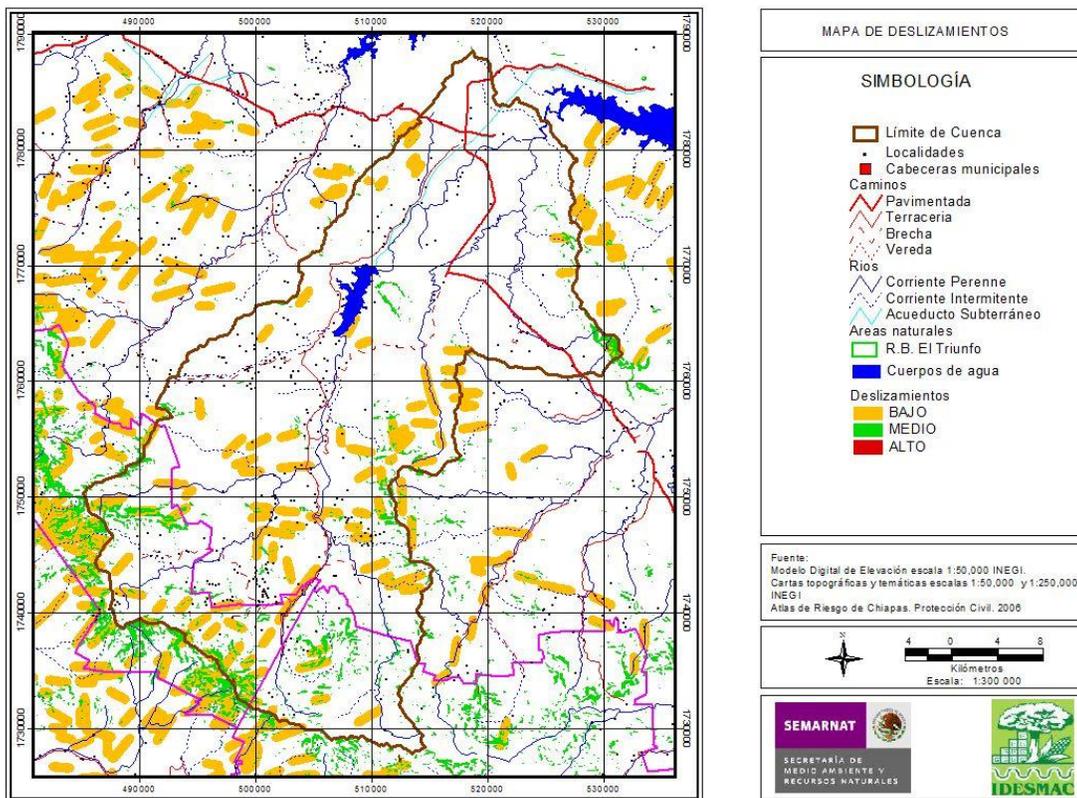


Un último aspecto importante de este mapa, y de los tres siguientes, es el grado de incertidumbre que podemos suponer afectan a los valores cartografiados en él. Es decir, tenemos que admitir que, ya sea por los posibles errores de los mapas fuente usados para construir este mapa de exposición, ya sea por las casi seguras insuficiencias del procedimiento empleado para su construcción, este mapa contiene un cierto nivel de incertidumbre que es importante establecer ya que será empleado para matizar y precisar el mapa de riesgos que vamos a obtener.

En este caso particular la incertidumbre se ha estimado en un valor del 20%, basado en los cálculos de los autores del mapa en relación al grado de conocimiento existente en los datos de partida. Este grado de conocimiento será formalizado más adelante y se conocerá con el nombre de credibilidad.

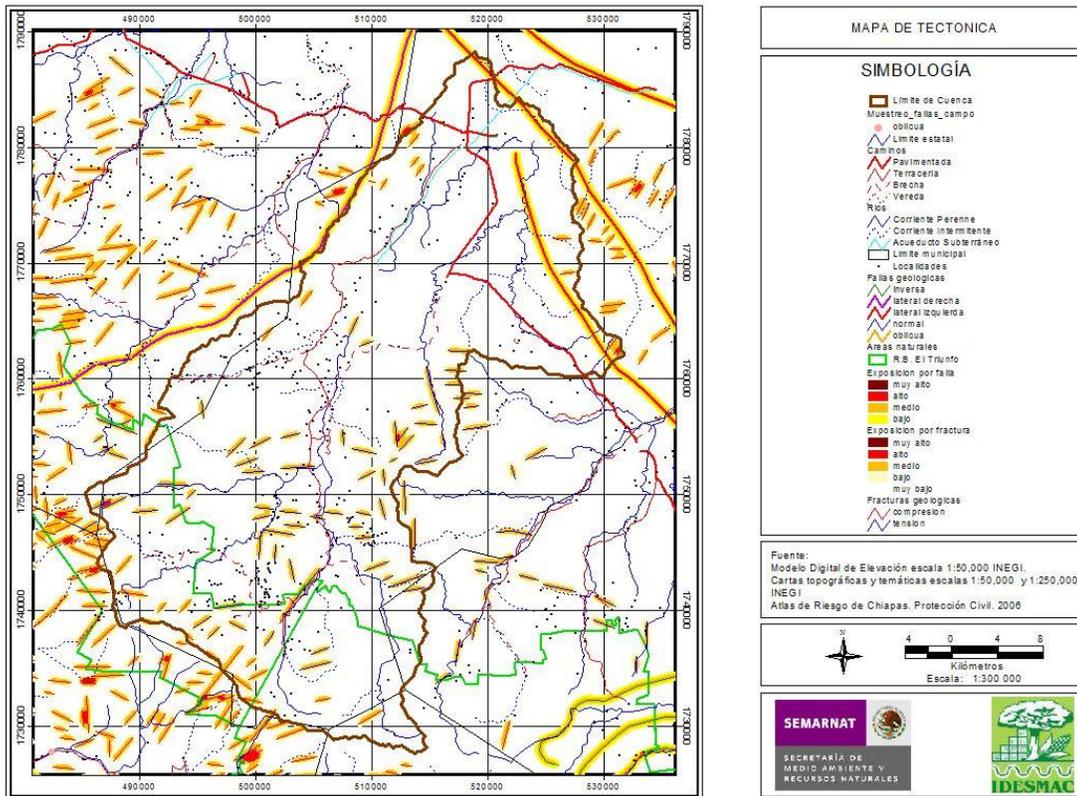
b) Exposición a deslizamientos de laderas

El Mapa de Susceptibilidad del Terreno por Deslizamientos y Movimientos de Laderas de Chiapas a escala 1:250,000 fue realizado a partir del Convenio del Gobierno del Estado de Chiapas con la Universidad Nacional Autónoma de México, un año después del paso del huracán Stan, estando aún en vigor el Decreto que declaró la Emergencia sobre un conjunto de municipios de las regiones Sierra, Costa, Soconusco y Frailesca del estado de Chiapas declarados tras este desastre de devastadoras consecuencias que sumió a la entidad en un arduo proceso de reconstrucción (Hernández, M. et al, 2000) y ha sido utilizado en el proyecto cedido amablemente por sus autores.



c) Exposición a Tectonismo y fallas estructurales

Se ubicaron las discontinuidades que se forman en las rocas superficiales por fractura, cuando las fuerzas tectónicas superan la resistencia de las rocas. Su formación va acompañada de deslizamientos de rocas. El movimiento causante de la dislocación puede tener diversas direcciones: vertical, horizontal o una combinación de ambas. Su desplazamiento puede ser de miles de metros y muestra el efecto acumulado, durante largos periodos, de pequeños e imperceptibles desplazamientos, en vez de un gran levantamiento único. Sin embargo, cuando la actividad en una falla es repentina y brusca, se puede producir un gran terremoto, e incluso una ruptura de la superficie terrestre.



d) Exposición a Sismos

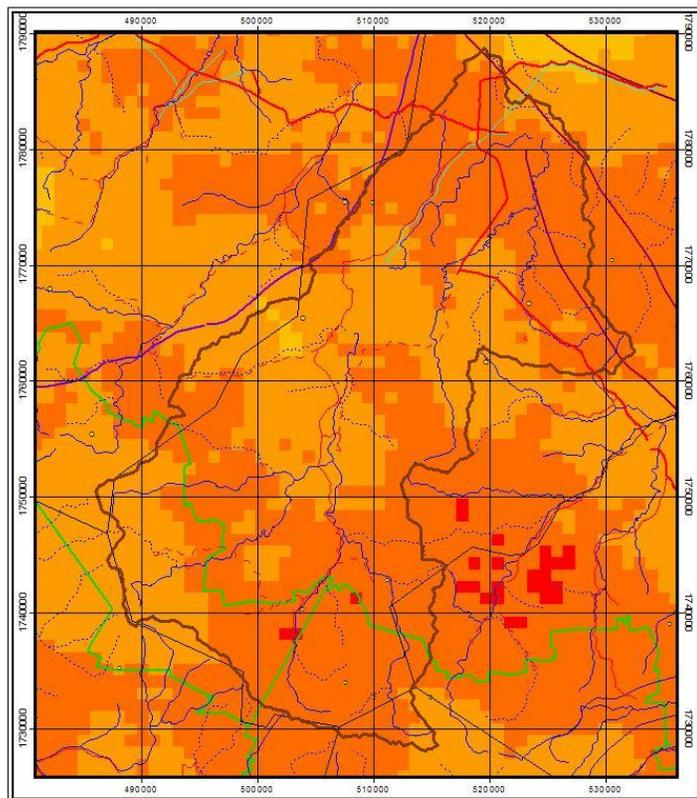
Se definieron las zonas con mayor frecuencia de movimientos bruscos del terreno, producidos por disturbios tectónicos. Tomando como referencia la escala de Mercalli que toma para su definición a)La energía del terremoto, b)La distancia de la falla donde se produjo el terremoto, c)La forma como las ondas llegan al sitio en que se registra (oblícuo, perpendicular, etc.), d)Las características geológicas del material subyacente del sitio donde se registra la Intensidad y, lo más importante, e)Cómo la población sintió o dejó registros del terremoto.

