Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Tapachula 2011

30/Diciembre/2011
Entrega final

Número de obra
107089PP029578
Número de expediente
PP11/07089/AE/1/037

Municipio de Tapachula. Estado de Chiapas
Dr. Juan Carlos Mora Chaparro; Departamento de Vulcanología, Instituto de Geofísica, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, México, Distrito Federal; Tel. 5622-4118, ext. 13;

ESTE PROGRAMA ES DE CARÁCTER PÚBLICO, NO ES PATROCINADO NI PROMOVIDO POR PARTIDO POLÍTICO ALGUNO Y SUS RECURSOS PROVIENEN DE LOS IMPUESTOS QUE PAGAN TODOS LOS CONTRIBUYENTES. ESTA PROHIBIDO EL USO DE ESTE PROGRAMA CON FINES POLÍTICOS, ELECTORALES, DE LUCRO Y OTROS DISTINTOS A LOS ESTABLECIDOS. QUIEN HAGA USO INDEBIDO DE LOS RECURSOS DE ESTE PROGRAMA DEBERÁ SER DENUNCIADO Y SANCIONADO DE ACUERDO CON LA LEY APLICABLE Y ANTE LA AUTORIDAD COMPETENTE.

ÍNDICE

CAPÍTULO I. Antecedentes e Introducción

1.1. Introducción

1.2. Antecedentes

1.3. Objetivo

1.4. Alcances

1.5. Metodología General y Contenido del Atlas de Riesgo

CAPÍTULO II. Determinación de la zona de estudio

2.1. Determinación de la Zona de Estudio

2.2. Vías de acceso

CAPÍTULO III. Caracterización de los elementos del medio natural

3.1. Fisiografía

3.2. Geología

3.3. Geomorfología

3.4. Edafología

3.5. Hidrología

3.6. Climatología

3.7. Uso de suelo y vegetación

3.8. Áreas naturales protegidas

3.9. Problemática ambiental

CAPÍTULO IV. Caracterización de los elementos sociales, económicos y demográficos

4.1. Elementos demográficos: dinámica demográfica, distribución de población, mortalidad, densidad de población.

4.2. Características sociales

4.3. Población Económicamente Activa por Sector y sus principales actividades económicas

4.4. Estructura urbana

CAPÍTULO V. Identificación de Peligros, Vulnerabilidad y Riesgos ante fenómenos perturbadores de origen natural.

5.1 Fenómenos Geológicos

5.1.1 Sismos

5.1.2 Fallas o fracturas

5.1.3 Tsunamis o maremotos

5.1.4 Vulcanismo

5.1.5 Deslizamientos

5.1.6 Derrumbes

5.1.7 Flujos

5.1.8 Hundimientos

5.1.9 Erosión

5.2 Fenómenos Hidrometeorológicos

5.2.1 Inundaciones

5.2.2 Sistemas Tropicales. Huracanes

5.2.3 Sequías

5.2.4 Vientos

5.2.5 Tormentas eléctricas

5.2.6 Temperaturas máximas extremas

5.2.7 Masas de aire (Heladas, Granizadas y Nevadas)

Anexos

A) Pirámide de edades

B) Tabla de Hacinamiento

C) Tabla de Marginación

D) Tabla de población con discapacidad

E) Mapa de densidad de población

F) Mapa de reserva territorial

I.- Antecedentes e Introducción

1.1.- Introducción

El presente trabajo es una ejemplificación de la problemática presente en el Municipio de Tapachula,por los riesgosgeneradosdebido a los fenómenos naturales, que afectan tanto a la sociedad así como a sus bienes materiales, estos acontecimientos dan pie a la creación del “Atlas de Riesgos Naturales del Municipio de Tapachula”, en el cual se genera información para la pronta y oportuna acción de las autoridades correspondientes, en caso de emergencia, así como la generación de información relevante disponible a primera mano en el municipio.

Se hace énfasis en resaltar que el presente Atlas no es para evitar que los fenómenos naturales se hagan presentes en el municipio, sino para aplicar la información obtenida, coadyuvando a las autoridades correspondientes.

1.2.- Antecedentes

El municipio de Tapachula ha sido afectado principalmente por efectos de las lluvias y los huracanes, dando como resultado en primera instancia el desbordamiento de ríos e inundaciones, sin pasar por alto los fenómenos de remoción en masa en la zona alta del municipio, dando como resultado desastres por fenómenos perturbadores naturales(Figura 1).

Algunos de los problemas que se presentan en el municipio y su cabecera municipal son inundaciones por desbordamiento de ríos, remoción en masa entre otros y una de las afectaciones más importantes causada por el huracán Stan.

-Desbordamiento de ríos

En ÁlvaroObregón, se manifiesta creciente del rio en la zona resultando afectadas varias viviendas (Figura 1).

Figura 1. Desbordamiento de rio fuente "Chiapas Solidario"

-Inundación de viviendas

Dentro de la colonia rinconcitopresenta inundaciones en las avenidas soconusco, Tapachula, Silvano gatica, causadas por las fuertes lluvias en el lugar. (Figura 2).

Figura 2. Viviendas afectadas por inundación fuente "Chiapas Solidario"

-Caída del Puente Cahoacán

El pasado lunes 19 de septiembre, una intensa lluvia de 240 mm azotó la zona serrana y urbana de Tapachula, provocando que el río Cahoacán subiera su caudal y por la noche la intensa corriente socavó los cimientos del puente de igual nombre lo que derivó en que colapsara. (Figura 3)

Figura 3. Puente Cahoacán fuente "El Orbe"

-Derrumbe por Lluvias Bloquean la Zona Alta

En el caso de Tapachuladetalló que es el camino que conduce a la comunidad de Toquián Grande y Pavencul el que presenta el derrumbe mássignificativo de la zona, y mantienebloqueado el acceso de personas y vehículos, aunqueesas comunidades no están del todo incomunicada puesto que existen otras vías de acceso pero la gente no las utiliza por estar en muy malas condiciones (Figura 4).

Figura 4. Derrumbe en carretera fuente "El orbe"

1.3.- Objetivo

Contar con un documento que aporte los lineamientos básicos para diagnosticar, ponderar y detectar los riesgos peligros y/ovulnerabilidades en el espacio geográfico a través de criterios estandarizados, catálogos y bases de datos homologadas, compatibles y complementarias

Entre los objetivos esperados en la elaboración del Atlas, se considera fundamental que cada municipiosea capaz de ubicar e identificar el tipo y grado de riesgo existentes de acuerdo con el origen natural de los mismos.

Objetivos específicos

1. Presentar los elementos mínimos cartografiables que se deben considerar en la elaboración de los Atlas.
2. Proporcionar los lineamientos para la generación, validación y representación cartográfica de la información temática de las Zonas de Riesgo.
3. Homologar el diccionario de datos con la finalidad de obtener instrumentos confiables y capaces de integrarse a una base de datos nacional.
4. Hacer posible la consulta y análisis de información de los diferentes peligros de origen natural que afectan al territorio nacional.

1.4.- Alcances

A partir de la generación de un documento que contenga todos los elementos necesarios para describir detalladamente los diversos componentes del riesgo ante fenómenos de origen natural en el municipio de Tapachula, se pretende que esta obra, asuma la responsabilidad de ser un instrumento rector para:

- La adecuada toma de decisiones en materia de apoyo físico y presupuestal para sobreponerse a contingencias.

- El diseño de obras civiles como estrategia de mitigación ante efectos adversos por los embates de fenómenos naturales.

- La conformación de zonas o áreas prioritarias para el apoyo ante emergencias.

- La apropiada planificación, distribución y construcción de asentamientos humanos.

- El manejo aprovechable de los recursos naturales en un esquema de obtención sustentable.

La propuesta básica de contar con el Atlas de Riesgos, es la integración de la sociedad a un diseño integral de toda su estructura con miras hacia el desarrollo.

1.5.- Metodología general y Contenido del Atlas de Riesgo

Para la elaboración del Atlas se recopila información preliminar a la visita a campo del municipio de Tapachula, la recopilación se hace en la base de datos de Protección Civil del estado, la cual sirve de base para la visita de los lugares afectados en el municipio, al igual que se visitan las instalaciones de Chiapas Solidario donde se enriquece dicha base para tener un panorama más claro y completo del campo de trabajo.

Con dicha información se visitan los lugares que han sido más afectados hasta llegar a los menos afectados o sin reportes aparentes, en dicha visita se entrevista a la gente para tener una base histórica y según sea el problema se toman mediciones para determinar las zonas de riesgo y poder tener actualizada la base de datos, con estos datos se procede a generar los mapas donde se plasman los riesgos para una rápida ubicación del problema, aunadamente a la información digital, cabe mencionar que se genera información palpable a primera mano en ArcGis como Sistema de Información Geográfica.

La **Guía para la elaboración de Atlas de Riesgos y/o Peligros: Bases para la estandarización en la elaboración de Atlas de Riesgos y Catalogo de Datos Geográficos para representar el Riesgo** (Sedesol) fue la base de la realización del presente Atlas de Riesgo

1. Evidencias que se pueden encontrar al realizar el estudio de los sistemas perturbadores en campo y/o en documentos escritos o cartográficos.

2. Indicadores de vulnerabilidad (grupo de evidencias físicas o documentales que se relacionan con la ocurrencia de los procesos naturales que relacionan con la ocurrencia de sistemas perturbadores de origen natural).

3. Zonificación cartográfica de peligros, vulnerabilidad y riesgos a través de un sistema SIG digital (vectorial) e impresa, en la que se determinan las Zonas de Riesgo ante los diferentes tipos de fenómenos perturbadores.

II.- Determinación de la zona de estudio

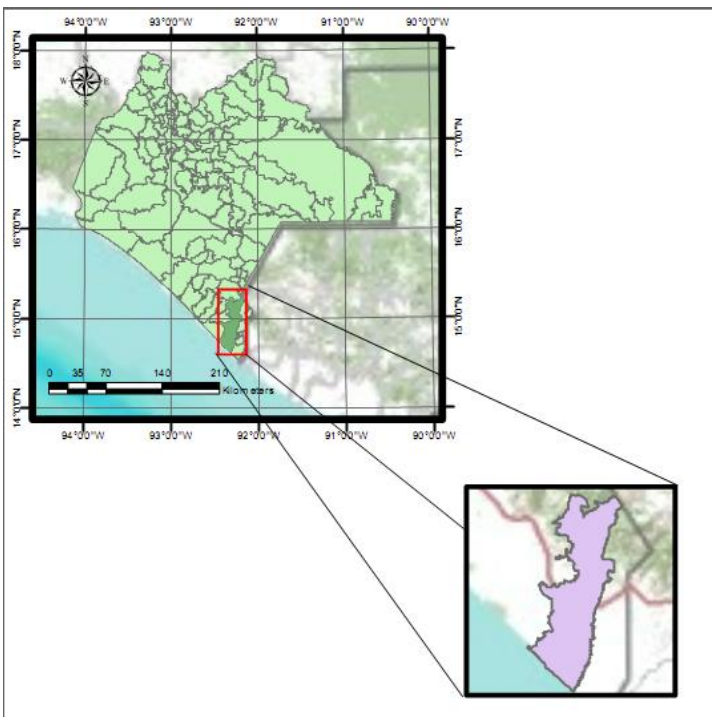


Figura 5. Localización del Municipio de Tapachula

2.1.- Determinación de la zona de estudio

El estado de Chiapas cuenta con un ecosistema muy diverso al igual que climas y se encuentra sobre 3 placas tectónicas diferentes, en el caso del municipio de Tapachula se genera el Atlas de Riesgos ya que cuenta con una zona alta de alrededor de 2.600 msnm donde se presentan derrumbes y una zona baja de casi menos 10 msnm susceptible a inundaciones, además de encontrarse en una zona de 10 subcuencas que aportan grandes cantidades de agua en temporada de lluvias, aunando el hecho de estar en zona costa se encuentra en una zona de impacto por huracanes, como fue en el caso del año 2005 con el huracán Stan.

El municipio se ubica en la región económica “X Soconusco”, limita al norte con el municipio de Motozintla y la República de Guatemala, al este con los municipios deCacahoatán, Tuxtla Chico, Frontera Hidalgo, al sur con el Océano Pacifico y al oeste con los municipios de Huehuetán, Tuzantán y Mazatán. Las coordenadas de la cabecera municipal son: 14° 54’ 29” de latitud norte y 92° 15’ 38” de longitud oeste y se ubica a una altitud de 172 metros sobre el nivel del mar(Figura 6).

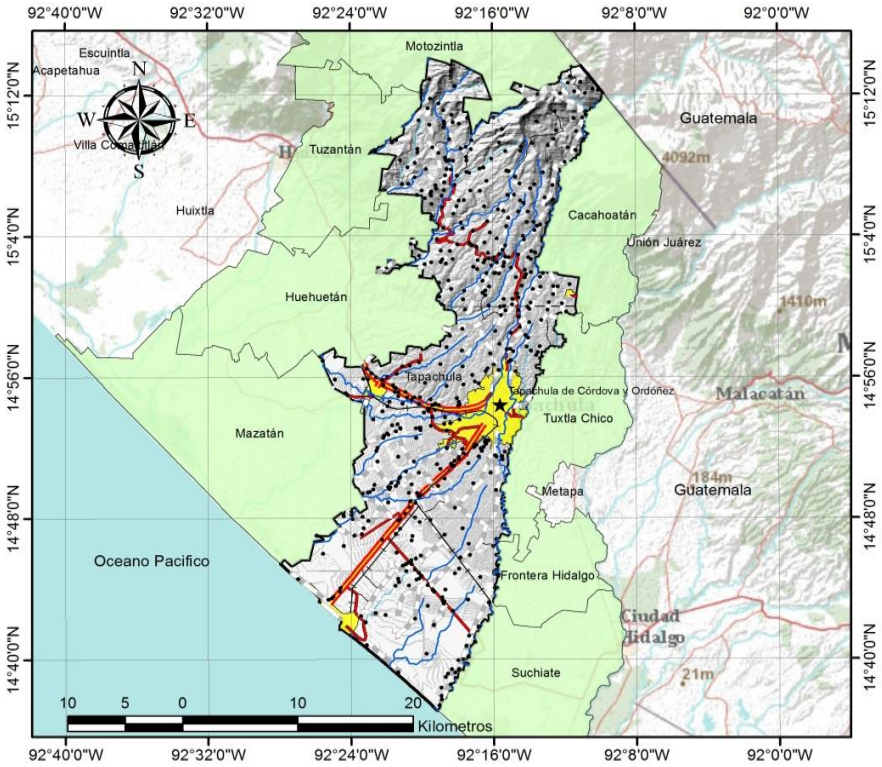


Figura 6. Colindantes del Municipio

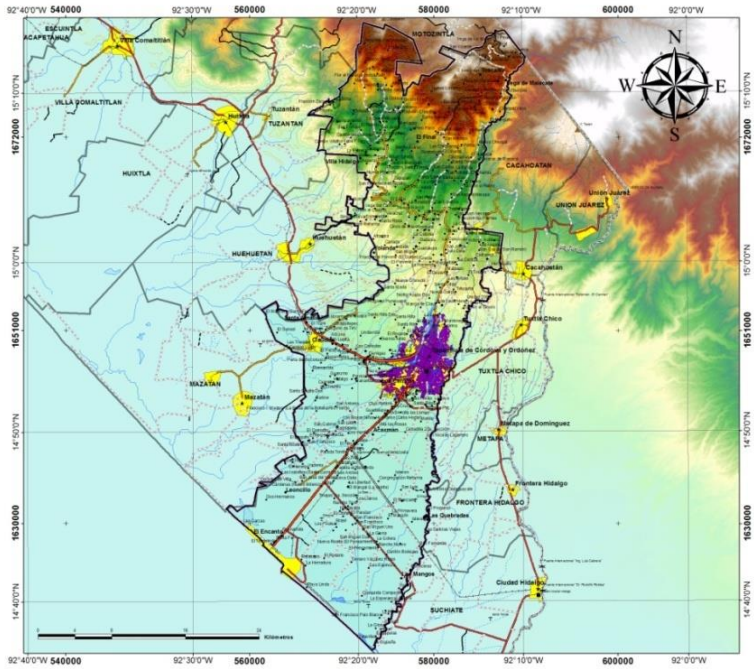


Figura 6.1 Municipio de Tapachula de Córdoba y Ordoñez

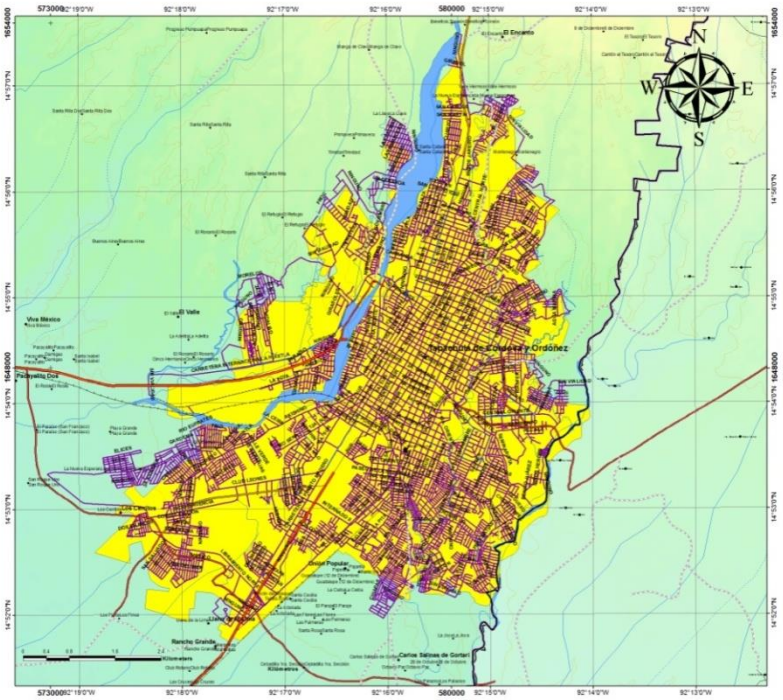


Figura 6.2Cabecera del municipio deTapachula de Córdoba y Ordoñez.

2.2.- Vía de Acceso

El acceso a la cabecera municipal desde la capital del Estado, es por la carretera estatal 190 que llega hasta Arriaga, continuando por la carretera federal 200, hasta llegar a Tapachula(Cuadro 1); también por vía aérea se llega a través del aeropuerto Internacional de Tapachula; y desde este punto podemos trasladarnos a la Ciudad de Guatemala.

a/También es conocida como principal o primaria, tiene como objetivo específico servir al tránsito de larga distancia. Comprende únicamente caminos pavimentados de dos y cuatro carriles. **b/**Incluye alimentadoras federales, también conocidas con el nombre de carreteras secundarias, tienen como propósito principal servir de acceso a las carreteras troncales y alimentadoras estatales pavimentadas, comprende caminos de dos carriles.

III.- Caracterización de los elementos del medio natural

3.1.-Fisiografía

El municipio forma parte de las regiones fisiográficas Llanura Costera del Pacifico y Sierra Madre de Chiapas. El 31.5% de la superficie municipal se conforma de sierra alta volcánica; el 21.35% de llanura costera; el 20.97% llanura costera con lomerío; el 19.99% sierra baja de laderas tendidas; el 5.97% llanura costera inundable y salina y el 0.16% de cuerpo de agua (Figura 7).