Escala de Mercalli:

Grado I	Sacudida sentida por muy pocas personas en condiciones especialmente favorables.
Grado II	Sacudida sentida sólo por pocas personas en reposo, especialmente en los pisos altos de los edificios. Los objetos suspendidos pueden oscilar.
Grado III	Sacudida sentida claramente en los interiores, especialmente en los pisos altos de los edificios, muchas personas no lo asocian con un temblor. Los vehículos de motor estacionados pueden moverse ligeramente. Vibración como la originada por el paso de un carro pesado. Duración estimable
Grado IV	Sacudida sentida durante el día por muchas personas en los interiores, por pocas en el exterior. Por la noche algunas despiertan. Vibración de vajillas, vidrios de ventanas y puertas; los muros crujen. Sensación como de un carro pesado chocando contra un edificio, los vehículos de motor estacionados se balancean claramente.
Grado V	Sacudida sentida casi por todo el mundo; muchos despiertan. Algunas piezas de vajilla, vidrios de ventanas, etcétera, se rompen; pocos casos de agrietamiento de aplanados; caen objetos inestables . Se observan perturbaciones en los árboles, postes y otros objetos altos. Se detienen de relojes de péndulo.
Grado VI	Sacudida sentida por todo mundo; muchas personas atemorizadas huyen hacia afuera. Algunos muebles pesados cambian de sitio; pocos ejemplos de caída de aplanados o daño en chimeneas. Daños ligeros.
Grado VII	Advertido por todos. La gente huye al exterior. Daños sin importancia en edificios de buen diseño y construcción. Daños ligeros en estructuras ordinarias bien construidas; daños considerables en las débiles o mal planeadas; rotura de algunas chimeneas. Estimado por las personas conduciendo vehículos en movimiento.
Grado VIII	Daños ligeros en estructuras de diseño especialmente bueno; considerable en edificios ordinarios con derrumbe parcial; grande en estructuras débilmente construidas. Los muros salen de sus armaduras. Caída de chimeneas, pilas de productos en los almacenes de las fábricas, columnas, monumentos y muros. Los muebles pesados se vuelcan. Arena y lodo proyectados en pequeñas cantidades. Cambio en el nivel del agua de los pozos. Pérdida de control en las personas que guían vehículos motorizados.

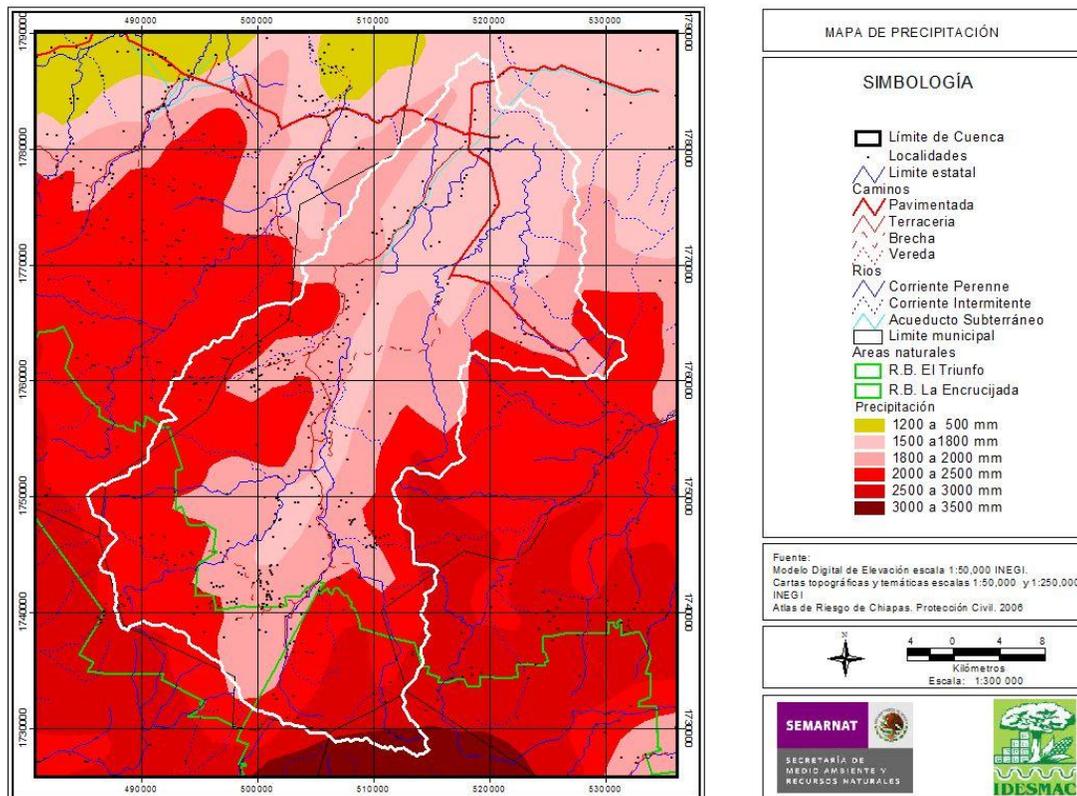
**ESTUDIO PARA LA DELIMITACIÓN DE AREAS DE RIESGO E IMPACTO DE LOS FENOMENOS  
HIDROMETEOROLOGICOS, COMO ELEMENTOS BASICOS PARA LA ELABORACION DE UN PLAN DE ACCION PARA  
CONTINGENCIAS AMBIENTALES EN LA CUENCA DEL RIO CUXTEPEQUES**

Grado IX	Daño considerable en las estructuras de diseño bueno; las armaduras de las estructuras bien planeadas se desploman; grandes daños en los edificios sólidos, con derrumbe parcial. Los edificios salen de sus cimientos. El terreno se agrieta notablemente. Las tuberías subterráneas se rompen.
Grado X	Dstrucción de algunas estructuras de madera bien construidas; la mayor parte de las estructuras de mampostería y armaduras se destruyen con todo y cimientos; agrietamiento considerable del terreno. Las vías del ferrocarril se tuercen. Considerables deslizamientos en las márgenes de los ríos y pendientes fuertes. Invasión del agua de los ríos sobre sus márgenes.
Grado XI	Casi ninguna estructura de mampostería queda en pie. Puentes destruidos. Anchas grietas en el terreno. Las tuberías subterráneas quedan fuera de servicio. Hundimientos y derrumbes en terreno suave. Gran torsión de vías férreas.
Grado XII	Dstrucción total. Ondas visibles sobre el terreno. Perturbaciones de las cotas de nivel (ríos, lagos y mares). Objetos lanzados en el aire hacia arriba.



e) Exposición a Lluvias torrenciales

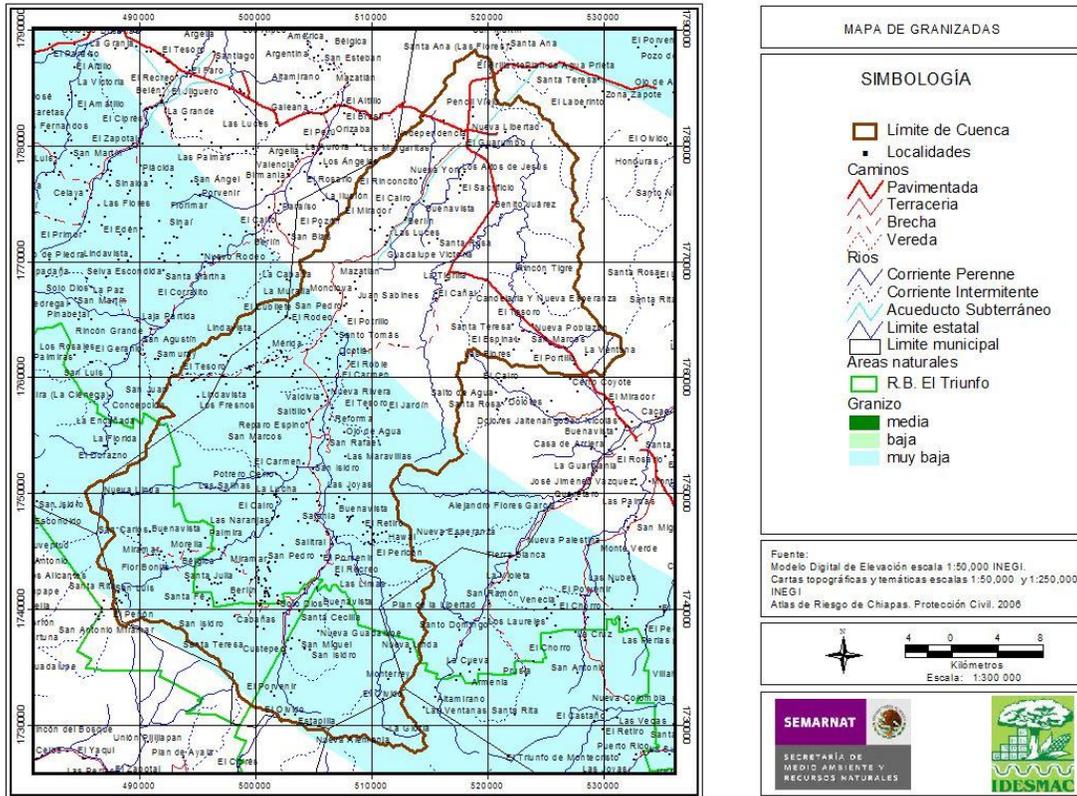
Las lluvias torrenciales son movimientos de masa de aire y agua que se forman en el mar y suelen provocar vientos con velocidades superiores a 100 km/h. Aunque con frecuencia llegan a ser altamente destructivos y con una temporalidad de varias horas.



f) Exposición a Granizadas

Se identificaron las zonas donde es más recurrente este tipo de precipitación que consiste en partículas irregulares de hielo. El granizo se produce en tormentas intensas en las que se producen gotas de agua *sobreenfriadas*, es decir, aún líquidas pero a temperaturas por debajo de su punto normal de congelación (0 °C), y ocurre tanto en verano como en invierno, aunque el caso se da más cuando está presente la canícula.

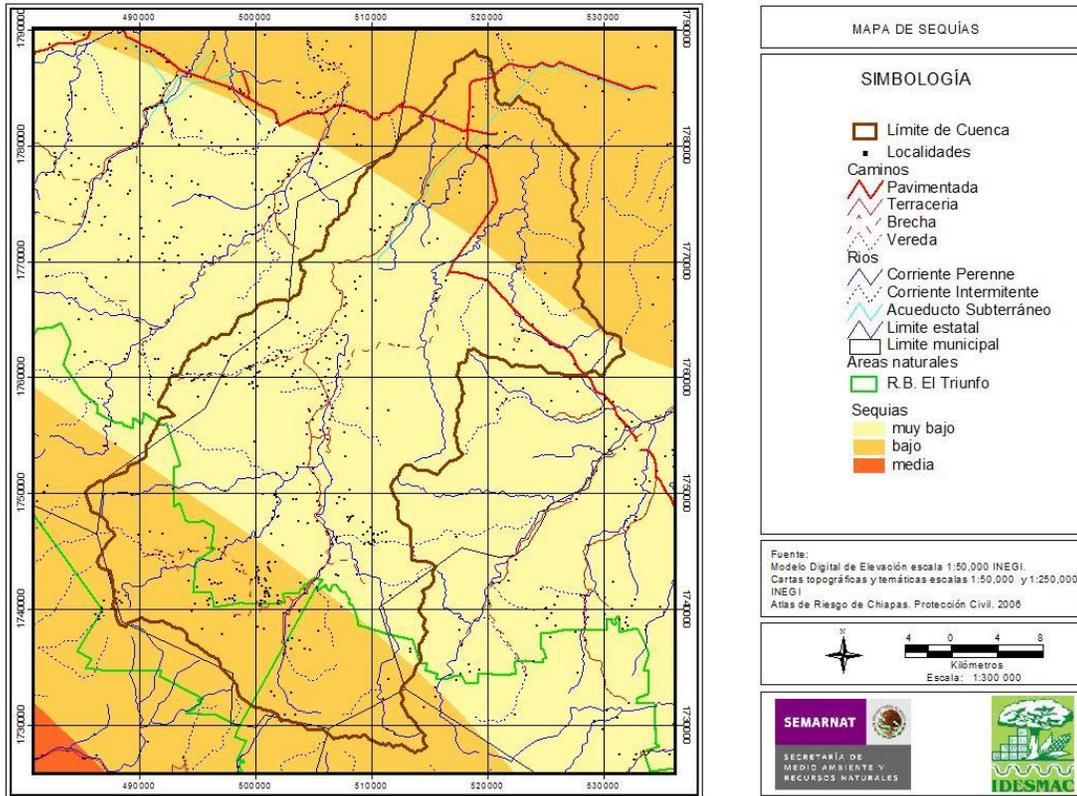
ESTUDIO PARA LA DELIMITACIÓN DE ÁREAS DE RIESGO E IMPACTO DE LOS FENÓMENOS  
HIDROMETEOROLÓGICOS, COMO ELEMENTOS BÁSICOS PARA LA ELABORACIÓN DE UN PLAN DE ACCIÓN PARA  
CONTINGENCIAS AMBIENTALES EN LA CUENCA DEL RÍO CUXTEPEQUES



g) Exposición a Sequías

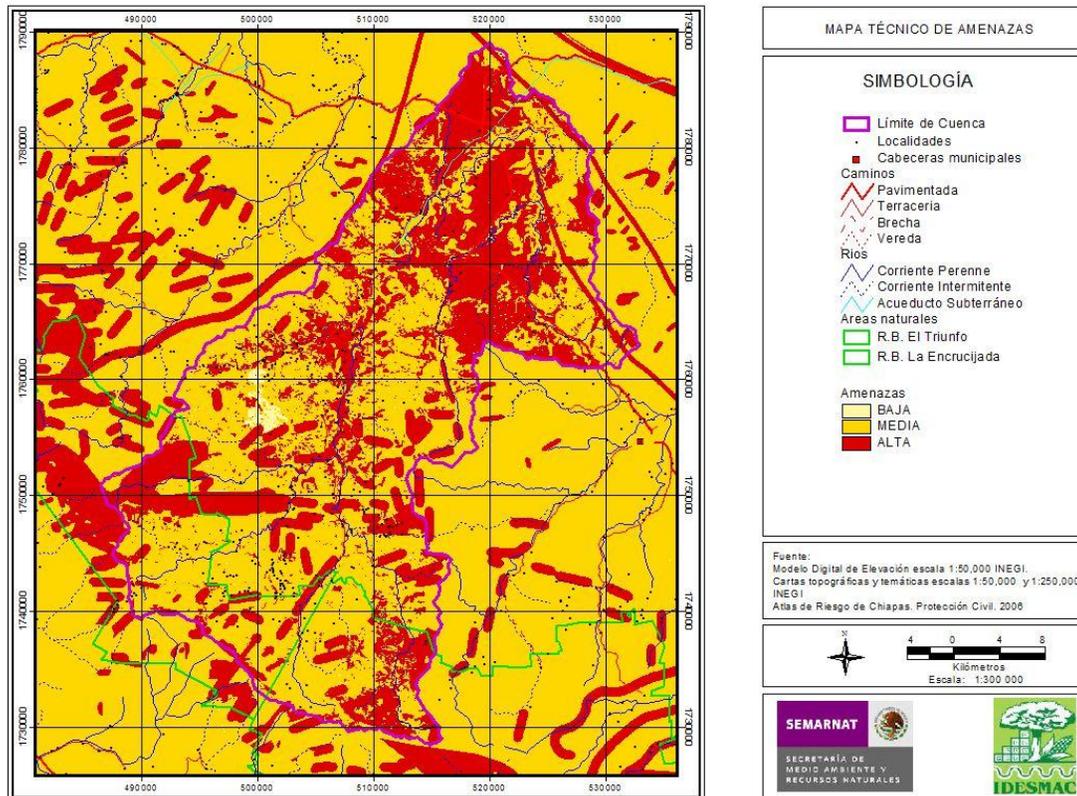
Para el caso de la cuenca Cuxtepeques, la sequía se definió como una anomalía transitoria en un período de tiempo en el que la disponibilidad de agua cae por debajo de los requerimientos estadísticos para los cultivos y vegetación así como ligado al nivel de demanda de agua existente en la zona para uso humano e industrial.

ESTUDIO PARA LA DELIMITACIÓN DE AREAS DE RIESGO E IMPACTO DE LOS FENOMENOS  
 HIDROMETEOROLOGICOS, COMO ELEMENTOS BASICOS PARA LA ELABORACION DE UN PLAN DE ACCION PARA  
 CONTINGENCIAS AMBIENTALES EN LA CUENCA DEL RIO CUXTEPEQUES



Finalmente una vez conocidos los peligros, se generó el mapa de amenazas entendido como la probabilidad de que se presente un evento durante un período de exposición

ESTUDIO PARA LA DELIMITACIÓN DE AREAS DE RIESGO E IMPACTO DE LOS FENOMENOS  
HIDROMETEOROLÓGICOS, COMO ELEMENTOS BÁSICOS PARA LA ELABORACIÓN DE UN PLAN DE ACCIÓN PARA  
CONTINGENCIAS AMBIENTALES EN LA CUENCA DEL RÍO CUXTEPEQUES



h) La vulnerabilidad de la población

Como ya hemos indicado, la vulnerabilidad está relacionada con el efecto de las distintas catástrofes (es importante destacar que no sólo naturales, si bien estas son las más importantes en los análisis de la vulnerabilidad y las únicas consideradas en este caso) sobre la población afectada. El punto clave es la intuición de que determinadas características socioeconómicas pueden influir en la capacidad de asimilación por las poblaciones de los distintos desastres. Por ejemplo, un determinado desastre tendrá (en términos relativos) mayor impacto humano en zonas pobladas que en aquellas sin habitantes.

En el caso de la cuenca de Cuxtepeques hemos podido determinar la existencia de dos tipos de comunidades, aquellas que sufrieron daños durante el huracán Javier en 1998 y aquellos otros que salieron mejor librados de esta terrible catástrofe (Ahamdanech *et al.*, 2002). El

siguiente paso en el análisis fue tratar de delimitar las características socio-económicas que hacen que una comunidad esté en un determinado grupo o en el otro. El modelo teórico que se formuló en el mencionado trabajo fue el siguiente:

$$V = (X_1 + X_2 + X_3 + X_4)$$

Donde:

X<sub>1</sub>= Tasa de alfabetización (porcentaje de población alfabetizada).

X<sub>2</sub>= Índice de marginación.

X<sub>3</sub>= Densidad de carreteras por Km<sup>2</sup>.

X<sub>4</sub>= Población de riesgo (porcentaje de niños y ancianos).

(Todas estas variables miden situaciones previas al paso del huracán por la zona).

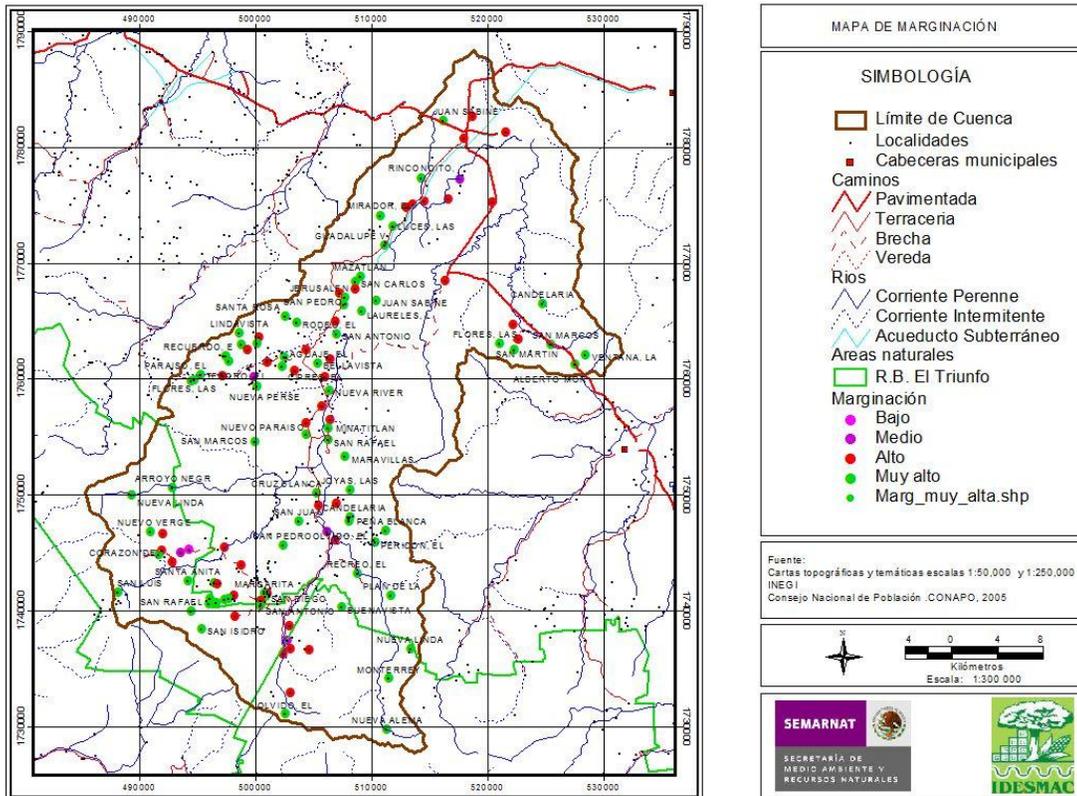
Y, evidentemente, V toma los valores 1 y 2, es decir, vulnerabilidad alta (sufrir graves daños por la acción del la tormenta Javier) y vulnerabilidad baja (no sufrir daños importantes).