Cuadro 1. Longitud de la Red Carretera (Kilómetros)

Tipo de Rodamiento	Total	%	Troncal	%	Alimentadora	%	Camino Rural	%
Total	**632.53**	**2.70**	**80.90**	**12.79**	**157.64**	**24.92**	**393.99**	**62.29**
Pavimentadas	237.04	37.47	80.90 **a/**	34.13	156.14 **b/**	65.87	0.00	0.00
Terracerías	5.50	0.87	0.00	0.00	0.00	0.00	5.50	100.00
Revestidas	387.29	61.23	0.00	0.00	1.50	0.39	385.79	99.61
Brechas	2.70	0.43	0.00	0.00	0.00	0.00	2.70	100.00

Datos referidos al 31 de Diciembre de 2009 FUENTE: Centro SCT Chiapas, Unidad de Planeación y Evaluación.

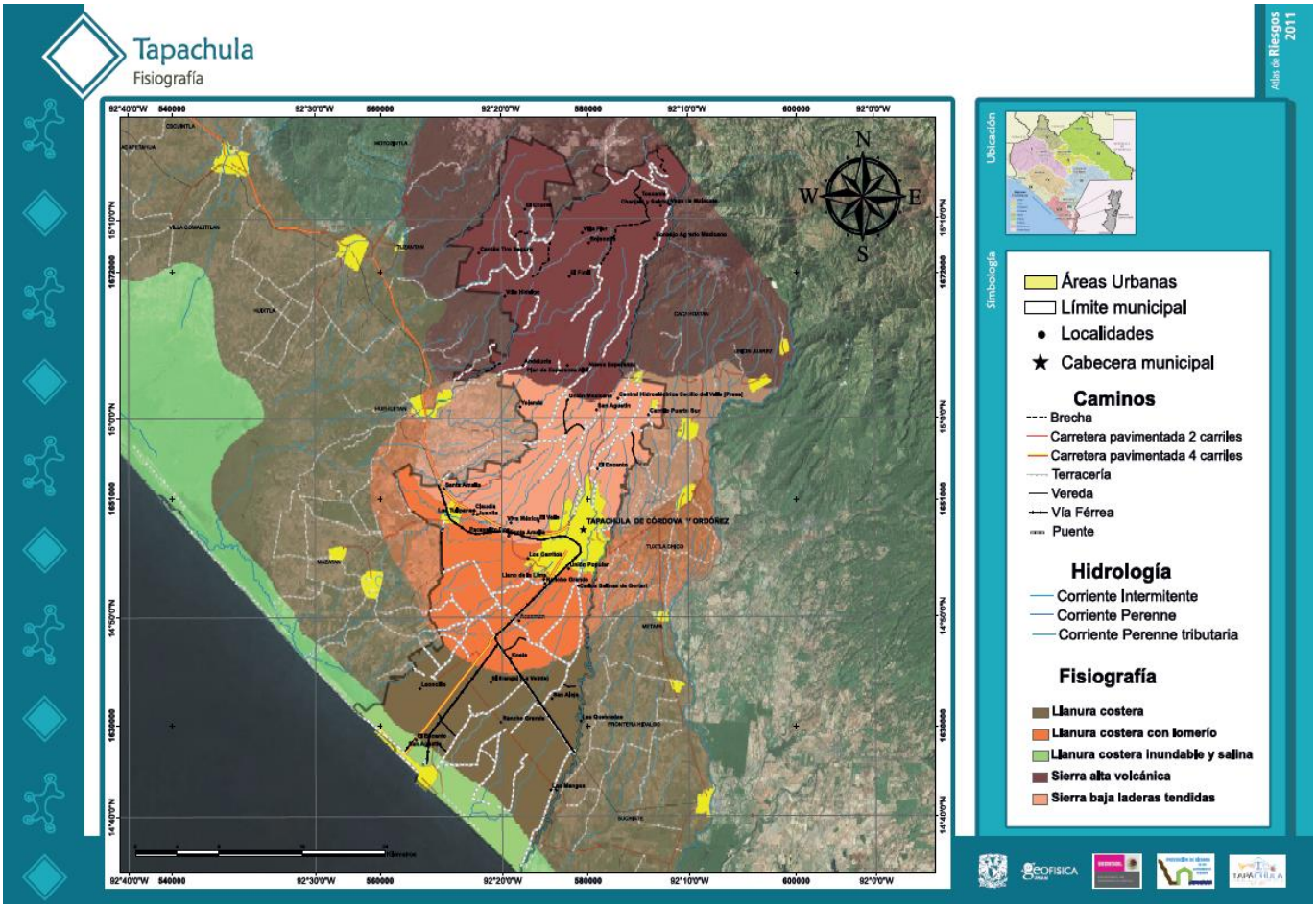


Figura 7.Fisiografía del municipio de Tapachula

La altura del relieve va desde menos de 10 m y hasta los 2,600 msnm (Figura 8). Las principales elevaciones ubicadas dentro del municipio son: los cerros La Tenaza y Siete Orejas. Así mismo la conformación de la orografía municipal se encuentra estrechamente ligada a las configuraciones altitudinales del municipio; encontrándose elevaciones desde 1 msnm hasta 2644 msnm

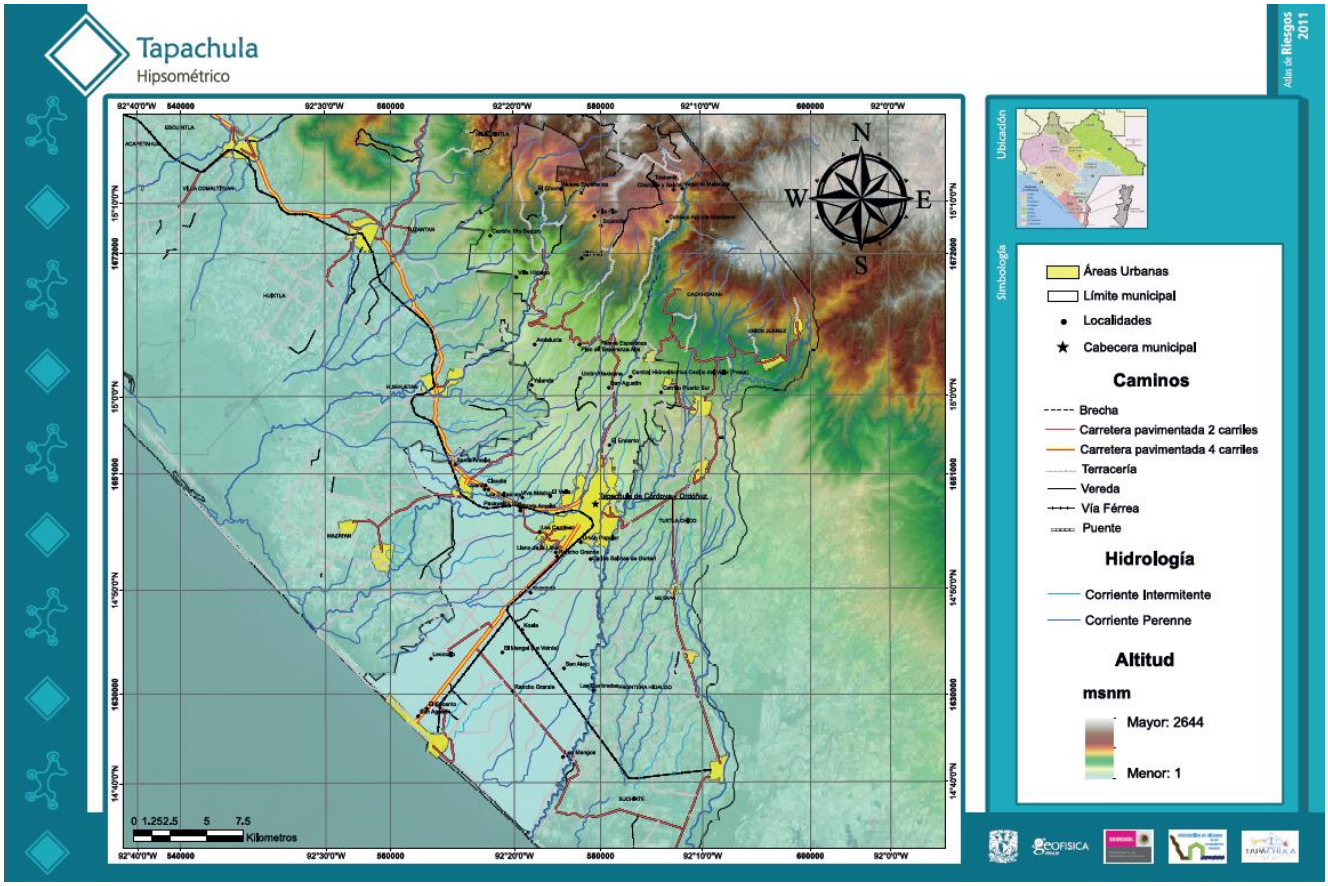


Figura 8. Rasgos topográficos y altitudinales del municipio de Tapachula

La superficie municipal en cuanto a fisiografía es muy variada, contando con zonas planas a semiplanas en orientación sur-sureste del municipio a elevaciones importantes con formación de lomeríos con dirección hacia el Tacaná

3.2.-Geología

Tapachula se localiza al sureste del Estado de Chiapas, limita al oriente con Guatemala y al oeste con el Océano Pacífico. Fisiográficamente se localiza en la provincia denominada como las Tierras Altas de Chiapas, subprovincia de la Planicie Costera (Raisz, 1964).

El Volcán Tacaná se localiza en esta región del sur del país, el cual se encuentra asociado a la evolución tectónica reciente (Mioceno al reciente) del Cinturón Volcánico Centroamericano, resultado de la subducción de la Placa de Cocos bajo la Placa Caribeña.

De acuerdo a la Carta Geológico-Minera Tapachula D15-5 del SGM a escala 1:250 000 las rocas que afloran principalmente en el área corresponden principalmente a rocas y depósitos volcánicos producto de las emisiones del Volcán Tacaná, tales como: lahares, coladas y piroclastos de composición andesítica (Figura 9).

Figura 1. Carta Geológico-Minera de Tapachula. Escala 1:250000. Modificado de SGM (2005).

Por otra parte, rellenando los valles, ríos y arroyos se encuentran depósitos recientes (cuaternarios) de aluvión, constituidos por clastos de diversos tamaños desde limos hasta gravas, derivados de las rocas volcánicas de las inmediaciones. Así mismo, en la zona de la costa se encuentran depósitos palustres. En la zona noroeste, se encuentran localizados depósitos lacustres de sedimentos finos, depositados en un ambiente de laguna somera que son separados del mar por el cordón litoral mencionado anteriormente (Figura 10).

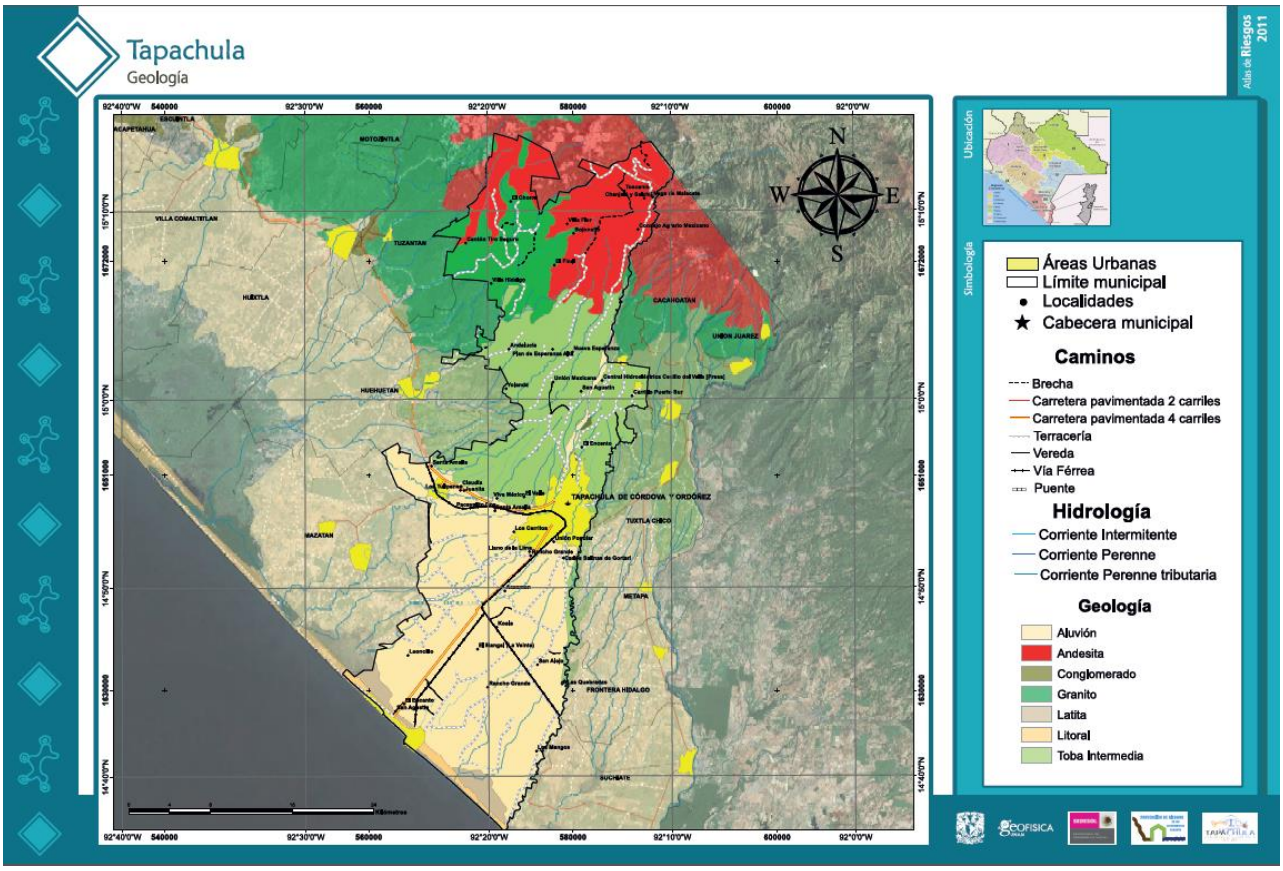


Figura 10. Mapa Geológico del municipio de Tapachula

3.3.-Geomorfología

La geomorfología del municipio se reconoce por su diversidad que va desde las planicies a nivel del mar hasta elevaciones de 2,600 m.s.n.m., en los cerros el Tochmay y el Siete Orejas (Figura 11). El Cerro San Pedro se localiza a 2,100 y el San Cristóbal a 1,700. La ciudad de Tapachula está asentada en una zona semiplana, con algunos barrancos y lomeríos con una pendiente promedio del 1.6%.

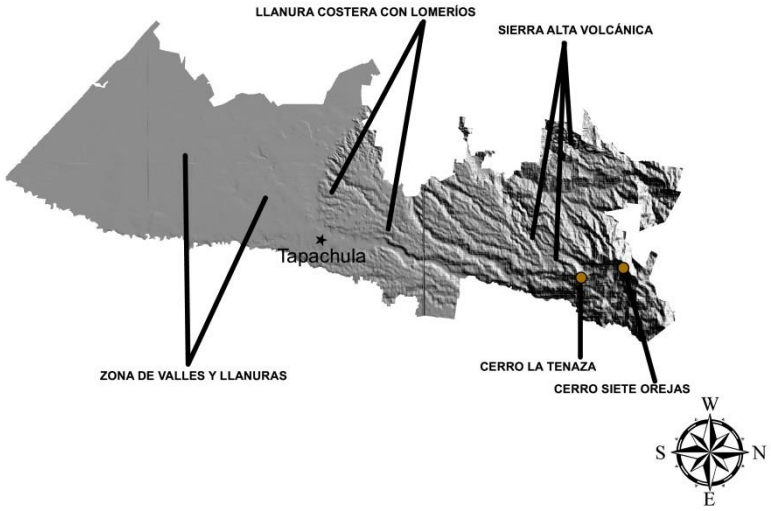


Figura 11. Morfología y geoformas del municipio de Tapachula.

3.4.-Edafología

Los tipos de suelos presentes en el municipio son: acrisol con el 52.75%; cambisol con el 25.83%; feozem con el 13.55%; fluvisol con el 3.11%; solonchak con el 1.97%; regosol con el 1.14%; andosol con el 0.78%; zona urbana con el 0.64% y cuerpos de agua que ocupa el 0.16%de la superficie municipal (Figura 12).

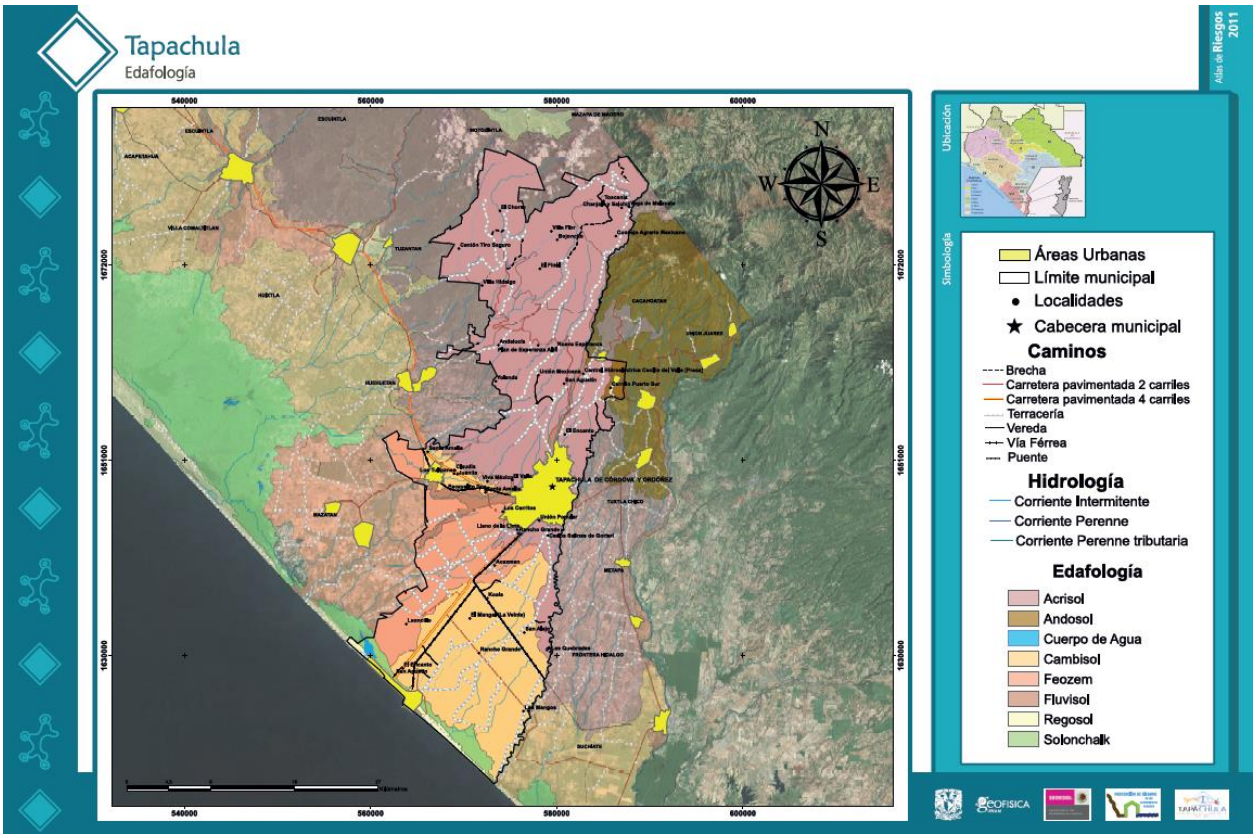


Figura 12. Edafología del municipio de Tapachula

3.5.-Hidrología

Las principales corrientes del municipio son: los ríos perennes Cahoacán, Coatán, Cuilco, Pumpuapa y Texcuyuapam; y los ríos intermitentes Cuscusate, San Nicolás, entre otros (Figura 13).

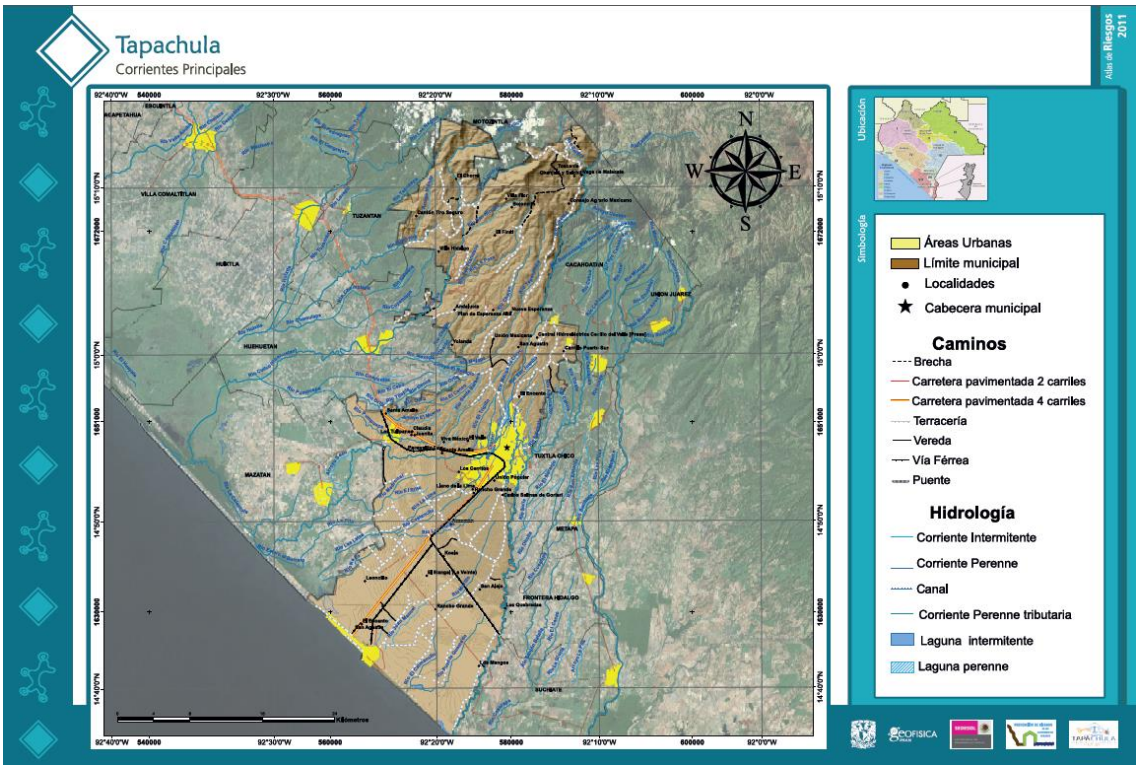


Figura 13. Ríos y corrientes principales del municipio de Tapachula

El municipio de Tapachula se encuentra distribuido dentro de 10 límites de subcuencas, las cuales corresponden a las nominadas (Figura 14):

- Cazaloapán - Huehuetán

- Coatán - Loma Bonita – La Esmeralda

- Cahocán - Malpaso

- Durango-San José - San Antonio - El progreso

- Huehuetán - Santa Lucía – El Nopalito

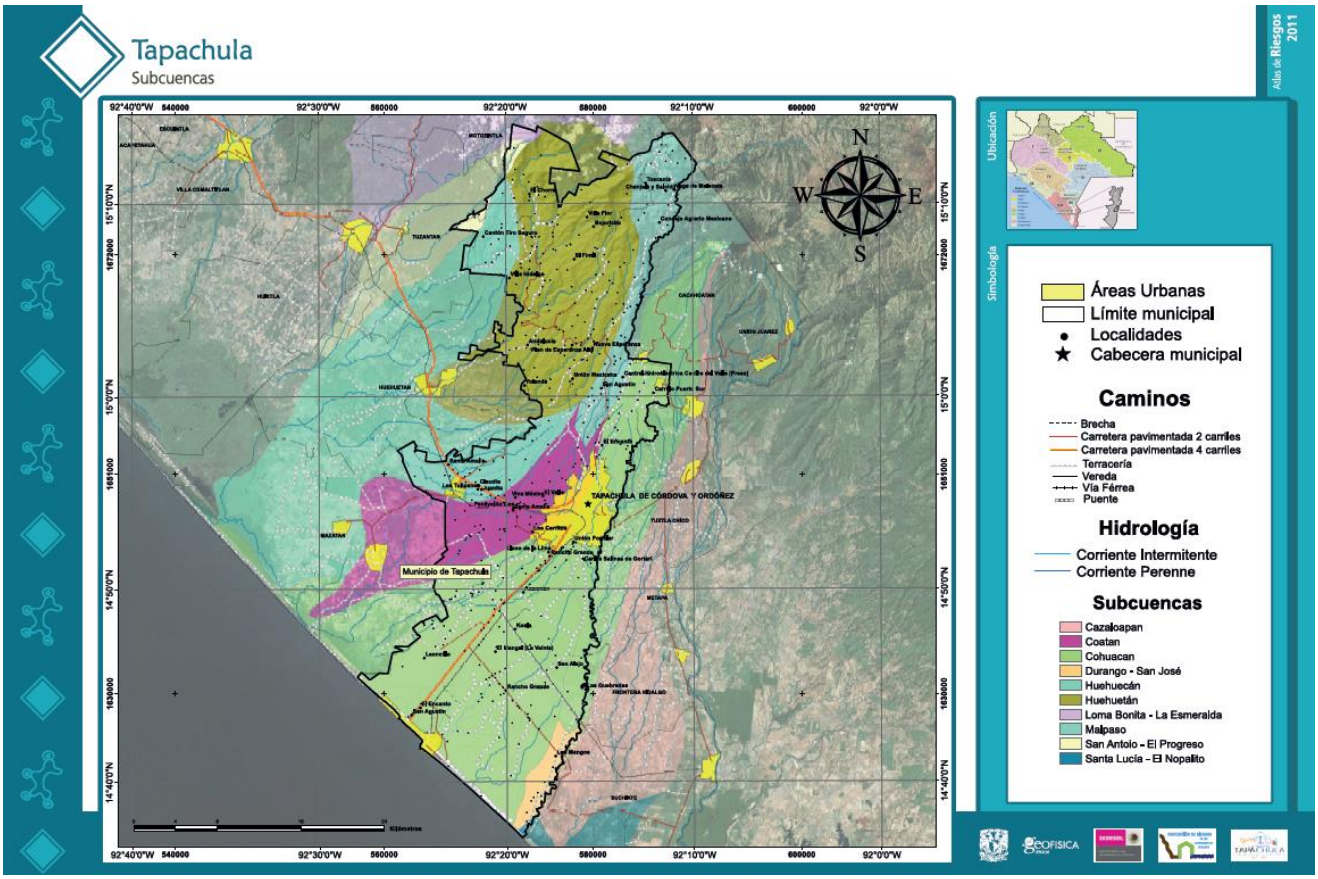


Figura 14.Subcuencas del municipio de Tapachula

3.6.-Climatología

Los climas existentes en el municipio son: Aw0(w) cálido subhúmedo con lluvias en verano que abarca el 47.87%; Am(f) cálido húmedo con lluvias en verano el 41.39%; (A)C(m)(w) semicálido húmedo con lluvias en verano el 5.52% y C(m)(w) templado húmedo con lluvias en verano que ocupa el 5.24% de la superficie municipal (Figura 15).

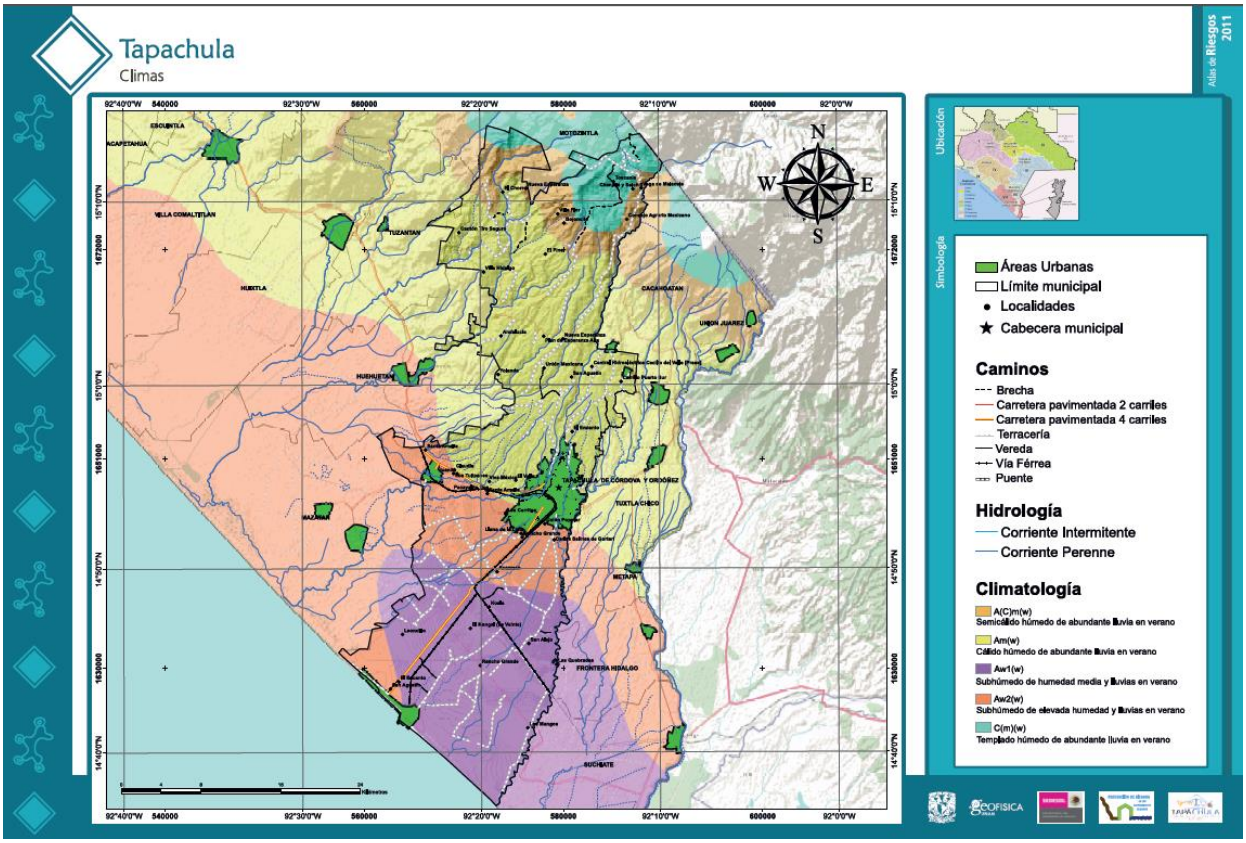


Figura 15. Climatología del municipio de Tapachula

3.7.-Uso de suelo y vegetación

El aprovechamiento de la superficie del territorio del municipio es de la siguiente manera: agricultura de temporal con el 63.34%; pastizal cultivado con el 17.66%; agricultura de riego con el 4.43%; zona urbana con el 1.51%; asentamientos humanos con el 1.49%; cuerpo de agua con el 0.16% y desprovisto de vegetación con el 0.04%.

Así mismo es importante mencionar que la vegetación presente en el municipio está conformada por: vegetación secundaria (de bosque mesófilo de montaña) con el 6.03%; vegetación secundaria (de vegetación hidrófila) con el 2.99%; bosque mesófilo de montaña con el 1.42%; bosque de coníferas con el 0.49%; vegetación hidrófila con el 0.31% y vegetación inducida con el 0.12% (Figura16).

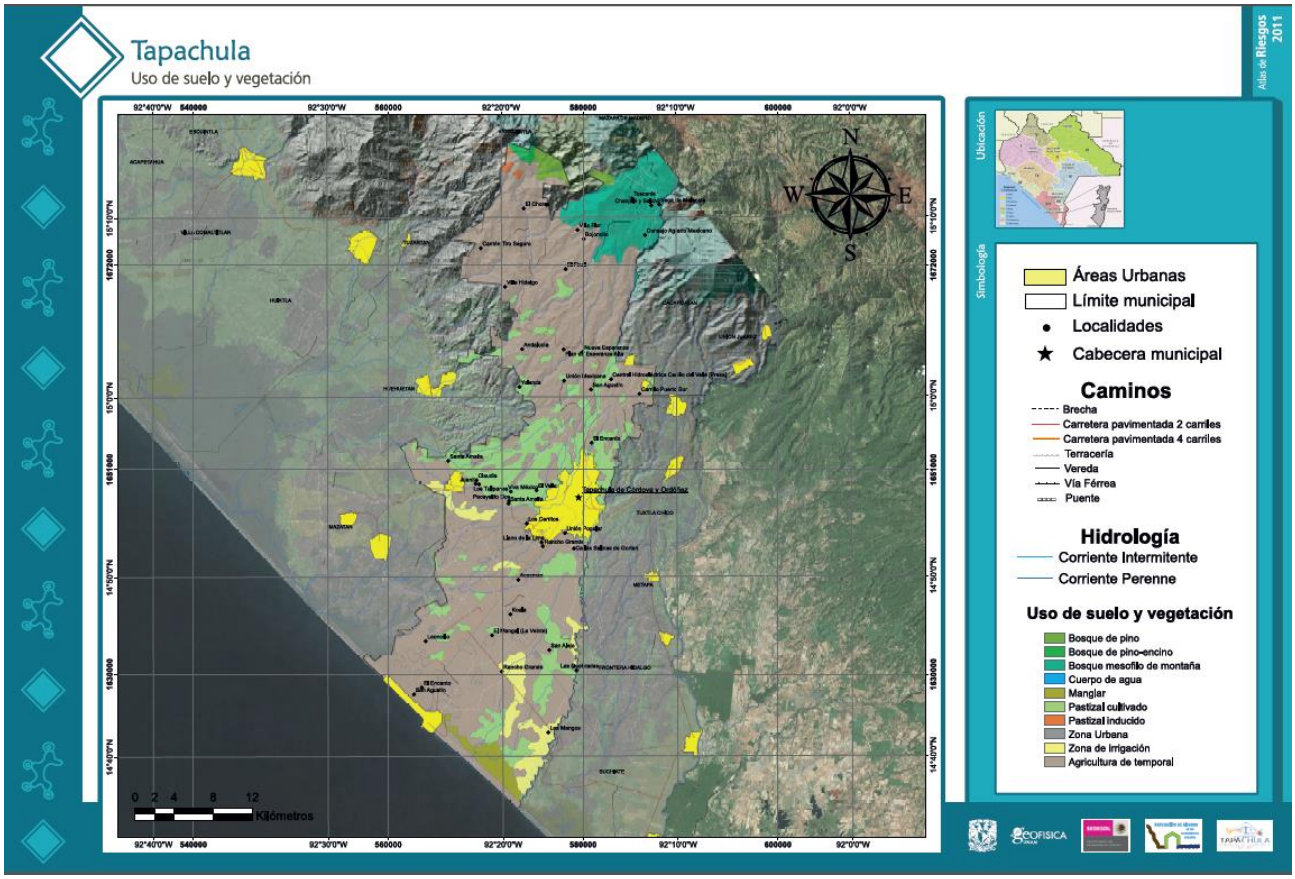


Figura 16. Vegetación y uso de suelo del municipio de Tapachula

3.8.-Áreas naturales protegidas

El municipio cuenta con 3,835.27 has.de áreas naturales protegidas. Abarca porciones de las zonas sujetas a conservación ecológica “El Cabildo Amatal” que está constituida principalmente por vegetación diversa (manglar), 988.39 has, de esta reserva se ubican en el municipio, representando el 1.03% del territorio municipal. La Reserva de la Biósfera “Volcán Tacaná” se constituye principalmente por pastizales y herbazales (pastizal inducido), 1,233.07 has. de esta área se ubican en el municipio y representa el 1.28% del territorio municipal y “El Gancho Murillo” la cual está constituida principalmente por vegetación diversa (manglar), 1,610.49 has. de esta área se ubican en el municipio que representa el 1.68% de su superficie (Figura 17).

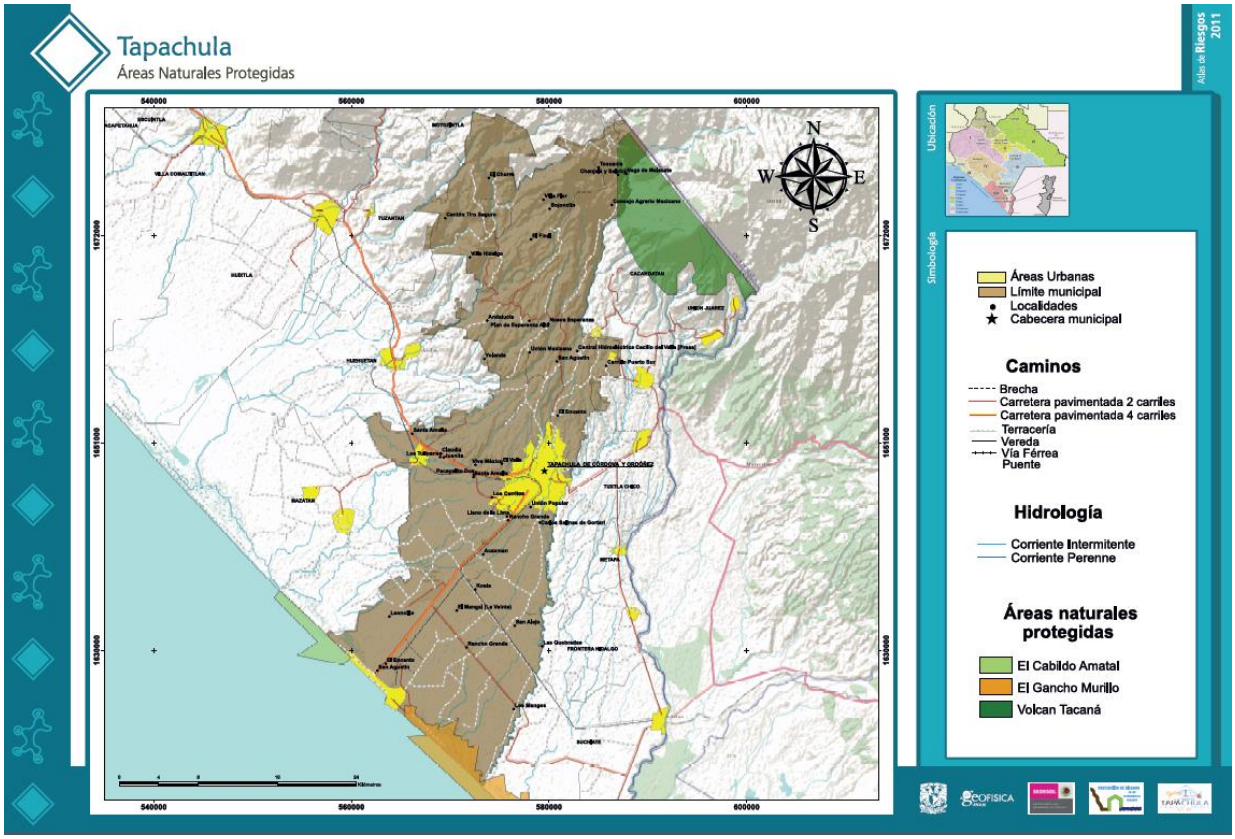


Figura 17. Áreas Naturales Protegidas en el municipio de Tapachula

3.9.-Problemática ambiental

La principal problemática ambiental en el municipio de Tapachula se encuentra directamente ligada a las constantes afectaciones por fenómenos hidrometeorológicos como los huracanes que año con año azotan al estado de Chiapas y los frentes fríos que también se hacen presentes.