Esta formulación permite, empleando el análisis discriminante (Uriel, 1995), predecir qué comunidades presentaron alta vulnerabilidad, y cuales la tenían baja, durante el periodo de la tormenta Javier. Se pudo comprobar que la clasificación, realizada con estas ecuaciones, es coherente con los datos observados de vulnerabilidad en cada comunidad, de modo que se concluye que, al menos en buena medida, la vulnerabilidad de cada localidad, antes del huracán Stan, se puede medir usando las variables explicativas mencionadas.

Una vez comprobada su validez para explicar lo que ocurrió en el año 1998, igualmente se pueden usar estas mismas ecuaciones para predecir el grado de vulnerabilidad territorial de cada comunidad, si conocemos sus datos de tasa de desnutrición y tasa de alfabetización en fechas más recientes, por ejemplo el año 2005. La incertidumbre del mapa de vulnerabilidad se estima en un 30%.

i) Vulnerabilidad por marginación socioeconómica

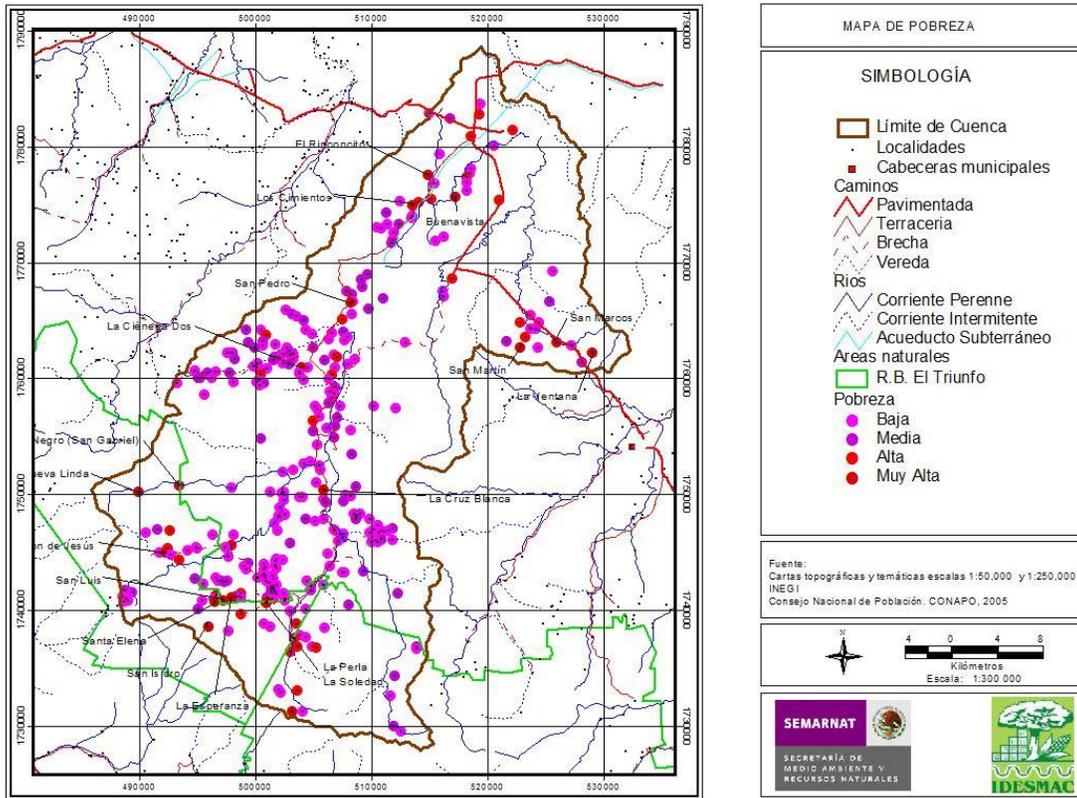
A partir de las características socioeconómicas podemos analizar las capacidades de las comunidades para generar un posible desarrollo económico que permita aumentar la calidad de vida de sus habitantes. Por lo cual se tomo también como indicador de vulnerabilidad los niveles de marginación ya que es un índice compuesto que pondera variables de urbanización, nivel educativo, ocupacional y vivienda.



j) Vulnerabilidad por nivel de ingresos

Para la definición de la vulnerabilidad por nivel de ingresos se consideró la siguiente metodología: Se obtuvieron los datos de ingresos según INEGI, Censo XII General de Población y Vivienda, 2000. Tomando como rango de ingresos el señalado por la ONU para la definición de pobreza en la cual plantea el rango de más de 1 a 2 salarios mínimos, al no haber límite superior se consideró como marca de clase 7.5 salarios mínimos. Finalmente se

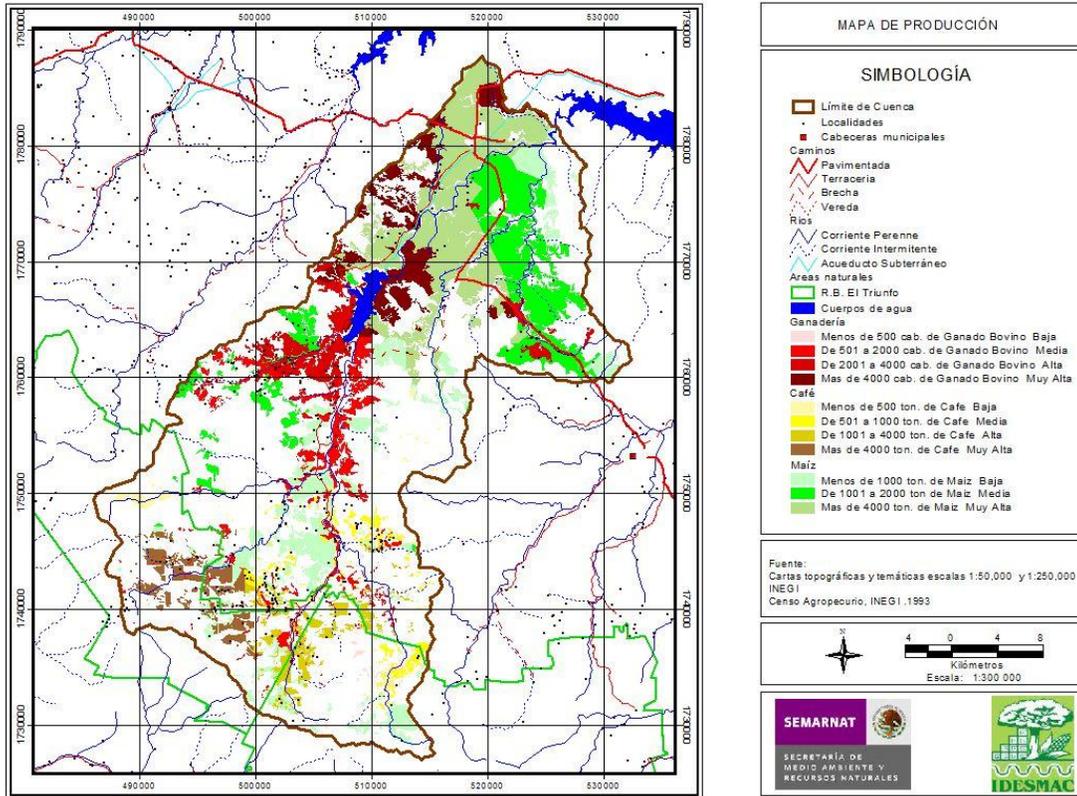
obtuvo un promedio ponderado en base al porcentaje de población ocupada que existía en cada rango y con ello se determinó el ingreso promedio obtenido.



k) Vulnerabilidad por limitada producción en actividades agropecuarias

Las actividades agropecuarias de la cuenca, son muy importantes, tanto por su extensión como por su tamaño. Sin embargo, algunos datos estadísticos muestran una pérdida paulatina de importancia de la actividad primaria principalmente la cafetalera, producción de carne y maíz, por lo cual se considero importante definir como una variable de vulnerabilidad un análisis productivo de estos tres sistemas tomando como fuente el Censo Agrícola y Ganadero del Estado de Chiapas, 1993, INEGI. Tomando para los tres casos cálculos en base a producción en toneladas, así como su representación espacial apoyados en el mapa de Uso de suelo y vegetación del año 2007.