Las principales afectaciones en estas temporadas, son: las inundaciones y la destrucción de puentes en las zonas medias y bajas del municipio, y en la zona alta las principales afectaciones están ligadas a derrumbes en caminos, sin pasar por alto viviendas, otro problema que se presenta con frecuencia son fuertes ventarrones en la temporada de frentes fríos.

IV. Caracterización de los elementos sociales, económicos y demográficos

4.1.-Elementos demográficos: dinámica demográfica, distribución de población, mortalidad, densidad de población.

Grupos Étnicos

De acuerdo a los resultados que presentó el Conteo de Población y Vivienda en el 2010, en el municipio habitan un total de 2,201 personas que hablan alguna lengua indígena.

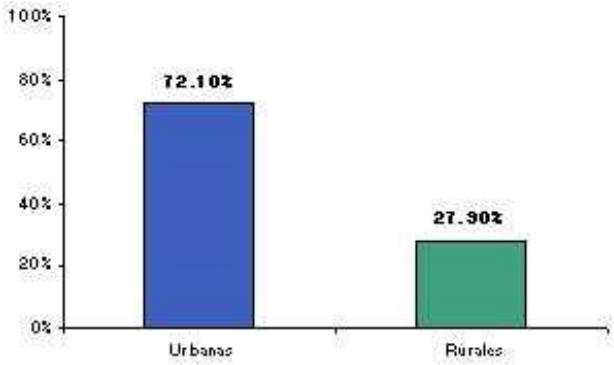
Evolución Demográfica

La población total del municipio es de 320,451 habitantes, representa 40.89% de la regional y 6.93% de la estatal; el 48.46% son hombres y 51.54% mujeres. Su estructura es predominante-mente joven, 63% de sus habitantes son menores de 30 años y la edad mediana es de 22 años.

Se registro en el 2010 una Tasa Media Anual de Crecimiento (TMAC) del 2.06%, el indicador en el ámbito regional y estatal fue de 1.41% y 2.06%, respectivamente.

La dinámica demográfica municipal en este lapso, presentó un incremento de 49,269 habitantes, de continuar con esta tendencia la población se duplicará en aproximadamente 34 años, para entonces habrán alrededor de 543,348 habitantes.

La población total del municipio se distribuye de la siguiente manera: 72.10% vive en 4 localidades urbanas, mientras que el 27.90% restante reside en 489 localidades rurales, que representan 99.19% del total de las localidades que conforman el municipio.
Los promedios regional y estatal para localidades con este mismo rango fueron de 98.91% y 99.09% respectivamente.



Gráfica 1. Distribución espacial de población, según tipo de localidad, municipio de Tapachula, Chiapas. Año 2010.

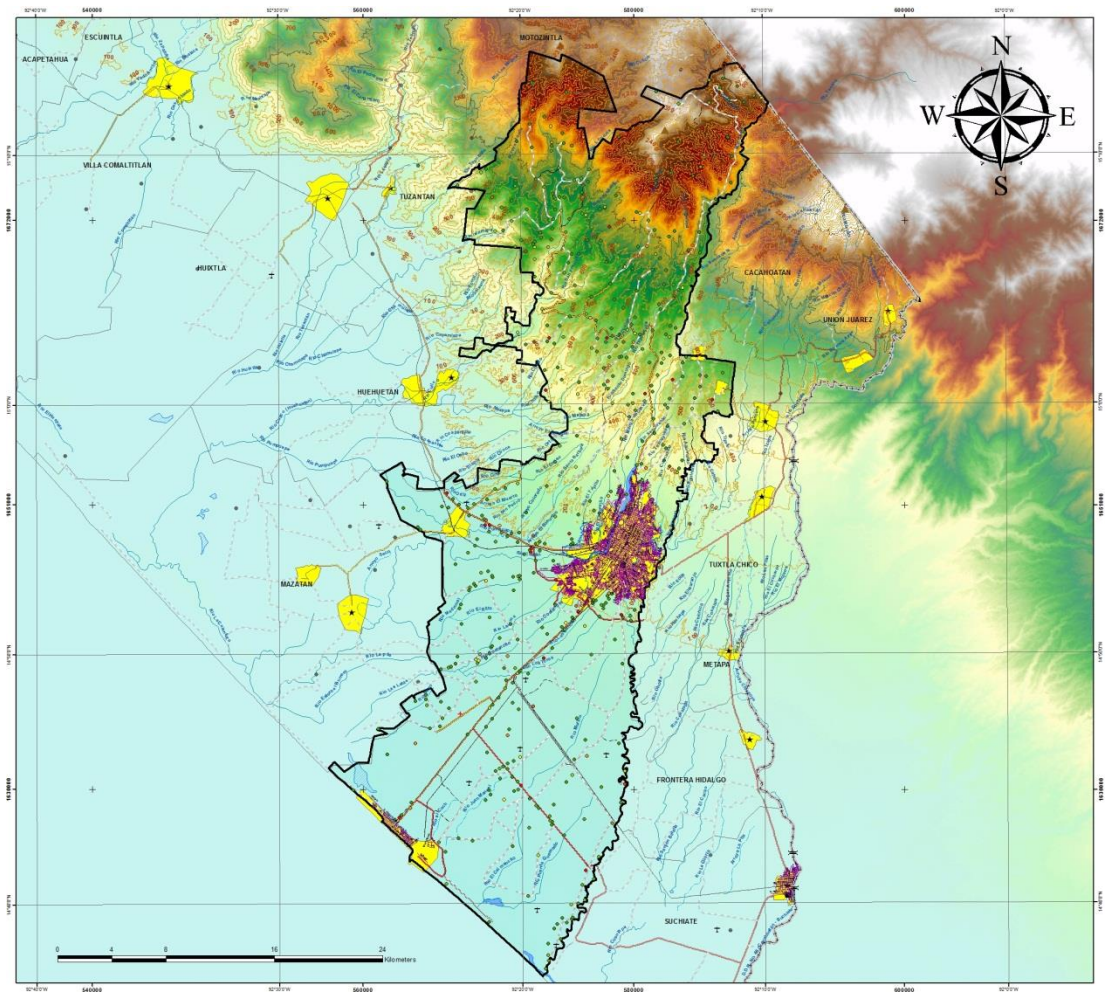


Figura 17.1. Mapa de distribución poblacional (ver el proyecto para su entendimiento mejor)

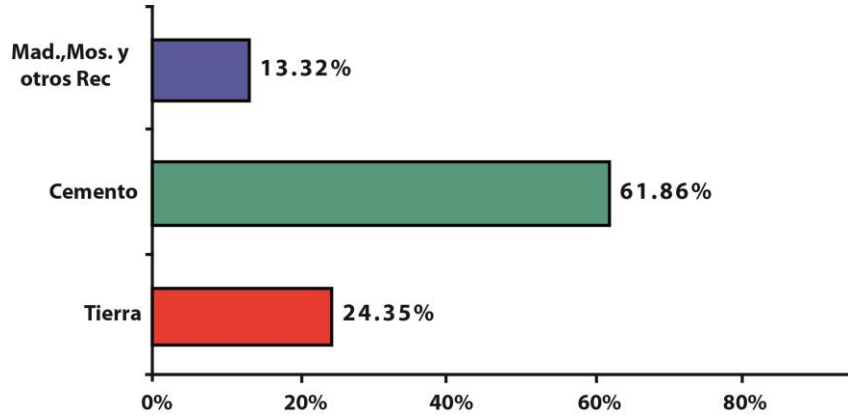
4.2.- Características sociales

Vivienda

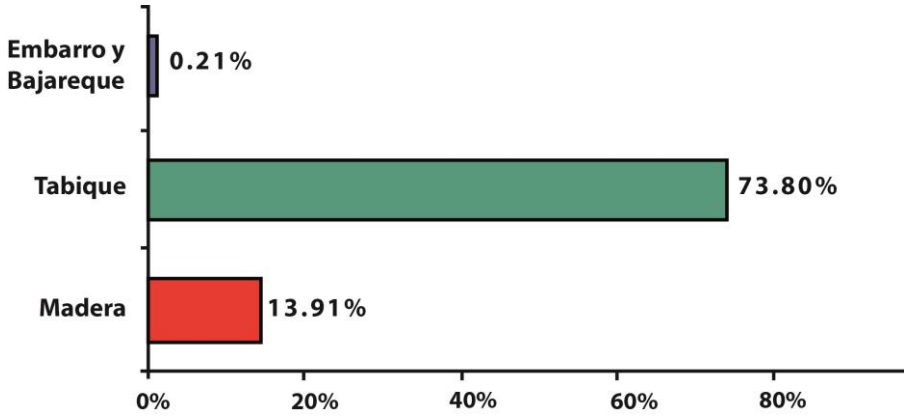
En el año 2010 se registraron 65,643 viviendas particulares habitadas, de las cuales 72.53% son propiedad de sus habitantes y 26.96% son no propias. En promedio cada vivienda la ocupan 4.36 habitantes; el indicador regional y estatal es de 4.60 y 4.85 ocupantes por vivienda respectivamente.

Los materiales predominantes en los pisos de las viviendas son 24.35% de tierra; 61.86% de cemento y firme; 13.32% de madera, mosaico y otros recubrimientos; y el 0.46% de otros materiales.

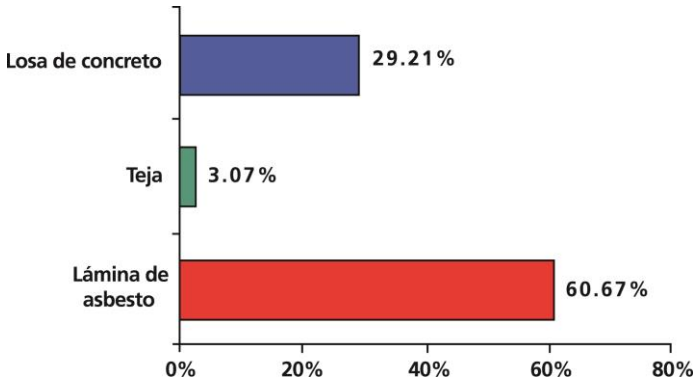
Las paredes son 13.91% de madera, 73.80% de tabique, 0.21% de embarro y bajareque y 0.45% de otros materiales. En techos 60.67% son de lámina de asbesto y metálica, 3.07% de teja, 29.21% de losa de concreto y 0.46 % de otros materiales. (Gráficas 2, 3 y 4).



Gráfica 2. Materiales predominantes en pisos, municipio de Tapachula, Chiapas. Año 2010.



Gráfica 3. Materiales predominantes en paredes, municipio de Tapachula, Chiapas. Año 2010.



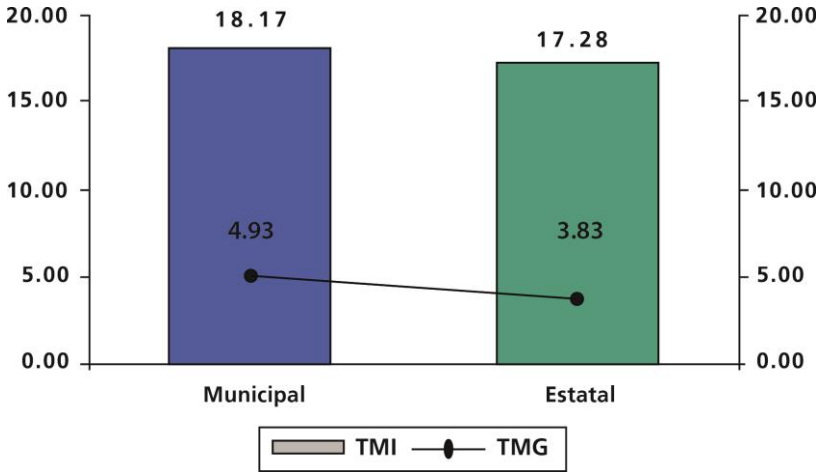
Gráfica 4. Materiales predominantes en techos, municipio de Tapachula, Chiapas. Año 2010.

De acuerdo a los resultados que presentó el Conteo de Población y Vivienda en el 2010, en el municipio cuentan con un total de 65,643 viviendas de las cuales 59,487 son particulares.

Salud

En 2010 el régimen de atención de los servicios de salud atendió a 503,858 personas, 25.18% de los usuarios fueron atendidos por instituciones de seguridad social y 74.82% por el régimen de población abierta.

La Tasa de Mortalidad General (TMG) fue de 4.93 defunciones por cada 1,000 habitantes; y de 18.17 con respecto a la Tasa de Mortalidad Infantil (TMI) a nivel estatal correspondió a 3.83 y 17.28 respectivamente

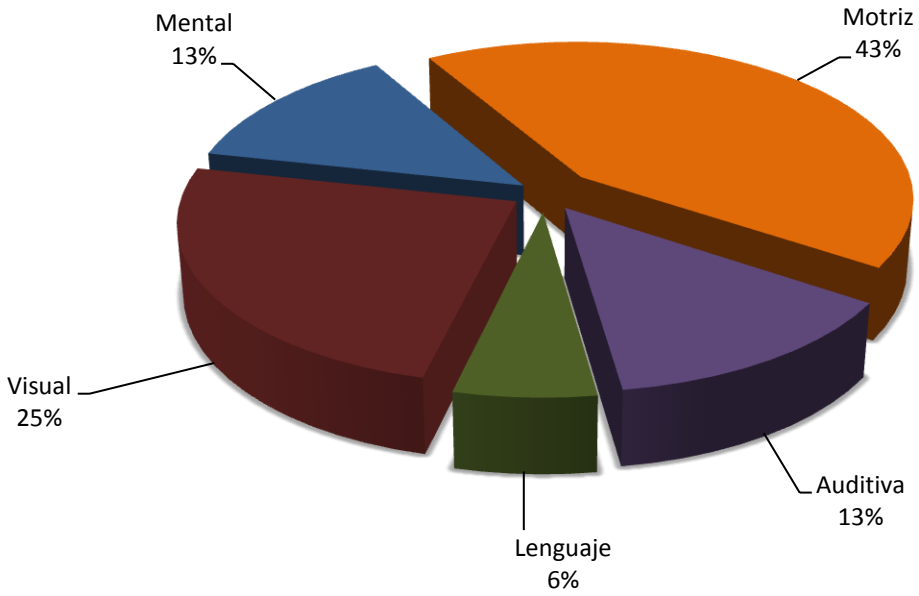


Gráfica 5. Tasa de Mortalidad General (*) e Infantil (**) municipio de Tapachula y Estado de Chiapas. Año 2010.

(*).- Expresada por 1,000 habitantes(**).- Expresada por cada 1,000 NVR

Las principales causas de la mortalidad general en el municipio son: tumores malignos, accidentes, enfermedades del hígado, enfermedades del corazón y Diabetes Mellitus.

El 1.45% de la población total padece alguna forma de discapacidad, distribuyéndose de la siguiente manera: 45.62% presenta discapacidad motriz, 14.33% auditiva, 6.42% de lenguaje, 26.40% visual y 14.15% mental.

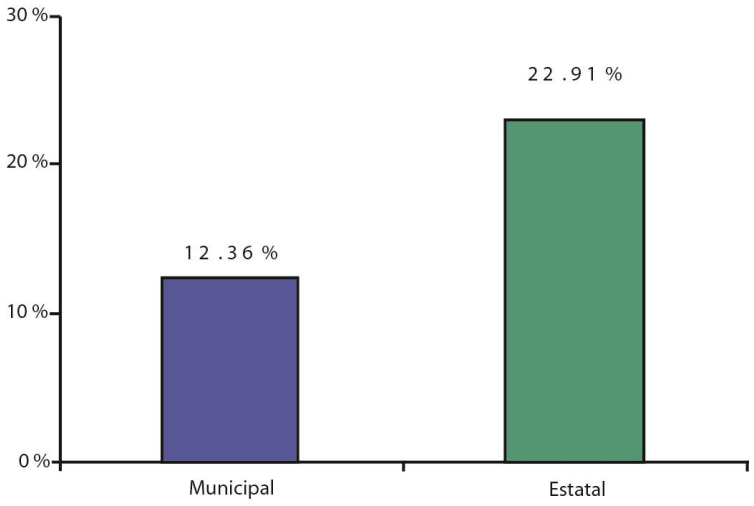


Gráfica 6. Población con discapacidad, municipio de Tapachula, Chiapas. Año 2010.

Los porcentajes de la población discapacitada en la región y el estado son de 1.56 y 1.27, respectivamente. La suma de los distintos tipos de discapacidad puede ser mayor al 100.00%, debido a que algunas personas presentan más de una discapacidad.

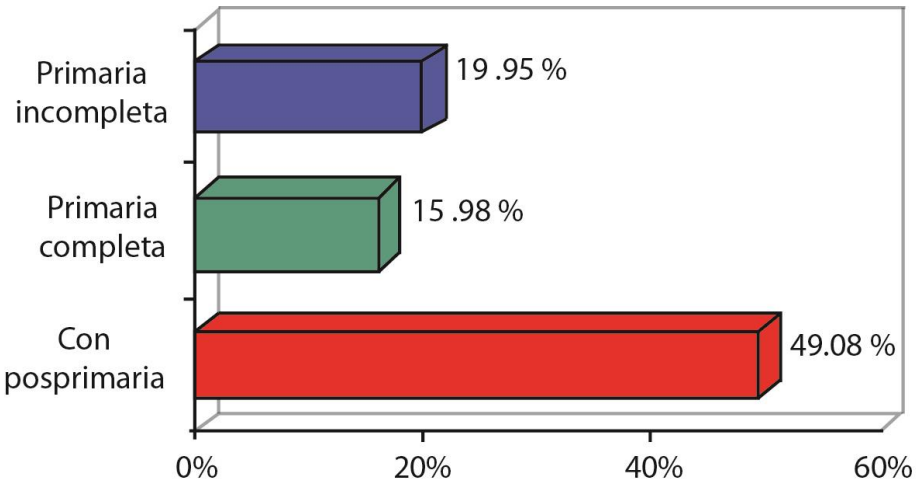
Educación

En el año 2010, el municipio presentó un índice de analfabetismo del 12.36%, indicador que en 1990 fue de 16.32%. Actualmente la media estatal es de 22.91%.



Gráfica 7. Tasa de Analfabetismo, municipio de Tapachula y Estado de Chiapas. Año 2010.

De la población mayor de 15 años, 19.95% no completó la primaria, 15.98% completó los estudios de primaria y 49.08% cursó algún grado de instrucción posterior a este nivel.



Gráfica 8. Instrucción escolar de la población de 15 años y más del municipio de Tapachula, Chiapas. Año 2010

4.3.- Población Económicamente Activa por Sector y sus principales actividades económicas.

En el Año 2010, la Población Económicamente Activa (PEA) ocupada fue de 97,251 habitantes, distribuyéndose por sector, de la siguiente manera:

Sector Primario

El 18.03% realiza actividades agropecuarias. El porcentaje de este sector en los ámbitos regional y estatal fue de 35.54 y 47.25%, respectivamente.

Sector Secundario

El 16.48% de la PEA ocupada laboraba en la industria de la transformación, mientras que en los niveles regional y estatal los porcentajes fueron de 14.03 y 13.24%, respectivamente.

Sector Terciario

El 62.67% de la PEA ocupada se emplea en actividades relacionadas con el comercio o la oferta de servicios a la comunidad, mientras que en los niveles regional y estatal el comportamiento fue de 48.10 y 37.31%, respectivamente.

En la percepción de ingresos, en el municipio, se tienen los siguientes resultados: el 22.72% de los ocupados en el sector primario no perciben ingresos y sólo 2.41% reciben más de cinco salarios. En el sector secundario, 2.43% no perciben salario alguno, mientras que 5.63% reciben más de cinco. En el terciario, 2.97% no reciben ingresos y el 12.72% obtienen más de cinco salarios mínimos de ingreso mensual. (Cuadro 2).

En este mismo rubro la región reporta los siguientes datos: 21.69% de la PEA ocupada en el sector primario no recibe salario alguno y 1.18% recibe más de cinco salarios.

En el sector secundario, 3.44% no percibe ingresos por su actividad, mientras que 4.29% percibe más de cinco salarios. En el terciario, 3.67% no recibe ingresos y 11.28% más de cinco salarios mínimos mensuales de ingreso, por su actividad.

La distribución de ingresos de la PEA en el estado reporta que el 40.66% del sector primario no recibe salario alguno y sólo 0.76% recibe más de cinco salarios mínimos.

En el sector secundario, 6.63% no percibe ingresos y 4.46% recibe más de cinco salarios. En el terciario, 5.73% no recibe ingresos y el 11.98% obtiene más de cinco salarios mínimos.

Cuadro 2

TAPACHULA	POBLACION OCUPADA	%	NO RECIBE INGRESOS	%
PRIMARIO	16,625	18.03	3773	22.72
SECUNDARIO	15,199	16.48	369	2.41
TERCIARIO	57,793	62.67	1,713	2.97

TAPACHULA	MAS DE 5 SALARIOS MIN.	%	NO ESPECIFICADO	%
PRIMARIO	400	2.41	494	2.97
SECUNDARIO	356	5.68	767	5.05
TERCIARIO	7,351	12.72	3,251	5.63

4.4.- Estructura urbana

Servicios Públicos

En la región los indicadores fueron, para energía eléctrica 90.70%, agua entubada 59.40% y drenaje 73.52%; y en el estado 87.90%, 68.01% y 62.27% respectivamente.

Medios de Comunicación

Para atender la demanda del servicio de comunicación, este municipio dispone de 43 oficinas postales, dos de telégrafos y de red telefónica con servicio estatal, nacional e internacional.

V.-Identificación de Peligros, Vulnerabilidad y Riesgos ante fenómenos perturbadores de origen natural.

5.1.- Fenómenos Geológicos

Los fenómenos geológicos comprenden aquellos procesos relacionados con los materiales de la corteza terrestre, su dinámica y los sistemas con los que se relacionan en la superficie del planeta, tanto de origen natural como en el que interviene el ser humano. El estado de Chiapas y por lo tanto el municipio de Tapachula, al igual que el país se encuentra en un entorno geológico-tectónico dinámico, por lo que está continuamente expuesto a peligros relacionados con actividad sísmica, vulcanismo y fallamientos tectónicos asociados; a los cuales el ser humano contribuye por las diversas modificaciones que realiza al entorno, producto de su dinámica de desarrollo actual. Todo esto, progresivamente ocasiona daños a las viviendas, la infraestructura y equipamiento urbano, principalmente porque en el municipio se carece, al igual que en el estado de manera casi generalizada, de normatividad en materia de construcciones antisísmicas, es decir, no se ha trabajado lo suficiente para el ejercicio de la construcción sismo-resistente. Combinando lo anterior con el establecimiento de los asentamientos humanos en sitios no aptos, obtenemos un peligro, vulnerabilidad y riesgos de consideración ante fenómenos de origen geológico. Un aspecto importante a considerar es que el municipio de Tapachula, aproximadamente el 50% de su extensión territorialpresenta manifestaciones de origen geológico que representen un peligro, haciendo referencia principalmente a derrumbes, flujos o deslizamientos.

En este sentido, si bien por un lado el factor topográfico y de altimetría del municipio de Tapachula, favorece la presencia de derrumbes, flujos y deslizamientos; es importante no dejar de considerar que se trata de una zona sísmicamente activa al encontrarse asentada sobre la Placa del Caribe, la cual por limitar con la Placa de Cocos presenta actividad sísmica de consideración. No obstante, a pesar de la circunstancia expuesta, históricamente no se tiene reportes de contingencias mayores asociadas a sismos dentro del municipio.

5.1.1 Sismos

Riesgo sísmico de Tapachula

Antecedentes

El estado de Chiapas es uno de los tres estados de la República Mexicana con mayor actividad sísmica y en el 2011 el estado más activo, siendo Tapachula uno de los municipios con mayor número de sismos. Esta actividad se genera por la interacción de tres placas tectónicas, la Placa de

Cocos subduciéndose bajo la Placa Norteamericana y el fallamiento lateral izquierdo de la Placa Norteamericana respecto a la Placa del Caribe (Figura 18). El desplazamiento de subducción entre la Placa de Cocos y la Placa Norteamericana es la causante de la mayoría de los sismos del estado de Chiapas.

Los sismos que han afectado al estado de Chiapas han tenido cinco fuentes sismogénicas. La primera y más importante, es la resultante del proceso de subducción de la Placa de Cocos bajo la Norteamericana, misma que da origen a los sismos de gran magnitud (M>7.0) (Suárez y Singh, 1986; Pardo y Suárez, 1995). Los sismos producidos por esta fuente han alcanzado magnitudes de 7.7 e intensidades hasta de X, como el sismo del 23 de septiembre de 1902 (Figueroa, 1973) y más recientemente el sismo del 21 de enero de 2002, con magnitud de 6.7 e intensidad de VI.

Figura 18. Placas tectónicas y sus correspondientes desplazamientos y velocidades relativas (Cenapred, 2006).

La segunda fuente sismogénica está constituida por la deformación interna de la placa subducida, lo cual produce sismos profundos o de mediana profundidad (desde 80 hasta 300 km), como el sismo de Villaflores del 21 de octubre de 1995, con magnitud de 7.2, una profundidad focal de 165 km y un área de ruptura de 30x10 km (Rebollar et al., 1999). La profundidad de subducción de la Placa de Cocos es mayor en el estado de Chiapas, por lo que los sismos en las costas de Oaxaca, Guerrero y Michoacán no rebasan una profundidad de 80 km, mientras que en esta zona los sismos profundos en Chiapas alcanzan valores cercanos a los 200 km como se observa en la Figura 19 (Ponce et al., 1992; Barrier et al., 1998).

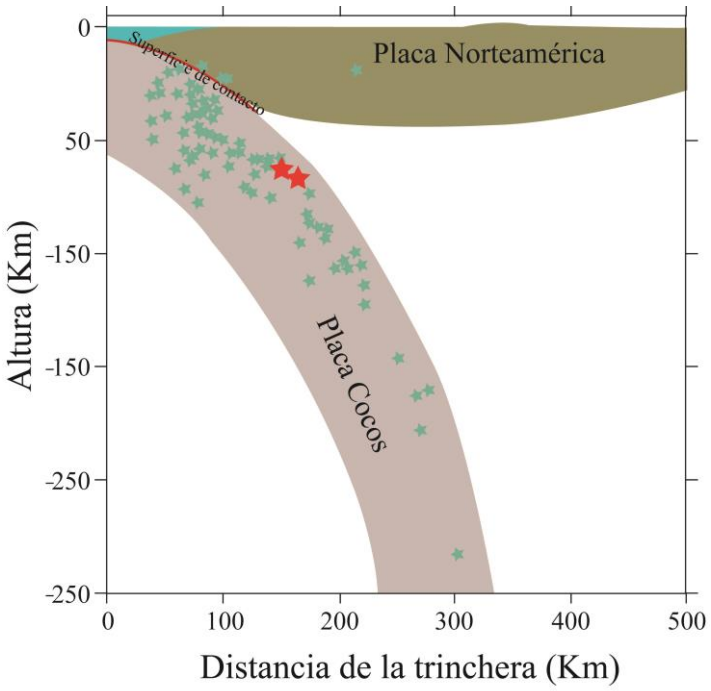


Figura 19. Profundidad y distancia donde se presentan los sismos profundos de subducción en la costa de Chiapas (Barrier et al. 1998).

Una tercera fuente corresponde a la deformación cortical debida a los sistemas de fallas superficiales que originan temblores de pequeña profundidad (menores a 40 km) presentes en el estado, como lo reporta Figueroa (1973), quien enuncia al menos 15 fallas importantes.

Esta fuente origina sismos de magnitud moderada que producen daños locales; ejemplo de esta fuente son los enjambres de sismos originados en Chiapa de Corzo entre julio y octubre de 1975 (Figueroa et al., 1975). No obstante lo anterior, un grupo importante de la sismicidad cortical de la región ha sido atribuido a la construcción de las presas a finales de los años setenta y al llenado de las cortinas por presión de poro (Rodríguez et al., 1985).

Una cuarta fuente sismogénica está constituida por la presencia de los volcanes activos en el estado de Chiapas, el Tacaná y el Chichonal o Chichón.

La última fuente sísmica se debe a la falla lateral izquierda desarrollada entre la Placa Norteamericana y la Placa del Caribe, que ha producido sismos muy importantes como el sismo del 18 de abril de 1902 que destruyó gran parte de los monumentos históricos de la ciudad de Antigua Guatemala y que alcanzó intensidades de VIII en la zona del Soconusco en Chiapas (Belén et al. 2001).

Las diversas fuentes sismogenéticas han generado sismos muy importantes históricamente en la República Mexicana. El estado de Chiapas ha sido sufrido la presencia de por lo menos diez sismos con magnitud mayor a 7 durante el siglo pasado, un promedio de uno cada diez años (Cenapred, 2006), (ver Figura 20 y el cuadro 4).

Debemos considerar que la instrumentación sísmica del estado de Chiapas es muy reciente, CFE la desarrolla a partir de la operación de las presas, el Servicio Sismológico Nacional (SSN) a partir de 1974, el Grupo Interuniversitario de Ingeniería Sísmica (GIIS) a partir de 1994. Debido a lo anterior podría haber mayor cantidad de sismos de esta magnitud, o incluso estos sismos podrían ser de menor magnitud a la señalada.

Otro aspecto a considerar es el tipo de magnitud expresada por las distintas fuentes, ya que el valor de esta puede ser diferente dependiendo de la metodología usada para calcularla. El mismo SSN ha empleado al menos dos tipos de magnitudes diferentes en su historia de 100 años. En el cuadro 2 se presenta una magnitud Ms (magnitud de ondas superficiales) y se coloca el valor mayor de la magnitud reportada. Actualmente se emplea la Mw (magnitud de momento).

Cuadro 4. Temblores magnitud superior a 7.0 en Chiapas en el siglo XX. Adaptado de Cenapred, 2006.

Fecha	LatºN	Longº W	Prof (km)	M (máx.)	Ms	Región
1902 Sep 23	16.500	92.50	25	7.7	7.7	Chiapas
1903 Ene 14	15.000	93.00	S	7.6	7.6	Costa de Chiapas
1912 Dic 09	15.500	93.00	S	7.0	7.0	Costa de Chiapas
1914 Mar 30	17.00	92.00	150	7.2	-	Chiapas
1925 Dic 10	15.50	92.50	S	7.0	7.0	Chiapas
1935 Dic 14	14.75	92.50	S	7.3	7.2	Costa de Chiapas
1944 Jun 28	15.00	92.50	S	7.1	7.1	Chiapas
1970 Abr 29	14.463	92.683	44	7.3	7.1	Costa de Chiapas
1993 Sep 10	14.800	92.687	34	7.2	7.2	Costa de Chiapas
1995 Oct 21	16.811	93.474	160	7.1	6.5	Chiapas

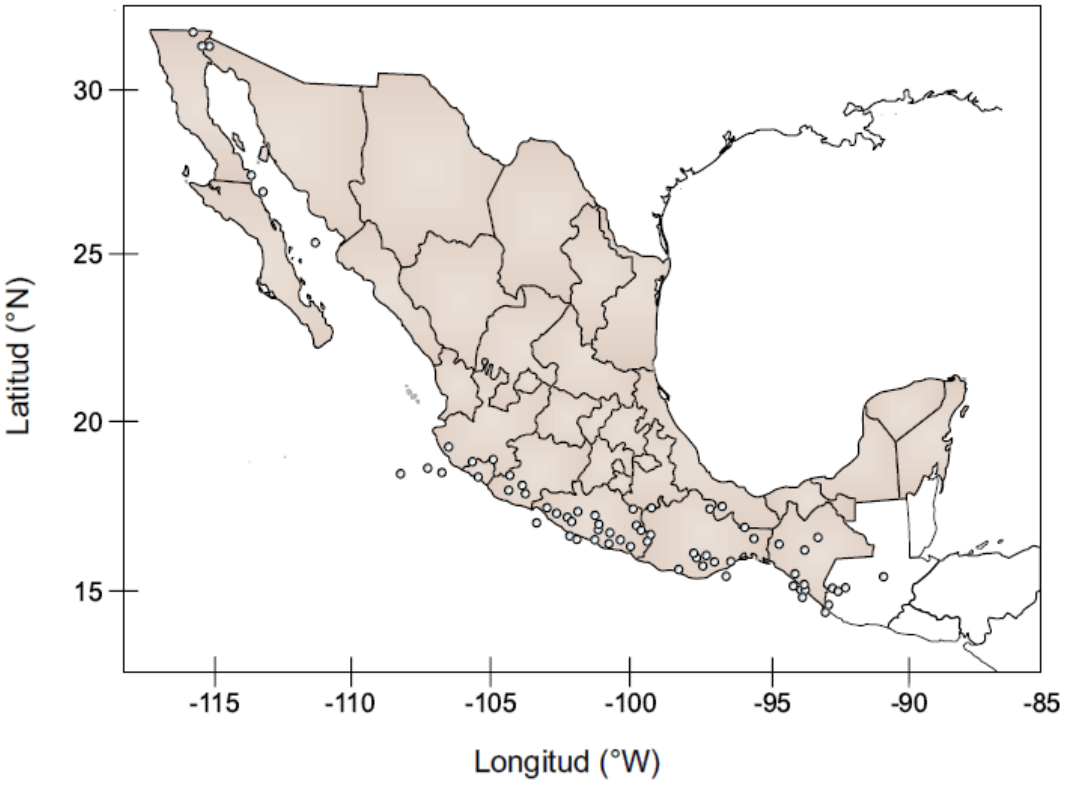


Figura 20. Sismos con magnitud mayor a 7 ocurridos en el siglo XX en la República Mexicana y su frontera con Guatemala (Cenapred, 2006).

Un elemento clave a considerar para entender el peligro sísmico de una región, son los daños históricos que los sismos han generado en ella, los cuales se pueden representarse con un mapa de intensidades sísmicas, como el desarrollado por Figueroa, (1986) utilizando 49 mapas de isosistas (líneas que separan áreas de igual intensidad de daños o repercusiones) elaborados para los sismos más importantes ocurridos entre el 7 de abril de 1845 y el 19 de septiembre de 1985.

En la Figura 21, se observa que considerando los daños reportados en el rango de tiempo del estudio de Figueroa (1986), la ciudad de Tapachula ha alcanzado a registrar intensidades sísmicas de hasta IX. Las intensidades sísmicas al estar relacionadas con los daños observados, son un buen indicador del peligro sísmico, lo cual permite considerar que Tapachula presenta un peligro sísmico muy importante.

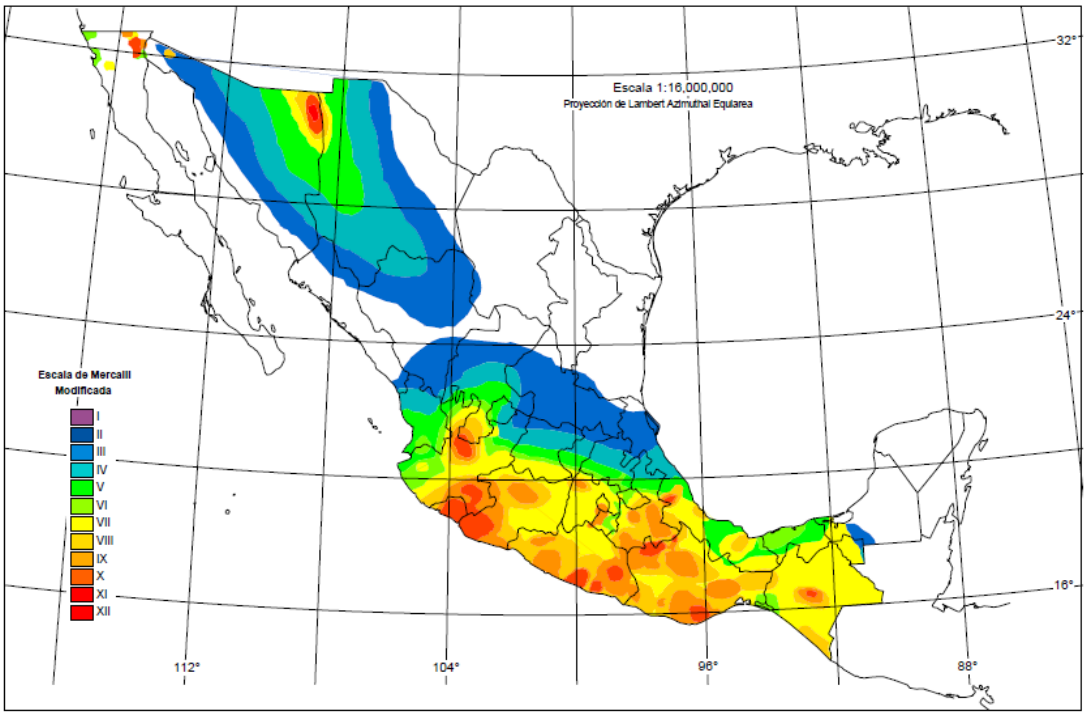


Figura 21. Mapa de intensidades sísmicas (Figueroa, 1986).

Daños históricos por sismo en Tapachula

A continuación se presenta en el cuadro 5 una relación de los sismos históricos más importantes del estado de Chiapas, los resultados de los mismos han sido obtenidos de diversas fuentes, también se incluyen diversas épocas y por lo tanto hay involucrados diversos criterios, como el relativo a la época prehistórica y colonial, donde los sismos eran considerados como actos que venían de Dios para castigo. Para el año de 1823 comienza una nueva era para la sismología mediante el inicio de la interpretación científica, la cual se consolida pasando el año de 1850 a una sismología cualitativa y a partir de 1900 a una sismología instrumental.

En el análisis de la vulnerabilidad física se encontraron daños específicos en viviendas, los cuales se muestran en los mapas y en el análisis estadístico.

Peligro Sísmico de Tapachula

Análisis estadístico de la sismicidad

La información reportada por el SSN es muy reciente desde el punto sismológico (38 años); adicionalmente la robustez y densidad de la red del SSN (número, ubicación y precisión de los equipos) es óptima a partir de los últimos cinco años, por lo cual los datos manifestados deben

tomarse como un proceso estadístico meramente y con alta incertidumbre, sin embargo, permiten conocer una tendencia general.

Mediante la información del SSN se ubicaron 4,943 eventos sísmicos registrados en el periodo de enero de 1974 a septiembre del 2010 en el área comprendida entre los 90° 30’ a 94° 00’ Longitud Oeste y los 14° 00’ a 18° 00’ Latitud Norte, los cuales se procesaron considerando agrupaciones cercanas con magnitudes y profundidades similares, considerando la metodología expresada en González, et al. (2011), ver Figura 22.