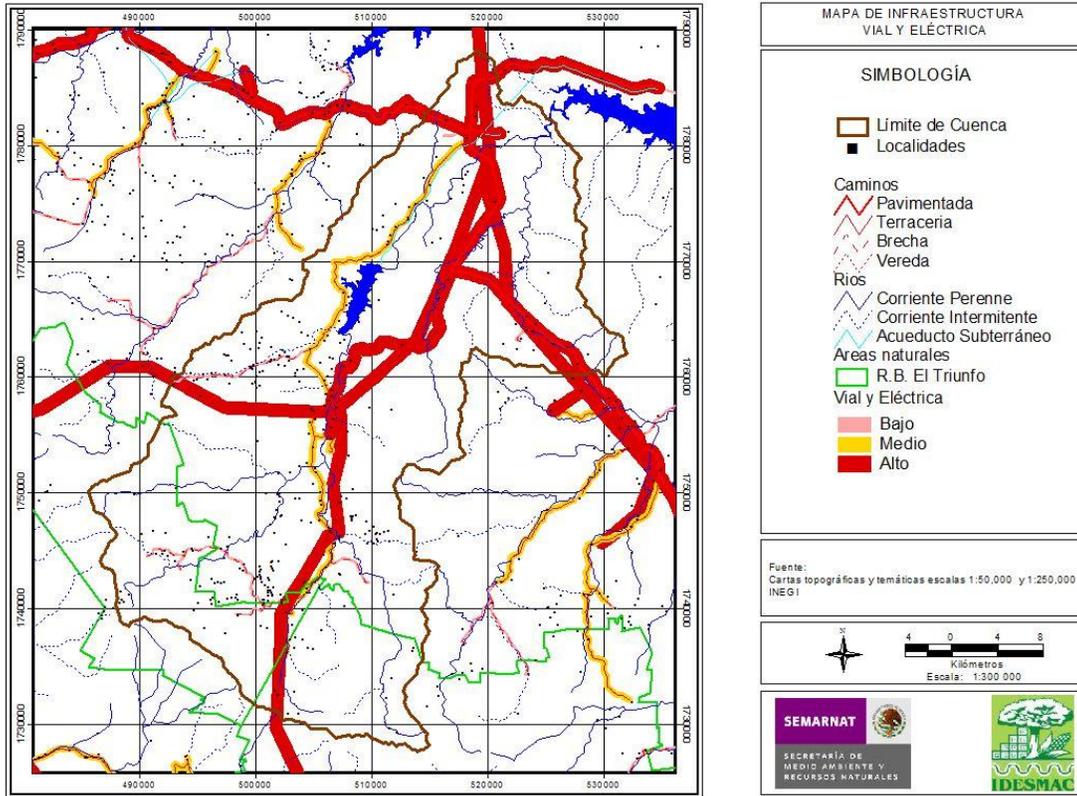
ESTUDIO PARA LA DELIMITACIÓN DE ÁREAS DE RIESGO E IMPACTO DE LOS FENÓMENOS HIDROMETEOROLÓGICOS, COMO ELEMENTOS BÁSICOS PARA LA ELABORACIÓN DE UN PLAN DE ACCIÓN PARA CONTINGENCIAS AMBIENTALES EN LA CUENCA DEL RÍO CUXTEPEQUES



1) Vulnerabilidad por limitada infraestructura vial y eléctrica

Las características topográficas y geológicas hacen importante para la cuenca Cuxtepeques, un análisis de la vulnerabilidad de carreteras y líneas de conducción eléctrica que existen en la región, para ello se ubicó la red carretera y, líneas eléctricas y se generaron buffer de de diferentes áreas de impacto generadas por posibles fenómenos como aumentos anormales de los caudales de agua de las corrientes superficiales, inundaciones temblores etc.

ESTUDIO PARA LA DELIMITACIÓN DE AREAS DE RIESGO E IMPACTO DE LOS FENOMENOS HIDROMETEOROLOGICOS, COMO ELEMENTOS BASICOS PARA LA ELABORACION DE UN PLAN DE ACCION PARA CONTINGENCIAS AMBIENTALES EN LA CUENCA DEL RIO CUXTEPEQUES

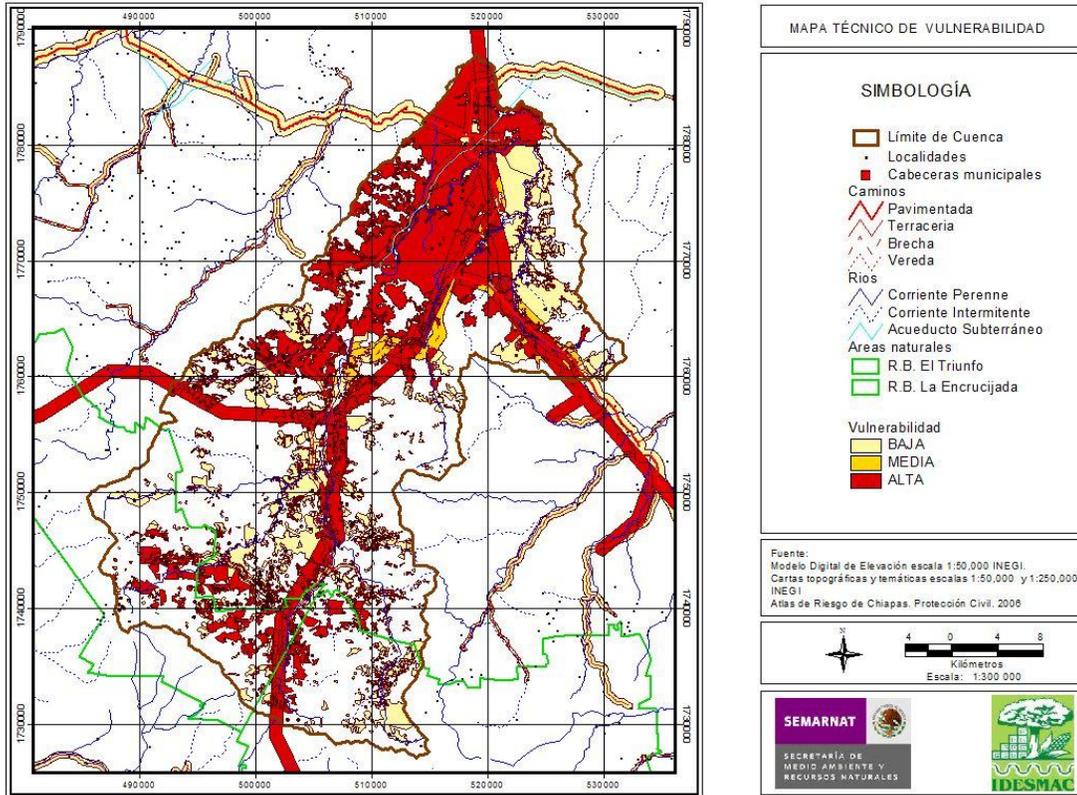


m) La concentración de la población

Con el procedimiento explicado arriba se ha medido lo que podemos denominar la vulnerabilidad intrínseca de cada comunidad, ligada a la mayor o menor capacidad de evitar los daños causados por una amenaza, no obstante, es evidente, que el impacto de un problema de cualquier tipo es mas probable que genere daños mayores en los lugares donde la densidad/cantidad de personas es mayor, por ello un segundo componente que permite matizar la vulnerabilidad de un lugar es el tamaño de la población residente. En nuestro caso se utilizó la población existente en cada comunidad de la Cuenca; así se generó un cuarto mapa.

En resumen, disponemos de ocho mapas que miden la distribución espacial de los componentes del riesgo (exposición a inundaciones, exposición a deslizamientos, Exposición a fallas y fracturas geológicas, Exposición a Granizadas, Exposición a Lluvias

torrenciales, Exposición a Sismos, vulnerabilidad intrínseca y población), todos estos componentes se han expresado en variables normalizadas al intervalo [0,1], donde siempre los valores próximos a cero indican una cifra reducida de riesgo y los cercanos a 1 lo contrario. La cuestión ahora es cómo combinarlos para generar un mapa sintético de riesgos.



#### 8.4 La construcción de mapas de riesgos.

El *riesgo* se obtiene de relacionar la *amenaza*, o probabilidad de ocurrencia de un fenómeno de una intensidad específica, con la *vulnerabilidad* de los elementos expuestos; como consecuencia de esto, cambios en uno o más de estos parámetros modifican el riesgo. En el caso concreto de la cuenca del Cuxtepeques el riesgo analizado es de carácter geológico e hidrológico, por la naturaleza de las amenazas a las cuales está referido, deslaves e inundaciones respectivamente. Esquemáticamente hablando, el riesgo se podría representar

por tanto como la siguiente ecuación:

$$R = A + V$$

siendo R el riesgo, A la/s amenaza/s presentes en cada territorio y V los diferentes factores de vulnerabilidad.

Un problema metodológico importante es cómo combinar los datos procedentes de los mapas de amenazas con los que se obtienen del mapa de vulnerabilidad. Existen diversidad de procedimientos (ver Bosque Sendra et al., 2000 para la descripción de uno de los posibles), y cada uno de ellos proporciona un resultado diferente. Resulta, por lo tanto, importante encontrar una manera de combinar los datos que sea lo más eficaz posible (en el sentido de utilizar bien todas las informaciones disponibles) y lo más adaptado a la forma de razonar de los usuarios de estos temas. En este sentido se dirigen los procedimientos planteados a continuación. Existen numerosas combinaciones posibles de los cuatro mapas básicos, de entre ellas se ha considerado oportuno obtener las cinco siguientes:

- 1.- Combinación de las ocho capas, : lo que podemos denominar riesgo total: (Inundaciones + deslizamientos + granizadas + fallas + sismos + lluvias torrenciales + vulnerabilidad + población).
- 2.- Exposición a amenazas (Inundaciones + deslizamientos)
- 3.- Riesgos de inundaciones (Inundaciones + vulnerabilidad + población)
- 4.- Riesgo de deslizamientos (Deslizamientos + vulnerabilidad + población)
- 5.- Riesgo puro (Inundaciones + deslizamientos + vulnerabilidad)

De entre todos los procedimientos posibles de combinación se ha utilizado un método basado en la denominada teoría de la evidencia de Dempster-Shafer.

- a) La Teoría de la Evidencia

La Teoría de la Evidencia (TE) es una generalización de la teoría bayesiana. Fue desarrollada por Dempster (Dempster, 1968) y Shafer (Shafer, 1976), y también se conoce por el nombre de teoría de Dempster-Shafer. Con esta teoría se pretende modelizar la forma con que los humanos asignan evidencia a distintas proposiciones. A su vez la Teoría de la Evidencia se puede considera un caso particular de la teoría difusa (Yen, 1990). En la década de los sesenta, con el advenimiento de la capacidad computacional, se vio la necesidad de crear teorías para modelizar el pensamiento humano. La lógica y las matemáticas clásicas presentaban unos modelos muy rígidos para este nuevo fenómeno de interés científico: la incertidumbre con que se desarrolla toda actividad humana. Zadeh (Zadeh, 1965) es el primero que plantea y desarrolla la teoría de los conjuntos borrosos. En las casi cuatro décadas transcurridas desde entonces el número de publicaciones relativas al campo de los conjuntos borrosos y sus derivados ha experimentado un crecimiento exponencial. Se puede decir que los desarrollos teóricos han ido por detrás de las aplicaciones. Es en las aplicaciones donde han tenido su mejor aval, multitud de ramas de la ingeniería se sirven de las técnicas borrosas o que tratan con la incertidumbre, y en concreto de la TE.