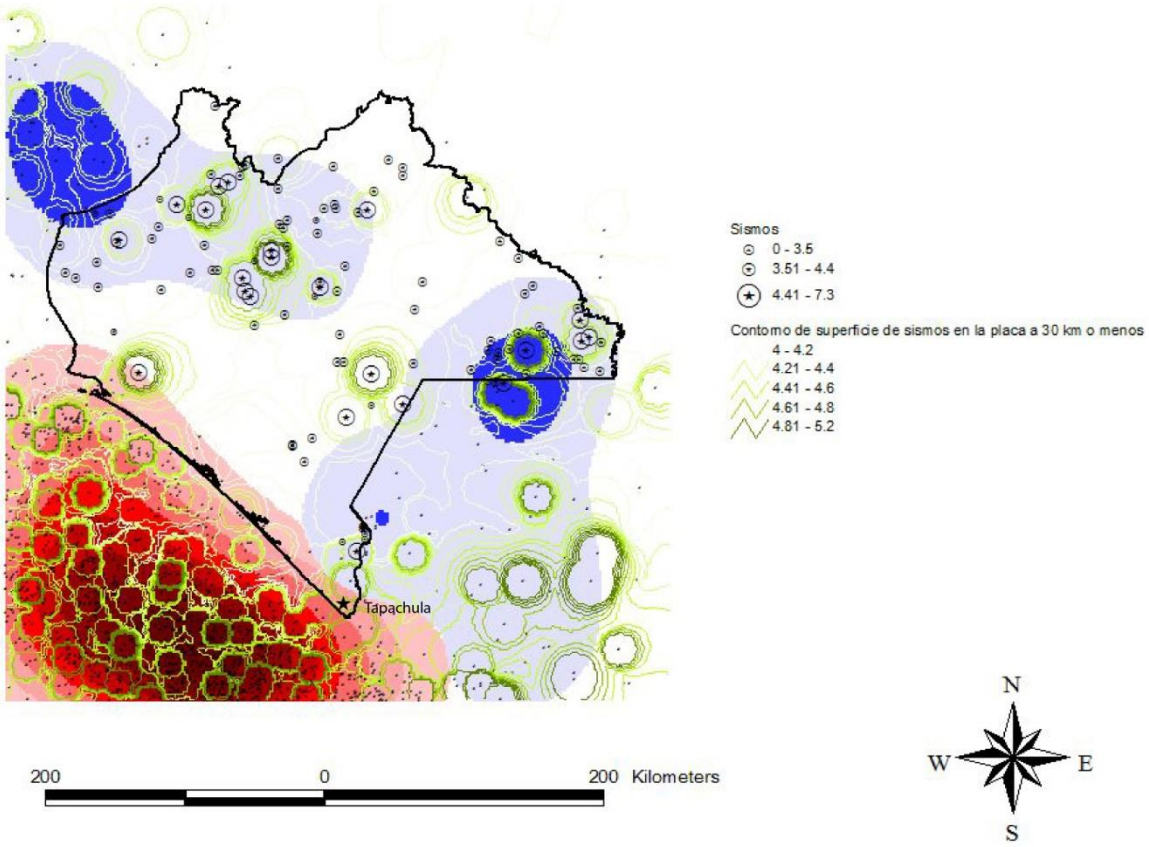


Figura 22. Agrupaciones sísmicas en Chiapas considerando datos del SSN (González et al., 2011).

González, A., (2010) desarrolló un análisis estadístico probabilístico de los sismos en la región, empleando los datos del SSN de los años 1974 a 2009, con lo que elaboró mapas de frecuencia de sismos, energía liberada y profundidad media, respectivamente (ver las Figuras 23, 24 y 25).

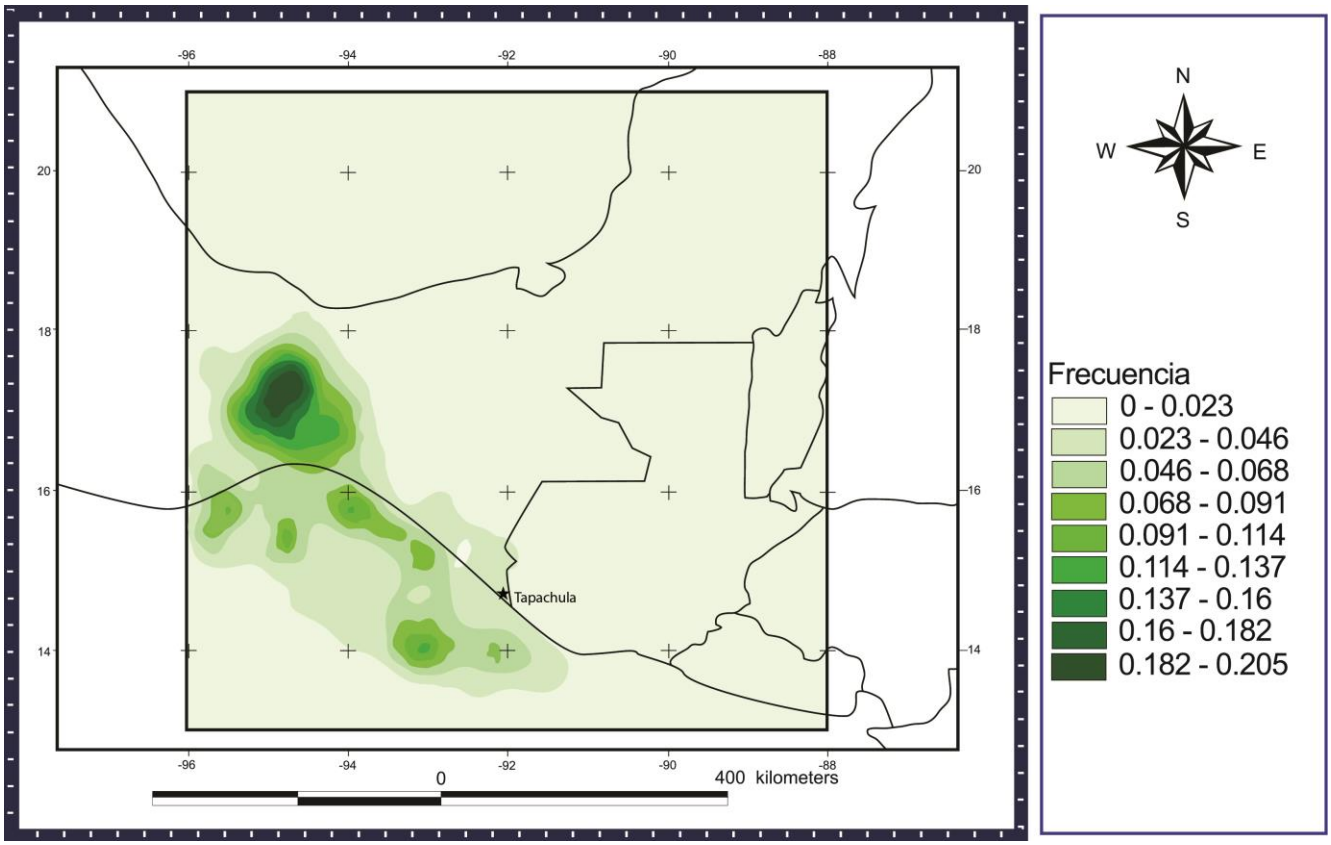


Figura 23. Mapa de Frecuencia Sísmica

Considerando la frecuencia de los sismos, la región del Istmo de Tehuantepec y el Soconusco, presentan una actividad muy importante. Respecto a los niveles de energía liberada (Figura 24), las zonas más críticas se encuentran en el Istmo y en la frontera del Soconusco con Guatemala. La profundidad de los sismos que se exhibe en la Figura 25 se puede identificar algunos de los mecanismos que caracterizan a la generación de los sismos en el estado, observándose la zona de subducción y la zona cortical.

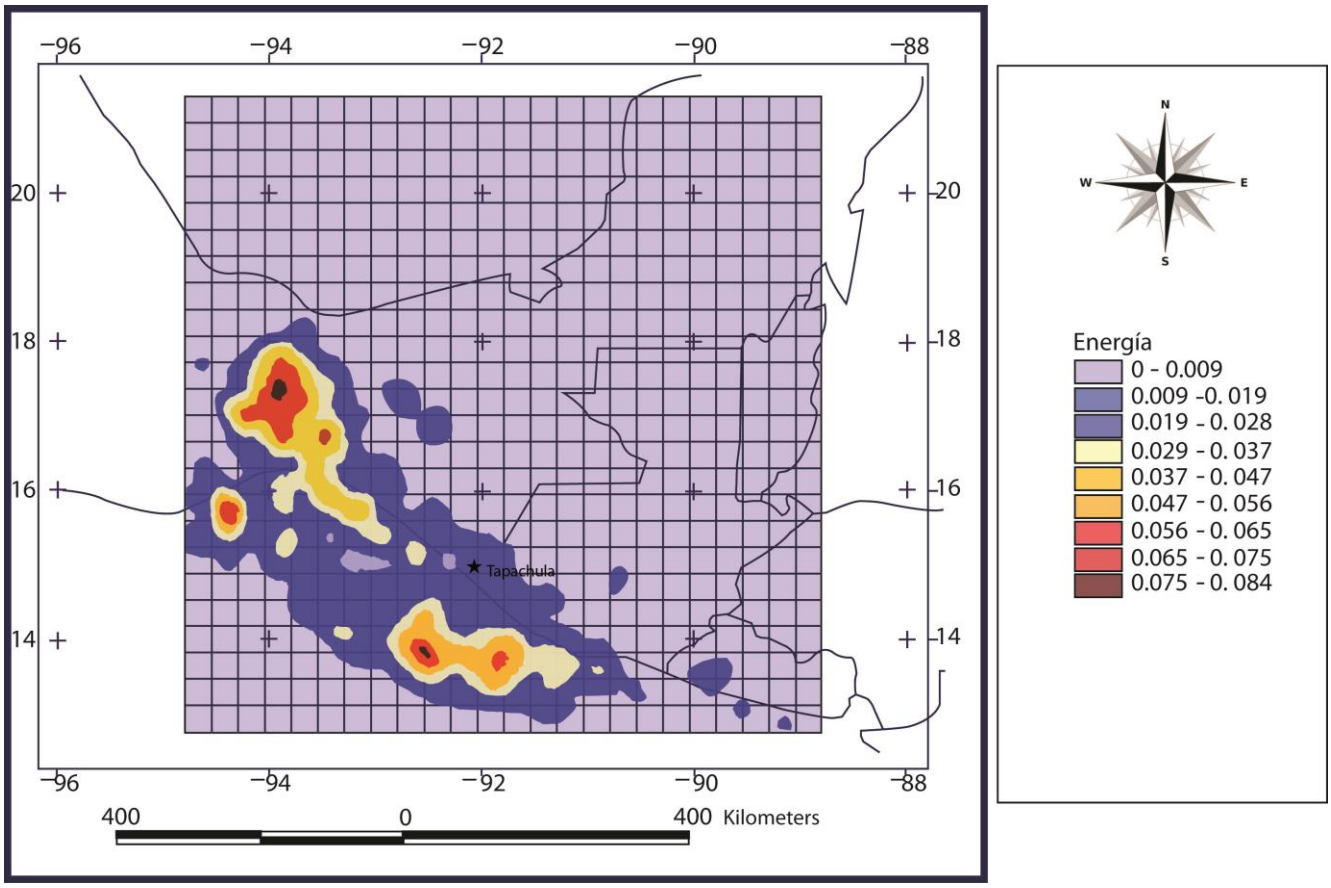


Figura 24. Energía liberada de los sismos en la región considerando datos del SSN (González, 2010).

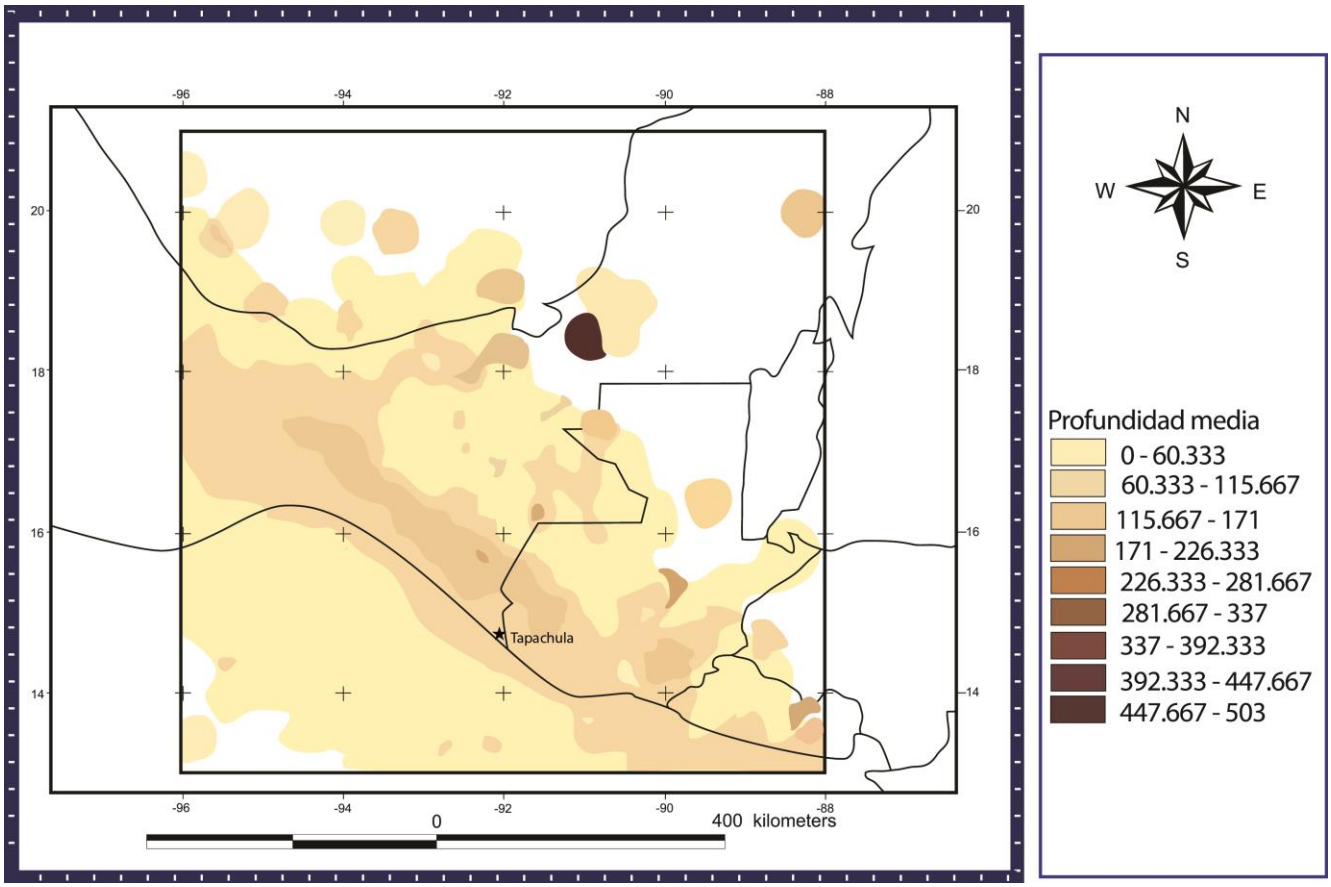


Figura 25. Profundidad media de los sismos en la región considerando datos del SSN (González, 2010).

Análisis del peligro sísmico considerando la metodología del MOC-CFE, versiones 1993 y 2008

Según la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en su Manual de Diseño de Obras Civiles, capítulo Diseño por Sismo de 1993, la República Mexicana se encuentra dividida en cuatro zonas sísmicas (Figura 26). Para esta macrozonificación sísmica se utilizaron catálogos de sismos de la República Mexicana desde inicios del siglo pasado, considerando los registros históricos de daños y la aceleración probable del suelo de algunos de los grandes temblores ocurridos en nuestro país.

El municipio de Tapachula se encuentra localizado en la zona D de peligro muy alto, con aceleraciones de alrededor del 70% de la gravedad. Las distintas zonas son un reflejo de la frecuencia de los sismos en las diversas regiones y la máxima aceleración del suelo esperada durante un siglo (periodo de retorno del sismo máximo probable).

La zona A es una zona donde no se tienen registros ni reportes históricos de sismos en los últimos 80 años, y no se espera que las aceleraciones del suelo sean mayores a 10% de la aceleración de la gravedad. En la zona D se han reportado grandes sismos históricos con bastante frecuencia y las aceleraciones del suelo pueden sobrepasar el 70% de la aceleración de la gravedad. Las otras dos zonas (B y C) son zonas intermedias baja y alta, donde se registran sismos no tan frecuentemente como la zona D, o son afectadas por aceleraciones que no sobrepasan el 70% de la aceleración del suelo (Cenapred, 2006).

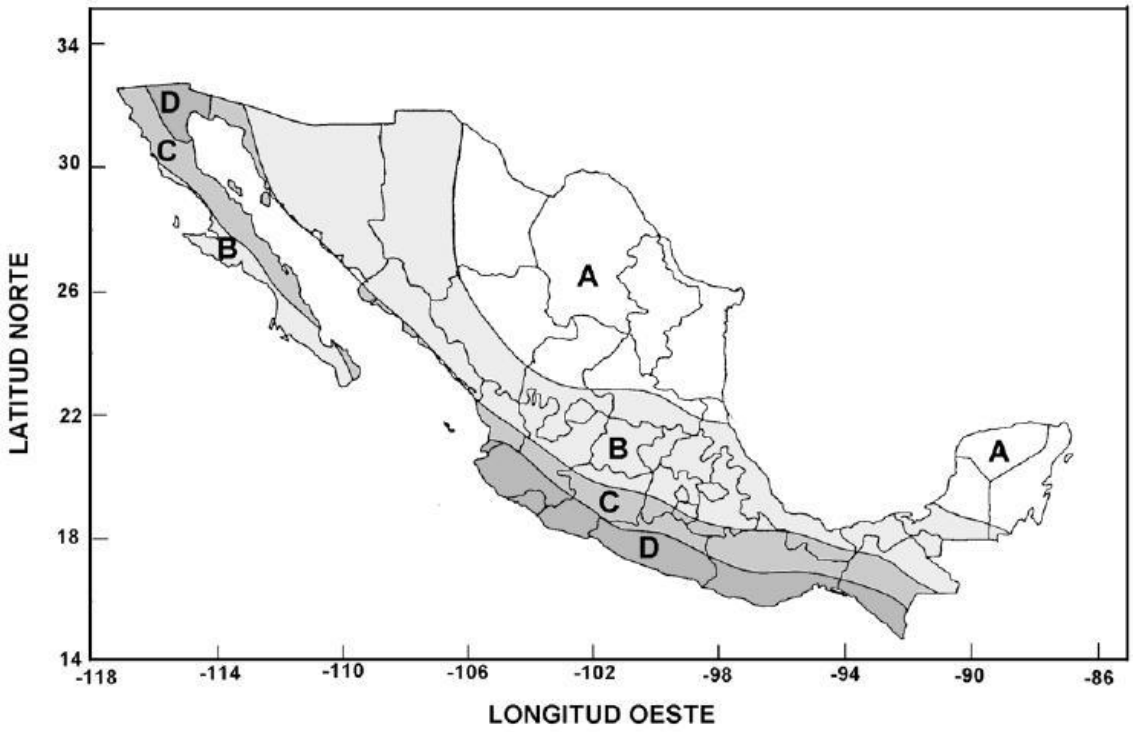


Figura 26. Regionalización sísmica de México del MOC-CFE-1993 (Cenapred, 2006).