Podemos decir que los valores de evidencia vienen dados por una cota inferior denominada plausibilidad (sería una medida de certeza optimista) y una cota superior denominada creencia o credibilidad (medida de certeza pesimista).

#### b) Aplicación al caso del mapa de riesgos naturales

En nuestro caso los mapas ya mencionados: exposición a inundaciones, exposición a deslizamientos, Exposición a fallas y fracturas geológicas, Exposición a Granizadas, Exposición a Lluvias torrenciales, Exposición a Sismos, vulnerabilidad intrínseca y población proporcionan información diversa sobre el riesgo. Como se ha dicho más arriba la TE nos ofrece la oportunidad de mezclar esa información de modo parecido a como lo haría la mente humana, así si se desea detectar zonas de alto riesgo y se dispone de los cuatro mapas antes mencionadas lo lógico es buscar las zonas que presentan alto valor en cada uno de los mapas. La existencia de diferentes mapas , con un elevado

número de polígonos cada uno, dificulta el análisis de la información mentalmente, presentándose un gran problema para la mezcla o fusión más adecuada de la información de los mapas. La TE es una teoría formal, con una base matemática bien establecida (Kohlas y Monney, 1995), que permite llevar a cabo la operación de fusión de la información. El mapa resultado, por ejemplo, permitirá observar la evidencia de riesgo para las distintas zonas.

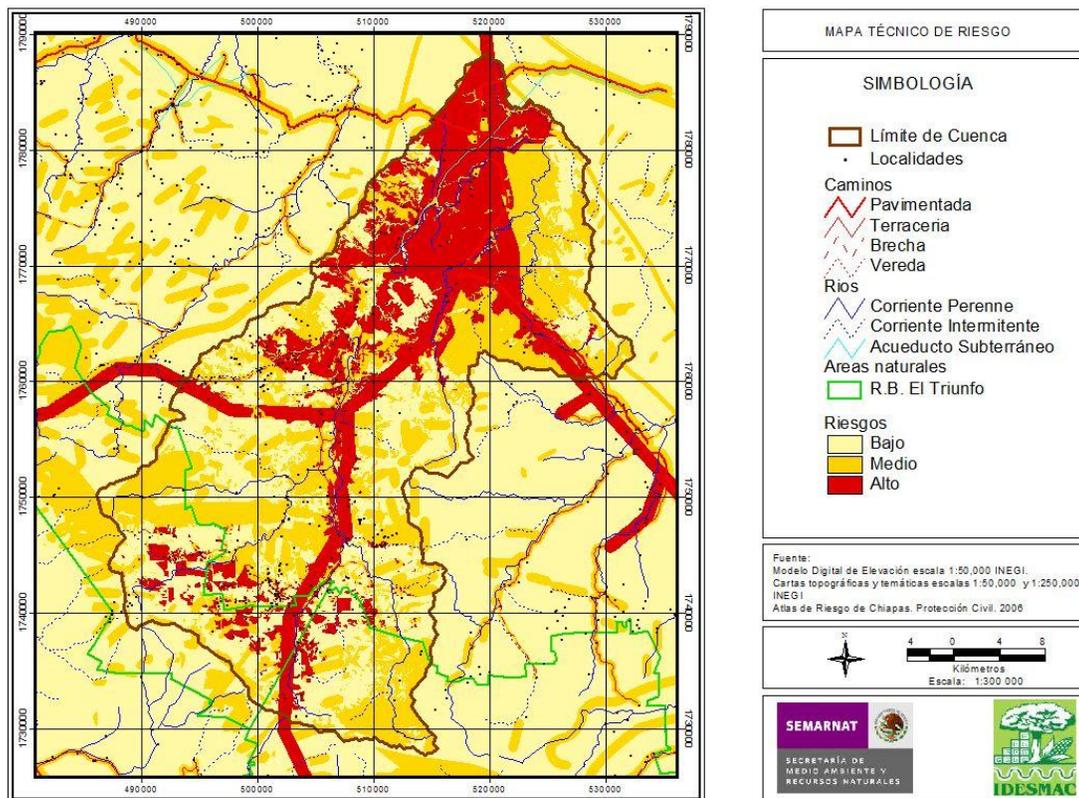
En el caso de los datos de la cuenca, vamos a considerar solo dos clases, dos proposiciones: 1.- riesgo y 2.- no-riesgo , para el uso de la teoría de Dempster-Shafer. Notamos con la clase riesgo de un polígono y la clase no existe riesgo. También se considera la incertidumbre inherente a la teoría de la evidencia, aquella será la causa de que no suceda como en la teoría de probabilidades.

El procedimiento de Dempster-Shafer permite generar mapas de riesgos que resultan fáciles de entender y que tienen en cuenta de la mejor manera posible los datos existentes sobre los factores del riesgo , incluyendo en este sentido las incertidumbres que afectan a estos datos.

Pensamos por ello que este procedimiento resulta de interés para la combinación de datos geográficos y no solo en este caso particular. Las técnicas borrosas (fuzzy) se están utilizando con éxito en muchos campos científicos y técnicos para modelizar distintos fenómenos naturales, y tienen un gran potencial en el ámbito de los datos geográficos. El carácter propio de gran parte de la información geográfica, inseparable de un cierto grado de incertidumbre, junto a la necesidad de su computación por medios informáticos, se presta a una modelización de los problemas con técnicas borrosas. Los resultados de este trabajo muestran como cuando se quiere combinar información de distintas fuentes, a veces tan dispares como las aquí utilizadas, las técnicas borrosas (la TE como una más) se presentan como una importante opción a tener en cuenta.

El poder computacional de la combinación de información por técnicas borrosa reside en su flexibilidad en el tratamiento de datos de diversa índole. Se convierte en una herramienta

para el análisis y toma de decisiones. Además de permitir de manera sencilla construir diversas formas de combinación de los datos iniciales, de manera que se pueden observar diferentes situaciones: riesgo total, riesgo de sufrir inundaciones, etc., como ya hemos visto. En realidad, el procedimiento matemático empleado, no hace más que modelizar el sentido común que se aplicaría en la fusión de información de las distintas capas o fuentes. La gran cantidad de información exige un tratamiento informático que se apoya de manera natural en el modelo matemático descrito.



## 9. Percepción del riesgo de la población de la cuenca del río Cuxtepeques

Para evaluar los riesgos, seleccionar soluciones y diseñar un plan de acción, se generó también paralelamente al análisis técnico la construcción de la percepción local del riesgo

por medio de tres talleres participativos con población de la cuenca del río Cuxtepeques. Los cuales contemplaron los siguientes temas:

#### 9.1 Marco conceptual del riesgo

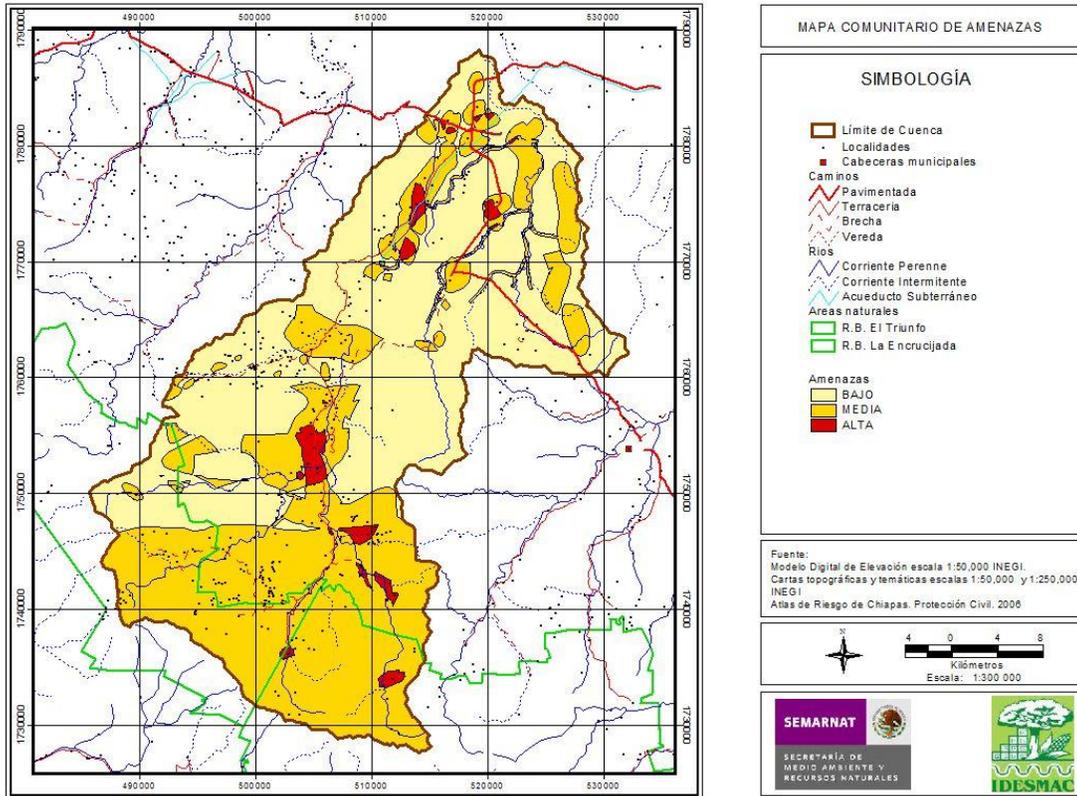
Se analizaron las diferentes definiciones del riesgo, amenazas y de la vulnerabilidad, donde se presenta de manera pedagógica la interrelación entre los peligros ambientales y los sistemas urbanos. Así como los elementos que intervienen. Se expone sobre el proceso de identificación de peligros y análisis de vulnerabilidad para los casos de la cuenca alta, media y baja: donde existen sistemas de productivos importantes o se encuentren en la fase de formulación.

Además de la importancia de la evaluación de riesgo participativo en la etapa de formulación de obras de hidráulicas y porqué constituye un instrumento base que requiere ser profundizado e incluido en las obras de desarrollo a nivel municipal y de cuenca.

#### 9.2 Percepción Social de Amenazas o Peligros

EL siguiente tema fue la identificación de los peligros que existen en la cuenca, así como su ubicación espacial y representación cartográfica en mapas escala 1 : 50 000.