En la Figura 27, el municipio de Tapachula se ubica en el mapa de regionalización sísmica del MOC-CFE-1993; encontrándose que todo el municipio es altamente afectado por sismos cuyas intensidades pueden llegar a valores del 70% de aceleración para un periodo de retorno de 100 años. Sin embargo, la localización en el mapa de regionalización sísmica no es suficiente para conocer el peligro local, ya que todo el municipio no está expuesto al mismo peligro, sin embargo nos da una idea clara de la frecuencia y magnitud de los sismos esperados en la ciudad.

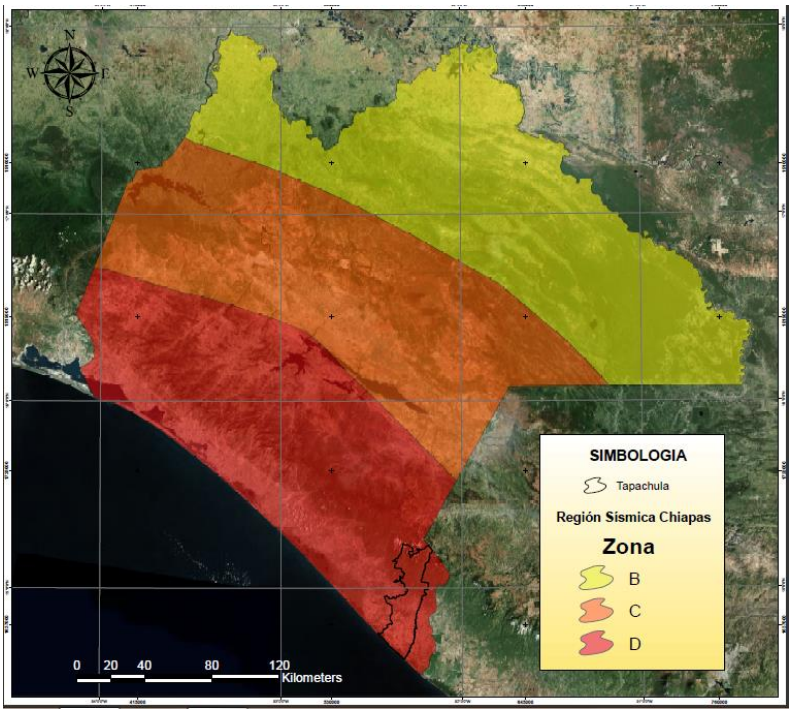


Figura 27. Regionalización sísmica de Chiapas y del municipio de Tapachula considerando el MOC-CFE-1993.

Los mapas de peligro sísmico en términos de intensidades de aceleración de terreno asociados a periodos de retorno de vida útil de edificaciones son necesarios para que los especialistas en el diseño estructural en zonas sísmicas realicen nuevas construcciones más seguras, así como aportar espectros de diseño sísmico que permitan la modificación o refuerzo de las construcciones e infraestructura existente. Estos mapas son por lo tanto, instrumentos claves en la reducción de la vulnerabilidad y por consecuente del riesgo sísmico, ya que permiten diseñar las estructuras con demandas más realistas durante su periodo de vida útil.

En su más reciente versión del Año 2010, el MOC-CFE modificó la metodología para evaluar el peligro sísmico eliminando la macrozonificación sísmica y sustituyéndola por mapas de aceleraciones esperadas considerando la zona geográfica y la importancia del sistema constructivo, así como la posibilidad de introducir el perfil de velocidades (para considerar el efecto de sitio), aportando espectros de peligro uniforme (espectros que son más realistas ya que las aceleraciones llegan a la aceleración del terreno natural) y aceleraciones esperadas para un periodo de retorno, en el cuadro 3 se ubican los aceleraciones esperadas por tipos de estructura para periodos de retorno mayores a 500 años.

Cuadro 3

Servicio	Cobertura (%)
Agua potable	62.44
Energía eléctrica	93.60
Mantenimiento del drenaje urbano	82.29

El MOC-CFE-2008 incluye un software llamado PRODISIS versión 2.0, del cual se desprende la imagen de la Figura 28, donde se observa el espectro de peligro uniforme en roca, el cual se refiere a aceleraciones que no incluyen el efecto de sitio o amplificación de los sedimentos del valle en las partes bajas de una cuenca o donde se manifiesten mayores espesores de suelo blando.

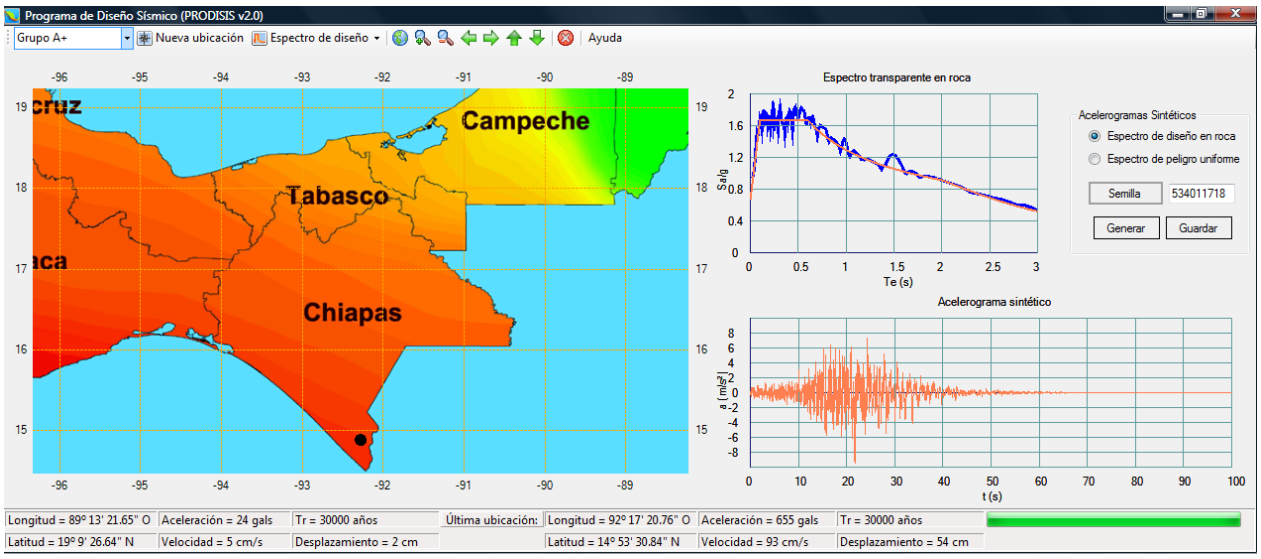


Figura 28. Análisis del peligro sísmico de Tapachula, Chiapas, empleando el software PRODISIS ver 2.0 del MOC-CFE-2008.

Análisis del peligro sísmico considerando la metodología PSM (2004) y Crisis (2007)

La definición de niveles de peligro en términos de periodo de retorno de aceleraciones (tiempo medio, medido en años, que tarda en repetirse un sismo con el que se exceda una aceleración dada) para el municipio de Tapachula son obtenidos a partir de los mapas de valores de intensidad sísmica

asociados a un periodo de retorno dado (10, 100 y 500 años), ver Figuras 29, 30 y 31 generadas con el programa PSM 2004 (Peligro Sísmico en México del Instituto de Ingeniería de la UNAM).

Figura 29. Mapa de valores de aceleración máxima asociados a un periodo de retorno de 10 años (149-103 gals), PSM, 2004.

Figura 30. Mapa de valores de aceleración máxima asociados a un periodo de retorno de 100 años (352-244 gals), PSM, 2004.

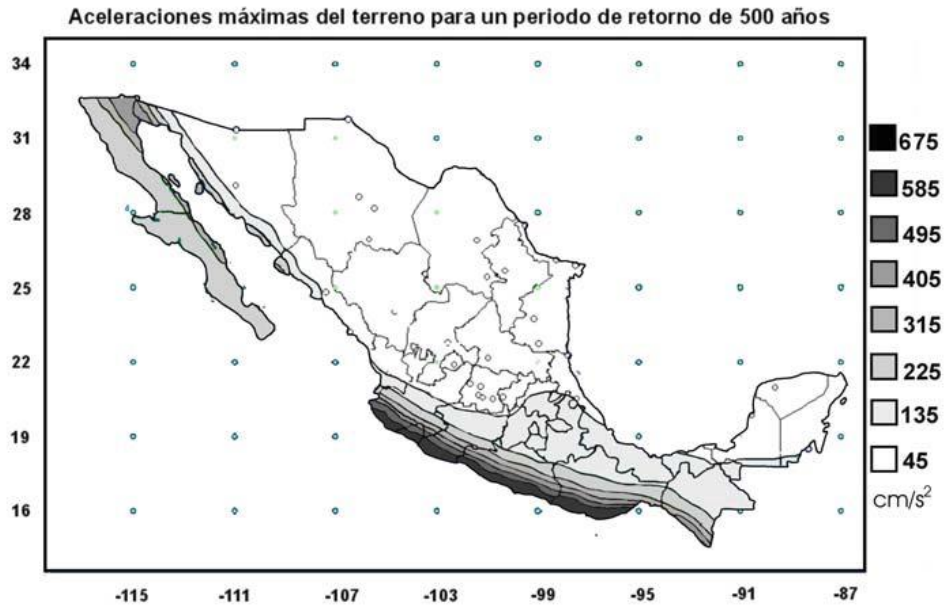


Figura 31. Mapa de valores de aceleración máxima asociados a un periodo de retorno de 500 años (585-405 gals), PSM, 2004.

Para el municipio de Tapachula se procedió a la digitalización de los diferentes mapas de valores de aceleraciones sísmicas esperadas para los distintos periodos de retorno obtenidos mediante los

programas PSM 2004 y CRISIS 2007 y se representó el municipio siempre considerando que los mapas elaborados por medio de estos programas están definidos para un suelo rocoso con impedancia acústica (sísmica) favorable, es decir, sin amplificación de efecto de sitio. Los mapas obtenidos se presentan mediante las Figuras 32, 33 y 34.

Estos mapas son esenciales para la comprensión de las aceleraciones máximas esperadas en un período de retorno dado, el cual se asocia a la probabilidad de falla en el periodo de la vida útil de la construcción: 10 años corresponden a construcciones eventuales; 50 años son para viviendas; 100 años para estructuras importantes (hospitales, escuelas, bomberos) y 500 años para estructuras muy importantes (puentes, museos, entre otras).

La importancia de una edificación está definida por la necesidad de que esa edificación siga operando de manera óptima después un siniestro, o el daño secundario que causaría a la ciudad o a otras construcciones el que la edificación desapareciera después del sismo por cuestiones de comercio, turismo o históricas por ejemplo.

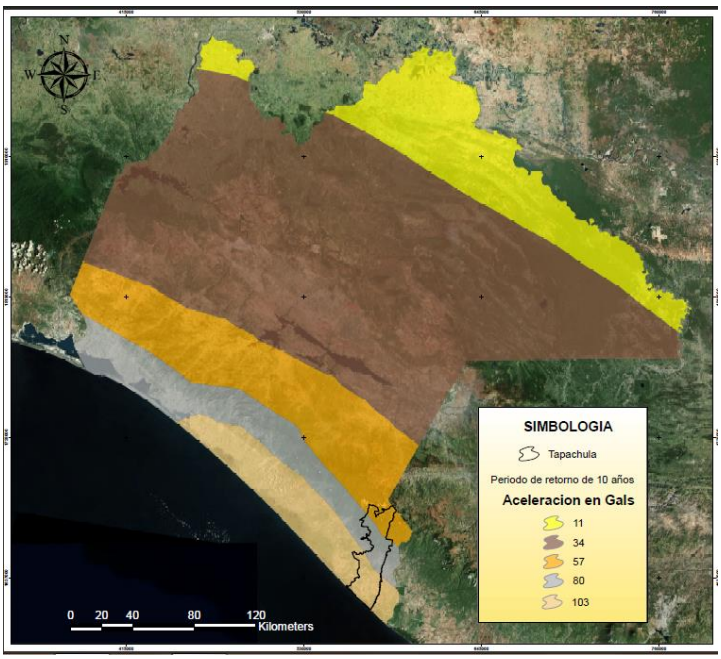


Figura 32. Mapa de aceleración sísmica asociados a un periodo de retorno de 10 años para Tapachula, PSM, 2004 y CRISIS, 2007.

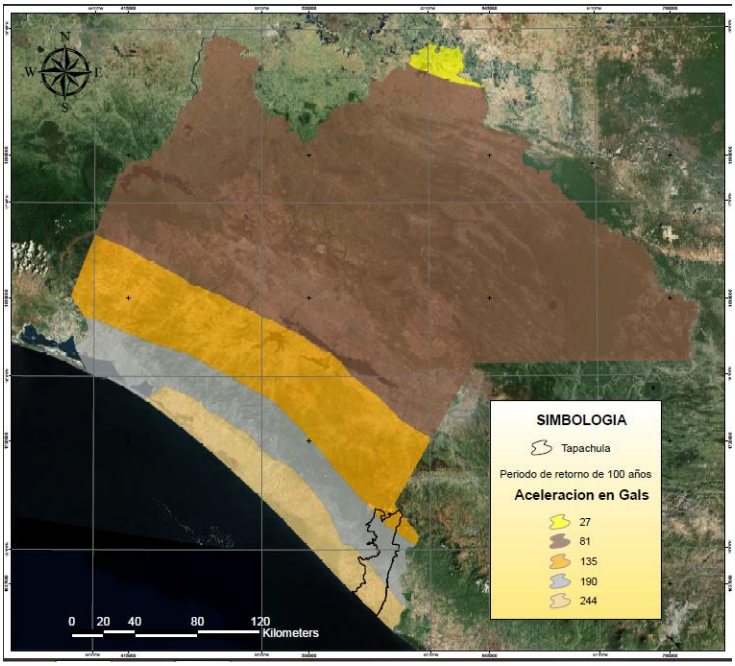


Figura 33. Mapa de aceleración sísmica asociados a un periodo de retorno de 10 años para Tapachula, PSM, 2004 y CRISIS, 2007.

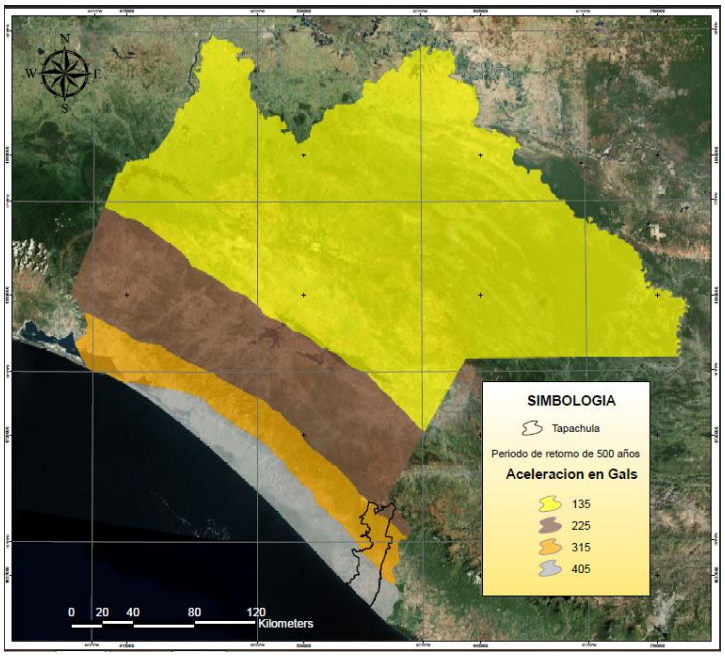


Figura 34. Mapa de aceleración sísmica asociados a un periodo de retorno de 500 años para Tapachula, PSM, 2004 y CRISIS, 2007.

El cálculo de la aceleración espectral elástica, definido como la aceleración máxima que sufriría un sistema de un grado de libertad, dado su periodo natural de vibrar, al ser sometido a un movimiento sísmico, es una herramienta útil para evaluar el efecto sísmico sobre las estructuras. Con él se pueden obtener los espectros de respuesta, que representan el conjunto de valores máximos de aceleración para un conjunto de sistemas de un grado de libertad de distintos períodos de vibración y obtenidos para un registro sísmico dado (Cenapred, 1996).

Es de vital importancia conocer los periodos de retorno para eventos sísmicos con valores de aceleración de 15% de la gravedad o superior (1g=980 gals, gal=cm/s^2); es este valor límite inferior de aceleración que provoca afectaciones a los sistemas constructivos que predominan en el país y en la ciudad, estructuras de mampostería.

En el caso del municipio en estudio, las aceleraciones esperadas calculadas con el software PSM (2004) y CRISIS (2007), exceden el umbral del 15% de *g*, se registran 352-244 gales para un periodo de retorno de 100 años, lo cual no es consistente con los daños históricos, no obstante la metodología de los programas estudiados es adecuada, pero los resultados reflejan la necesidad de estudios locales para ampliar las bases de datos que se emplean en el análisis, sobre todo en la parte de la determinación del efecto de sitio.

Por tal motivo se revisó también lo propuesto por la Comisión Federal de Electricidad, la cual generó un mapa actualizado de Periodos de Retorno para aceleraciones de 0.15 ó más de la gravedad utilizando información de la actualización del MOC-CFE-2008, ver Figura 35.

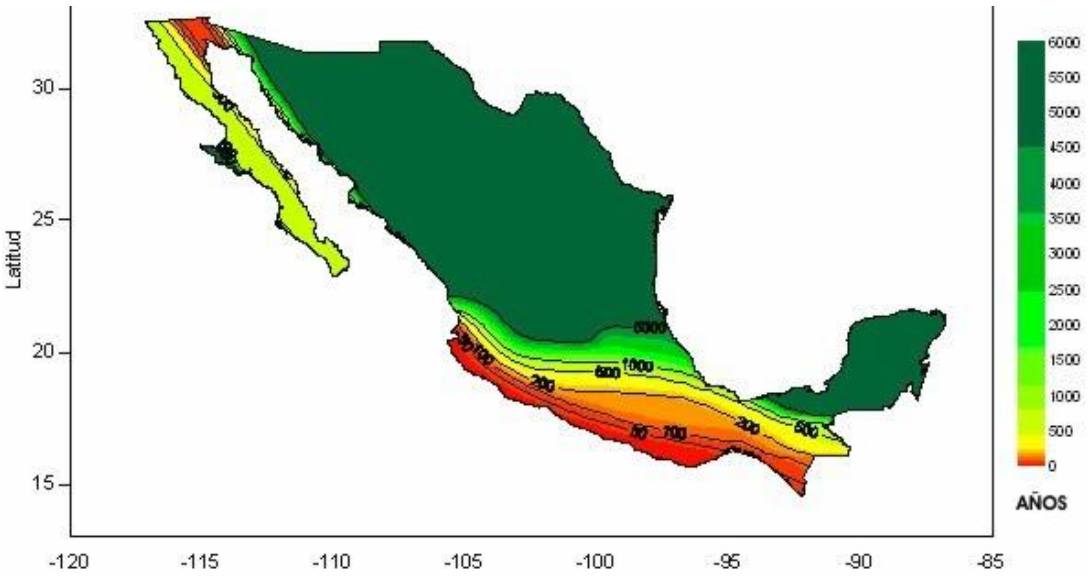


Figura 35. Mapa de periodos de retorno para aceleraciones de 0.15% de gravedad o mayores (MOC-CFE-2008).