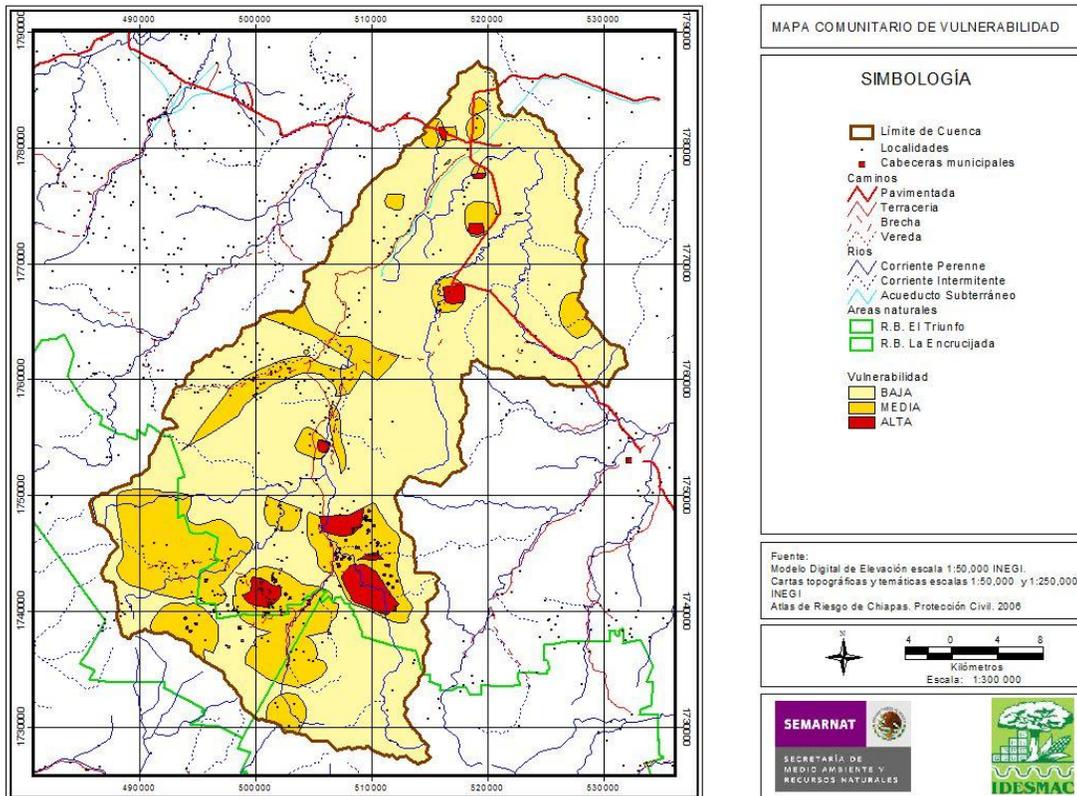
ESTUDIO PARA LA DELIMITACIÓN DE AREAS DE RIESGO E IMPACTO DE LOS FENOMENOS  
HIDROMETEOROLOGICOS, COMO ELEMENTOS BASICOS PARA LA ELABORACION DE UN PLAN DE ACCION PARA  
CONTINGENCIAS AMBIENTALES EN LA CUENCA DEL RIO CUXTEPEQUES



### 9.3 Percepción Social de la Vulnerabilidad

Posteriormente se identificaron los efectos que dichos peligros generan con respecto a los temas ambiental, social y productivo, esto con el fin de ubicar espacialmente las áreas de afectación en la cuenca por medio del mapa de Vulnerabilidad.

ESTUDIO PARA LA DELIMITACIÓN DE AREAS DE RIESGO E IMPACTO DE LOS FENOMENOS  
HIDROMETEOROLOGICOS, COMO ELEMENTOS BASICOS PARA LA ELABORACION DE UN PLAN DE ACCION PARA  
CONTINGENCIAS AMBIENTALES EN LA CUENCA DEL RIO CUXTEPEQUES



#### 9.4 Matriz de relación

Este apartado constituyó identificar el grado de riesgo que se presenta en toda la cuenca por medio primeramente de la matriz de relación, la cual consistió en una variación de la matriz de Leopold de doble entrada. Tomando como grados de valoración para impacto (amenaza): alto, medio y bajo y, para la temporalidad (vulnerabilidad) se consideró un valor de: permanente, temporal y transitorio; asignando en ambos casos valores de 3, 2 y 1. Cruzando la información y definiendo sus relaciones causa - efecto.

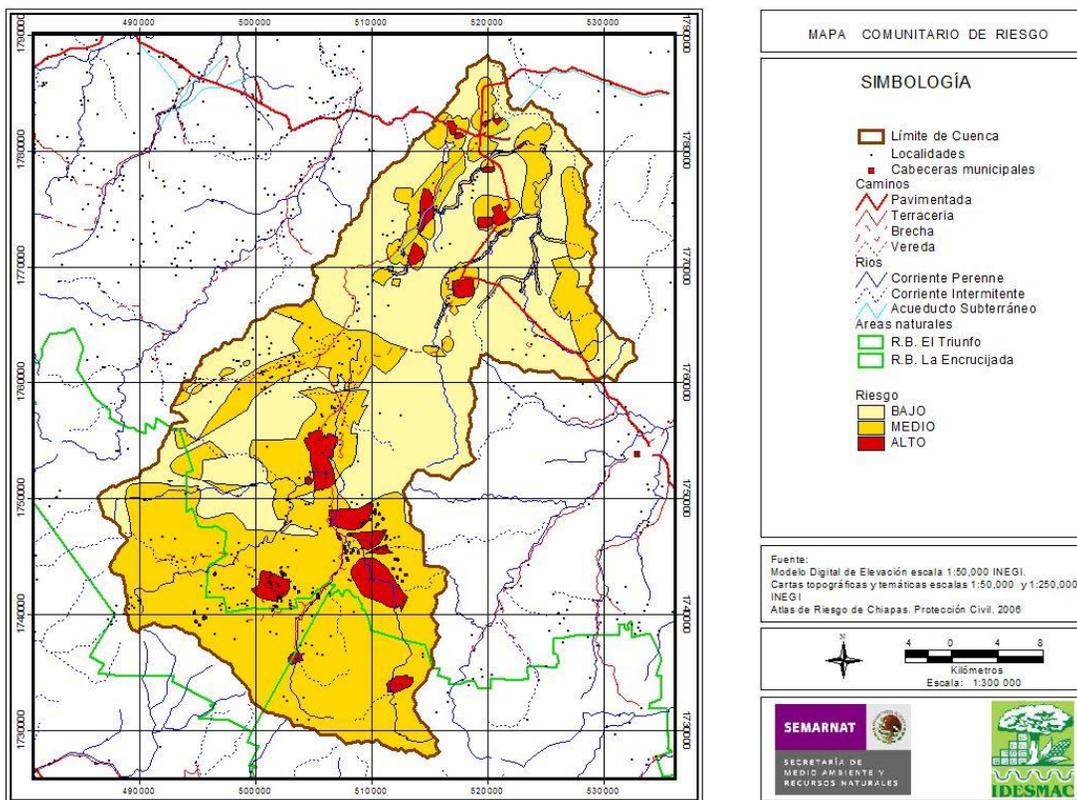
#### 9.5 Evaluación Social del Riesgo

Con el apartado anterior se tuvo las correlaciones cualitativas necesarias para poder determinar la ponderación del riesgo, que consistió en buscar en la matriz de relación, todas

ESTUDIO PARA LA DELIMITACIÓN DE AREAS DE RIESGO E IMPACTO DE LOS FENOMENOS  
HIDROMETEOROLOGICOS, COMO ELEMENTOS BASICOS PARA LA ELABORACION DE UN PLAN DE ACCION PARA  
CONTINGENCIAS AMBIENTALES EN LA CUENCA DEL RIO CUXTEPEQUES

las celdas que tuvieran como resultado valores iguales a  $1/1=2$ ,  $1/2=3$  y  $2/1=3$ , corresponden a un riesgo bajo; a todas las celdas que tuvieran como resultado valores igual a  $1/3=4$ ,  $2/2=4$  y  $3/1=4$  se les asignó un riesgo medio; y por ultimo, todas las celdas que tuvieran como resultado valores iguales a  $2/3=5$ ,  $3/2=5$  y  $3/3=6$ , se les asignó un riesgo alto. En el caso de las celdas que no tienen valores, todas tienen el valor de “1”.

Además se generó el mapa social de riesgos, por medio de la superposición de los mapas de vulnerabilidad y amenazas.



### 9.6 Plan de Acción de Mitigación

Tomando como base la matriz de impacto, se priorizaron los riesgos mas factibles para su mitigación, los cuales fueron definidos por el análisis de dependencia que existe de los impactos y temporalidad representados en 4 cuadrantes, tomando como primicia cuales son

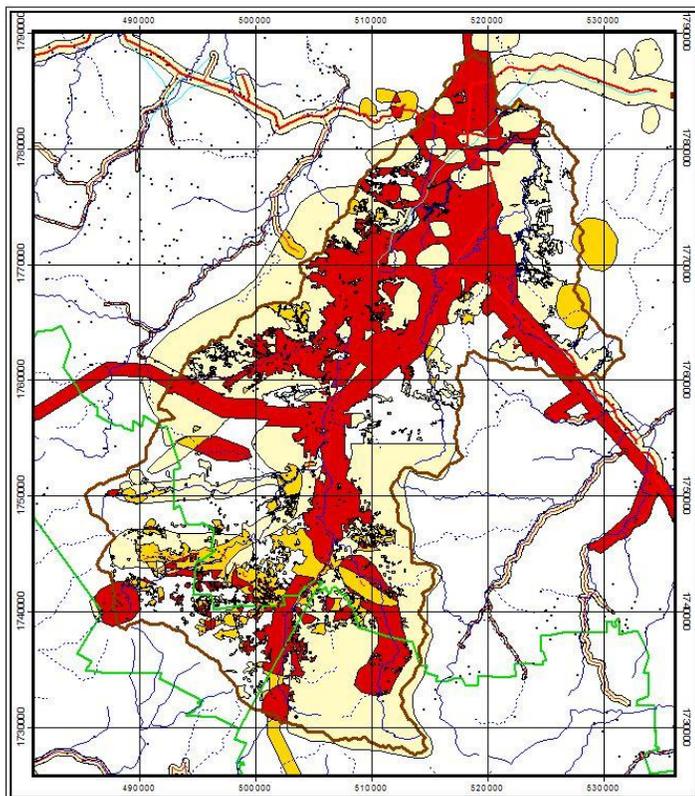
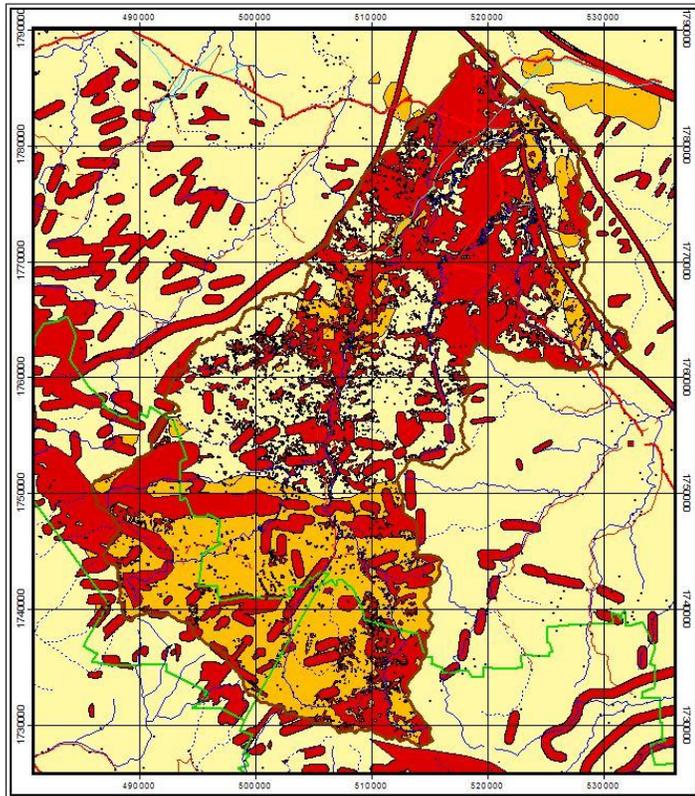
los riesgos en los que podemos incidir mayormente para su disminución y que sean relevantes para el desarrollo y dinámica de la cuenca, por medio del análisis de motricidad.

Posteriormente, se generó una matriz para cada uno de los riesgos seleccionados en la cual se planteó las estrategias que se están llevando a cabo, estrategias que se pueden realizar, acciones, responsables y posibles instituciones de apoyo. Finalmente se contempló la temporalidad para realizar dichas estrategias y acciones tomando como parámetros el corto (un año), mediano (de dos años a 4 años) y largo plazo (más de cinco años) para su realización.

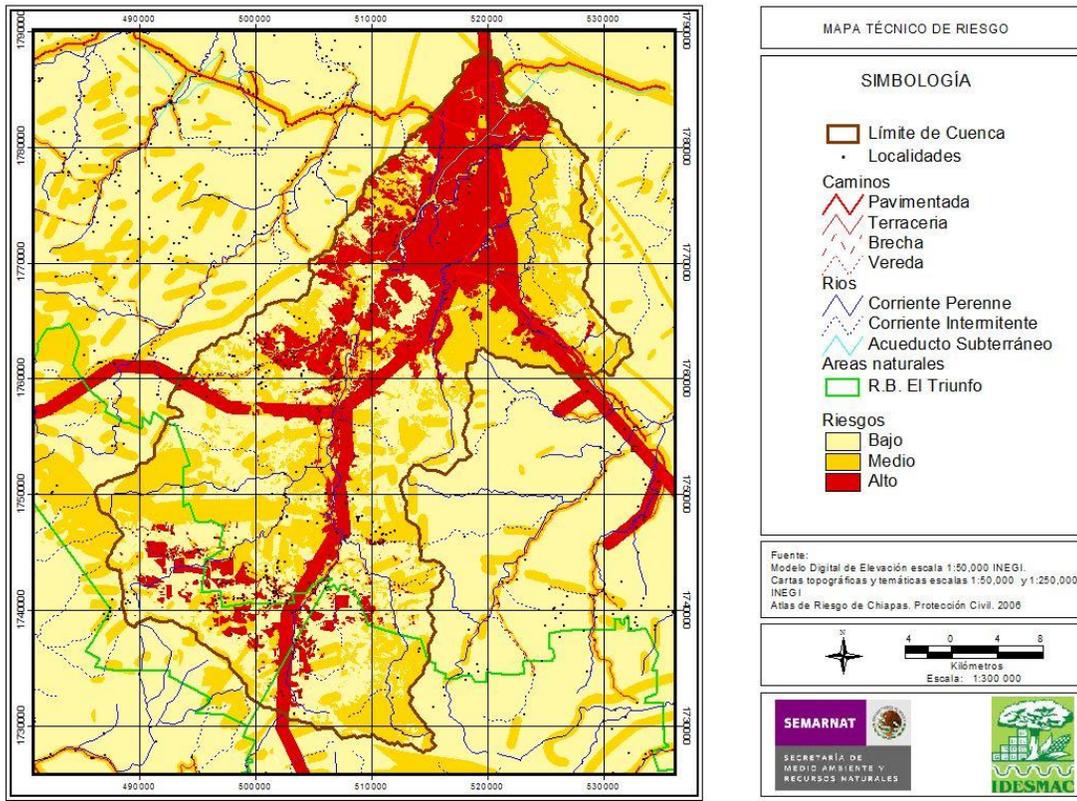
## **10. Evaluación integral del Riesgo Participativo**

Para la realización final del estudio, se integraron las dos metodologías descritas anteriormente ya que con ellas se tenía en cuenta de forma intrínseca los aspectos físicos, económicos y sociales de la cuenca, permitiendo la combinación de los aspectos cualitativos y cuantitativos en la interfase de trabajo en un SIG (Sistema de Información Geográfica), el procedimiento fue la presentación de resultados de los mapas de amenazas, vulnerabilidad y riesgos elaborados por los técnicos de IDESMAC y la integración de la evaluación de percepción del riesgo local, consolidando una sola propuesta, como siguiente paso se procedió a plantear por las zonas alta, media y baja de la cuenca un análisis cualitativo y de zonificación de niveles de riesgo, amenazas y vulnerabilidad lo que resultó en la reclasificación de los tres mapas. Finalmente se consensó con los asistentes al taller los tres mapas de Análisis del Riesgo Participativo, con el fin de proponer alternativas para reducir la vulnerabilidad de la cuenca del río Cuxtepeques.

ESTUDIO PARA LA DELIMITACIÓN DE AREAS DE RIESGO E IMPACTO DE LOS FENOMENOS  
HIDROMETEOROLOGICOS, COMO ELEMENTOS BASICOS PARA LA ELABORACION DE UN PLAN DE ACCION PARA  
CONTINGENCIAS AMBIENTALES EN LA CUENCA DEL RIO CUXTEPEQUES



ESTUDIO PARA LA DELIMITACIÓN DE AREAS DE RIESGO E IMPACTO DE LOS FENOMENOS  
HIDROMETEOROLOGICOS, COMO ELEMENTOS BASICOS PARA LA ELABORACION DE UN PLAN DE ACCION PARA  
CONTINGENCIAS AMBIENTALES EN LA CUENCA DEL RIO CUXTEPEQUES



## 11. Conclusiones

Para lograr una gestión ambiental integrada, y dar solución a los conflictos crecientes por el aprovechamiento múltiple del territorio, es necesario que la gestión del riesgo se apoye en la participación organizada de los usuarios para incluir el manejo de cuencas hidrográficas en la mitigación de riesgos. Así como articularse con procesos de planeamiento del desarrollo y la integración de otras herramientas de planeación como el Ordenamiento Territorial de la cuenca. El logro de impactos positivos en el manejo de micro-cuencas es un proceso que requiere tiempo. Por lo tanto el proceso debe iniciarse con proyectos que en el corto plazo tengan una repercusión social y económica. La sensibilización y concientización a nivel de políticos municipales y líderes comunitarios, sobre la importancia del análisis de riesgo para el manejo de cuencas, es una tarea prioritaria y permanente que garantizará el logro de las metas propuestas en la gestión y manejo de cuencas.

Cabe mencionar que los mapas de amenazas, vulnerabilidad y riesgos constituyen herramientas adecuadas para el diseño de las medidas de mitigación, con las que se pretende minimizar los efectos negativos de las posibles amenazas al reducir el grado de exposición de los factores o peligros. La población que interviene activamente en mitigación del riesgo, tienen una mejor preparación y manifiestan una mas clara percepción del riesgo. Si bien el enfoque es solamente cualitativo, el punto está en sensibilizarlos para formarlos técnica y socialmente cada vez mejor.

## 11. Bibliografía

Ahamdanech Zarco I., Bosque Sendra, J. y Pérez Asensio, E. (2002): “Vulnerabilidad del territorio ante los riesgos naturales: una propuesta de medición en Honduras tras el paso del huracán Mitch” *Estudios geográficos* (en proceso de evaluación)

Bosque Sendra, J., Díaz Muñoz, M.A., Gómez Delgado, M., Rodríguez Durán, A. E., Rodríguez Espinosa, V. (2000): "Sistemas de información geográfica y Cartografía de riesgos tecnológicos. El caso de las instalaciones para la gestión de residuos en Madrid". en *Industria y medio ambiente* Publicaciones de la Universidad de Alicante, Alicante, 2000. pp. 315-326.

Dempster, A.P. A (1968): “Generalization of Bayesian Inference”. *J. Royal Statistical Soc.*, 1968, vol 30, pp.205-247.

Jiménez Moreno, J. y Laín Huerta, L. (2000): “Gestión de riesgos naturales mediante Sistemas de información geográfica en Centroamérica”. En *Mitigación de desastres naturales en Centroamérica*. Madrid, ITGE y Ediciones AECI (Agencia Española de Cooperación Internacional).

Laín Huerta, L (editor) (2000): *Mitigación de desastres naturales en Centroamérica*. Madrid, ITGE y Ediciones AECI (Agencia Española de Cooperación Internacional).

Shafer G. A (1976): *Mathematical Theory of Evidence*. Princenton University Press, Princeton, New Jersey.

Uriel Jiménez, E. (1995): *Análisis de datos: Series temporales y Análisis Multivariante*, Madrid, Editorial AC

Yen, J. (1990): "Generalizing the Dempster-Shafer theory to fuzzy sets" *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. 20(3), pp. 559-570

Zadeh, L. A. (1965): "Fuzzy sets". *Information and Control* 8(3), pp. 338-353.