Con base en este mapa, a cada estado se le han asignado las prioridades para la evaluación de la seguridad de las construcciones ante sismo, adicionalmente de contar con parámetros ingenieriles básicos para el diseño (espectros de diseño). Se han catalogado, mediante un algoritmo de interpolación, las 752 poblaciones con más de 10,000 habitantes de acuerdo a las cifras oficiales proporcionadas por el INEGI (Cenapred, 2006).

La ciudad de Tapachula, según el mapa digitalizado de aceleraciones (Figura 36), se localiza en la región frontera con periodos de repetición entre 50 y 100 años para un evento sísmico que produzca aceleraciones del orden de 15% ó mayores de la gravedad; lo anterior es para fuentes de subducción y considerando aceleraciones en roca sin efecto de sitio.

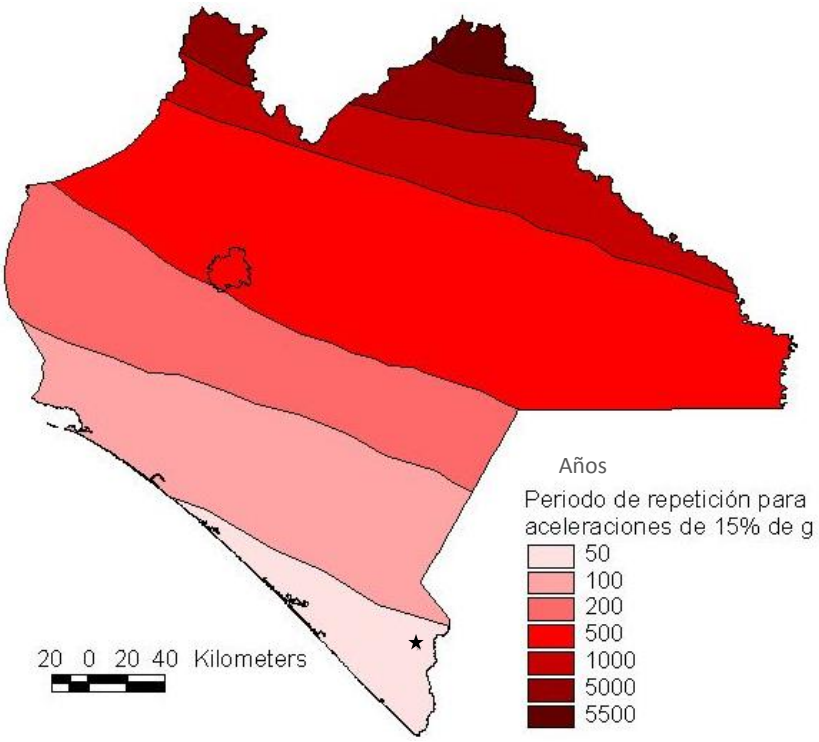


Figura 36. Mapa de periodos de repetición para aceleraciones de 0.15% de gravedad o mayores en Chiapas.

En el (Cuadro 7) puede consultarse el periodo promedio de repetición de una aceleración mínima que puede ocasionar daños a construcciones y cuyo periodo de retorno es de 0.2 eventos por siglo, una cifra engañadora si pensamos en los daños históricos reportados, lo cual se debe a que este estudio no considera las amplificaciones locales debidos a los suelos, pendientes y topografía, así como otras fuentes sismogenéticas como el fallamiento lateral izquierdo y la deformación cortical.

Cuadro 7. Periodos de retorno (TR) para aceleraciones de 0.15 g o mayores, modificado de Cenapred, 2006.

Municipio	Long °N	Lat°W	Alt (m)	Población	TR (años)
Tapachula	-92.2606	14.9081	177	320,451	50

Espectros de respuesta para Tapachula

Los espectros de diseño se pueden obtener a partir de manuales, normas técnicas o reglamentos de construcción, leyes de atenuación espectral o espectros de sitio; y se representan graficando los

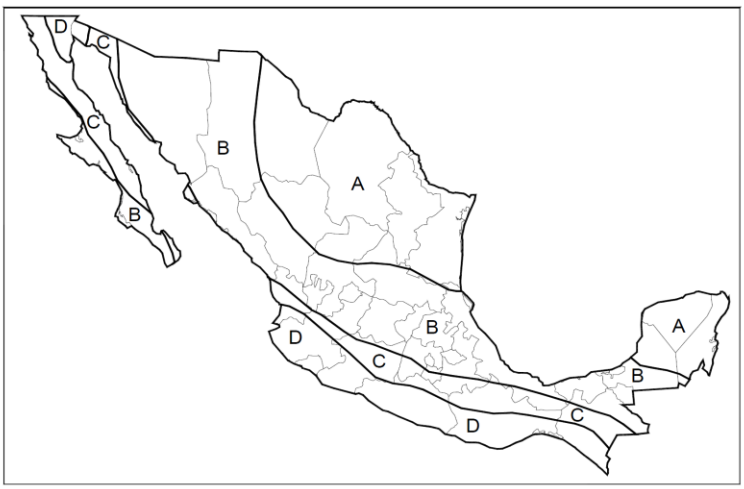
periodos de vibrar de las construcciones en las abscisas en segundos y las aceleraciones en las ordenadas (Cuadro 6).

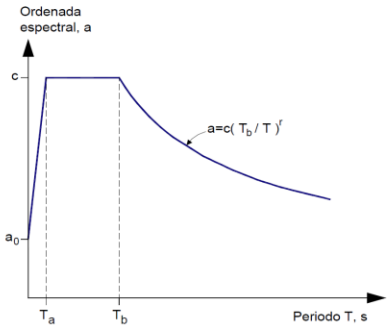
En Tapachula, existe un reglamento de construcción para municipio del año 2000, sin embargo solo presenta coeficientes sísmicos y no espectros. El coeficiente sísmico para las construcciones clasificadas como del grupo B, en el capítulo 141 se tomará igual a 0.32 cuando estén desplantadas en suelos tipo I; 0.37, en suelos tipo II y 0.42, en suelos tipo IIII; a menos que se emplee el método simplificado de análisis, en cuyo caso se aplicaran los coeficientes que fijen las normas técnicas complementarias; se incrementará el coeficiente sísmico en 50% en las construcciones de grupo A (0.48 cuando estén desplantadas en suelos tipo I; 0.55, en suelos tipo II y 0.63, en suelos tipo IIII.

Sin embargo, las recomendaciones del MOC-CFE-1993 son más estrictas y son utilizadas por algunos de los diseñadores y corresponden a la información mostrada en la Figura 37. Los tipos de suelo, identificados como I, II y III en el MOC-CFE-1993, corresponden a terreno firme, de transición y blando, respectivamente. No existe un mapa geotécnico para la zona, pero por el tipo de material constitutivo podría considerarse suelos tipos I y II. Con base en esta información se obtienen los tres espectros de diseño para cada una de las zonas en las que se divide el municipio en estudio por el tipo de suelo (Figura 38).

Cuadro 6. Aceleraciones esperadas en Tapachula con el software PRODISIS ver 2.0 del MOC-CFE-2008.

Tipo de estructura	Aceleración esperada (gals)	Periodo de retorno (años)
B	292	>500
A	439	>500
A+	655	>500





Zona sísmica	Tipo de suelo	a_0	c	T_a	T_b	r
A	I	0.02	0.08	0.2	0.6	½
	II	0.04	0.16	0.3	1.5	⅔
	III	0.05	0.20	0.6	2.9	1
B	I	0.04	0.14	0.2	0.6	½
	II	0.08	0.30	0.3	1.5	⅔
	III	0.10	0.36	0.6	2.9	1
C	I	0.36	0.36	0	0.6	½
	II	0.64	0.64	0	1.4	⅔
	III	0.64	0.64	0	1.9	1
D	I	0.50	0.50	0	0.6	½
	II	0.86	0.86	0	1.2	⅔
	III	0.86	0.86	0	1.7	1

Figura 37. Regionalización sísmica de la República Mexicana y parámetros para el espectro de diseño de estructuras del grupo B, (MOC-CFE-1993).

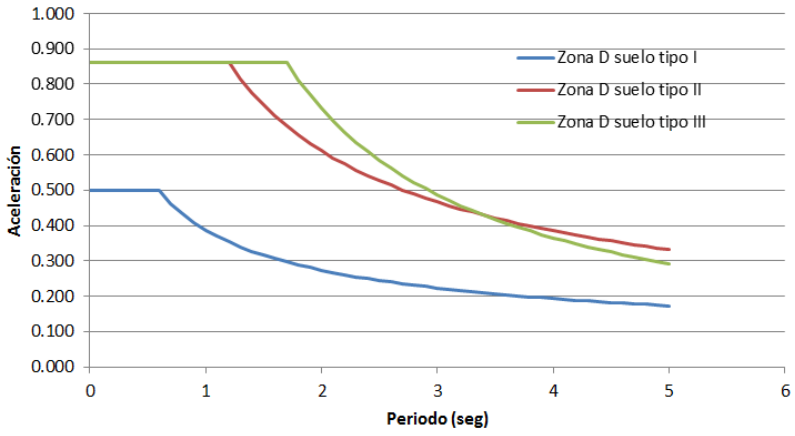


Figura 38. Espectros de diseño el rango del periodo de los sistemas constructivos locales para el municipio de Tapachula, MOC-CFE-1993.

El MOC-CFE-2008 propone los espectros de roca y espectros de peligro uniforme para tres grupos de construcciones considerando la importancia. Estos espectros consideran el grupo de importancia A, A+ y el B. Estos espectros son procesados a partir de lo obtenido con el programa PRODISIS versión 2.0.

Microzonificación sísmica

Tras el sismo de octubre de 1995, el GIIS a través de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco coordinaron a un equipo de especialistas que determinó el primer mapa de microzonificación para la ciudad de Tapachula en el año de 1997, donde mediante vibración ambiental se estudiaron 42 puntos de la ciudad considerando espectros de Fourier.

Los trabajos desarrollados incluyeron un mapa de isoperiodos (Figura 39) donde se manifiesta que la ciudad presenta un suelo muy homogéneo con tres curvas: 0.20, 0.25, 0.30 y 0.35. Esto redunda en un solo espectro para suelo firme con amortiguamiento del 5.0% y con un coeficiente sísmico de 0.60. Para ver el estudio completo consultar Cruz et al (1997).

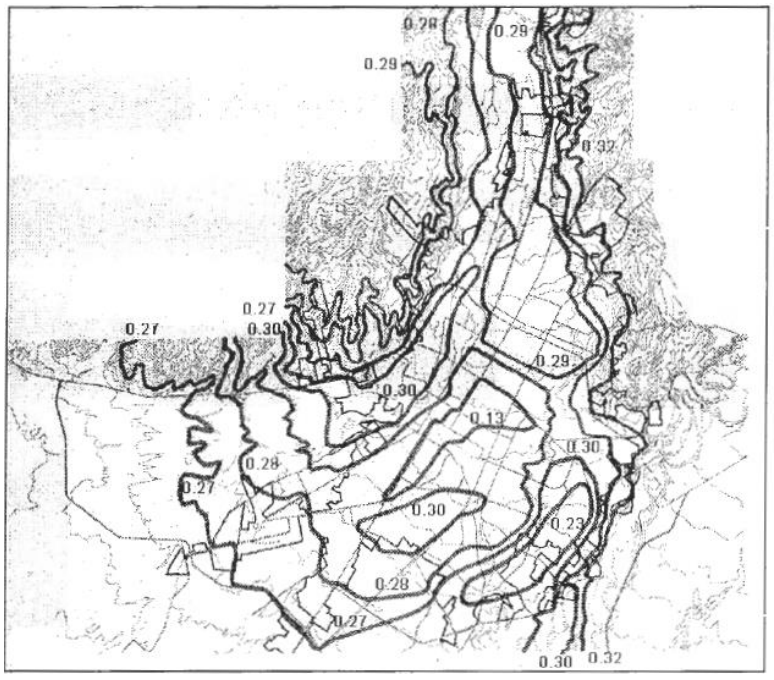


Figura 39. Mapa con curvas de isoperiodos del estudio de 1995 del GIIS, Adaptado de Alonso et al., 1995.

En la actualidad se desarrolla un estudio de microzonificación de la ciudad de Tapachula, el cual adicionalmente, busca generar una propuesta de Normas Técnicas Complementarias y estará concluido en 2012.

Paralelamente en la ciudad se estudian los efectos de sitio, modelos de velocidad de ondas p y s y se trabaja en leyes de atenuación. En la Figura 40 se muestran los modelos de velocidad de una dimensión existentes desde Oaxaca y hasta Guatemala, considerando sismos de subducción, y en la Figura 41 se muestra un modelo tridimensional propuesto por Rodríguez (2007).

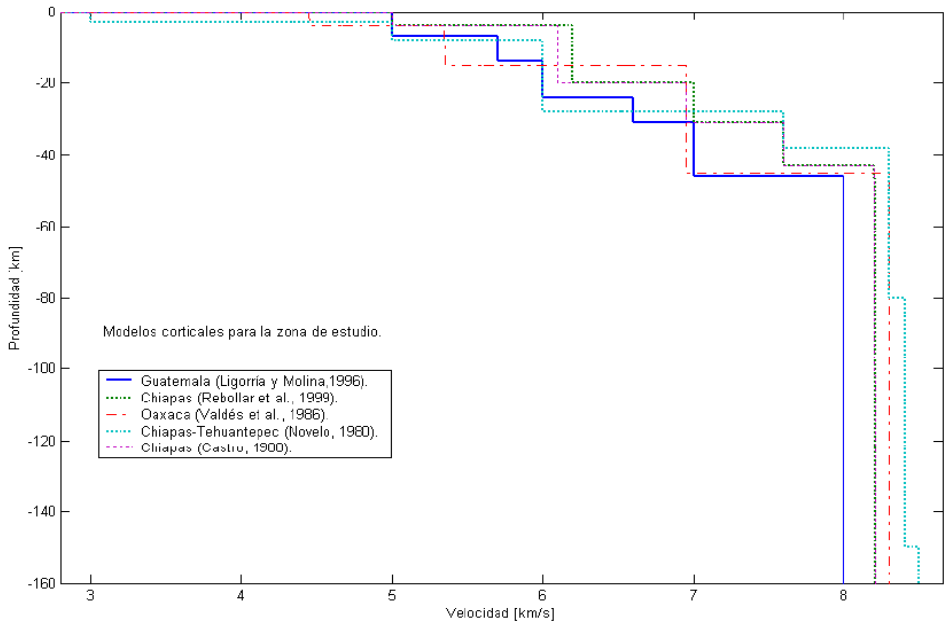


Figura 40. Modelos de velocidades s, de la corteza (1D) para Chiapas, Guatemala y Oaxaca, (Rodríguez, 2007).

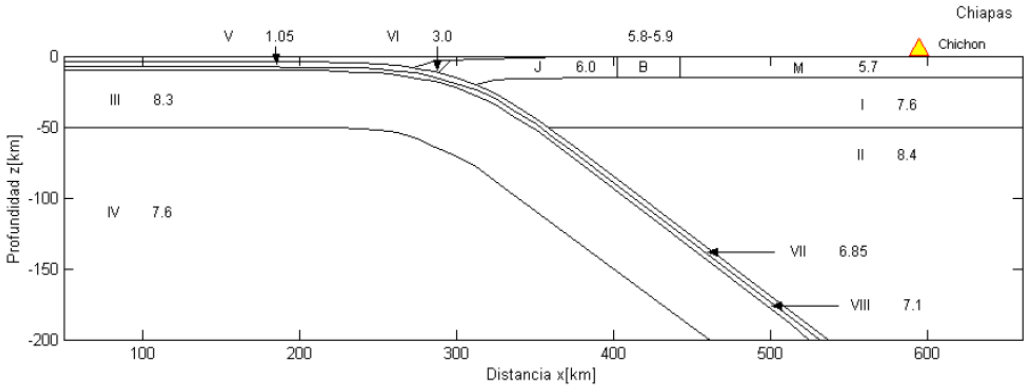


Figura 41. Estructura tridimensional de velocidades s para cada bloque de Chiapas en km/s (Rodríguez, 2007).

En la Figura 42 se muestra un conjunto de leyes de atenuación propuestas para Chiapas y Guatemala considerando bases de datos de ambos países desarrolladas por Belén et al. (2001).

En la Figura 43 se desarrollan curvas de probabilidad de excedencia para distintos valores de PGA (valores de la aceleración pico del terreno por sus siglas en inglés *PeakGroundAcceleration*), estos valores son determinados para la zona de frontera de México y Guatemala por Belén et al (2001), y en ellos se observa que los sismos con mayor peligrosidad para la región son los generados por el conjunto de fallas de Chixoy-Polochic-Motagua que entran al estado por Motozintla.

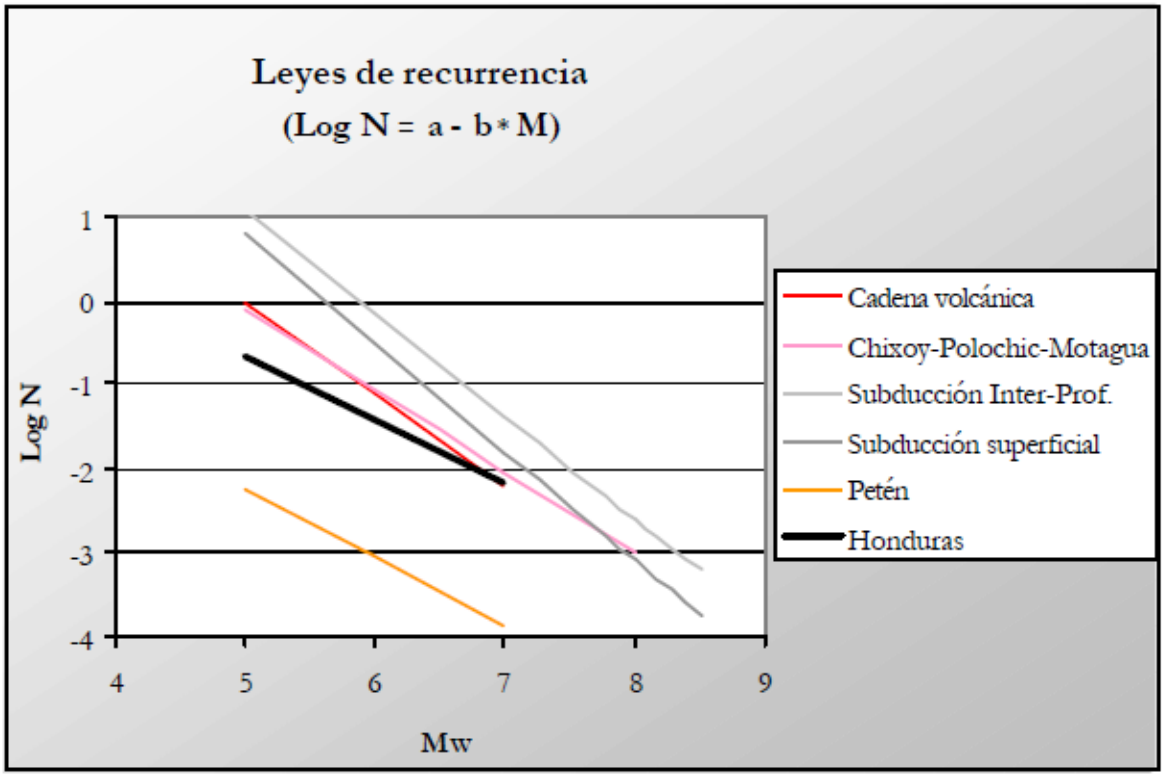


Figura 42. Leyes de atenuación propuestas para la frontera de Chiapas y Guatemala por Belén et al. (2001).

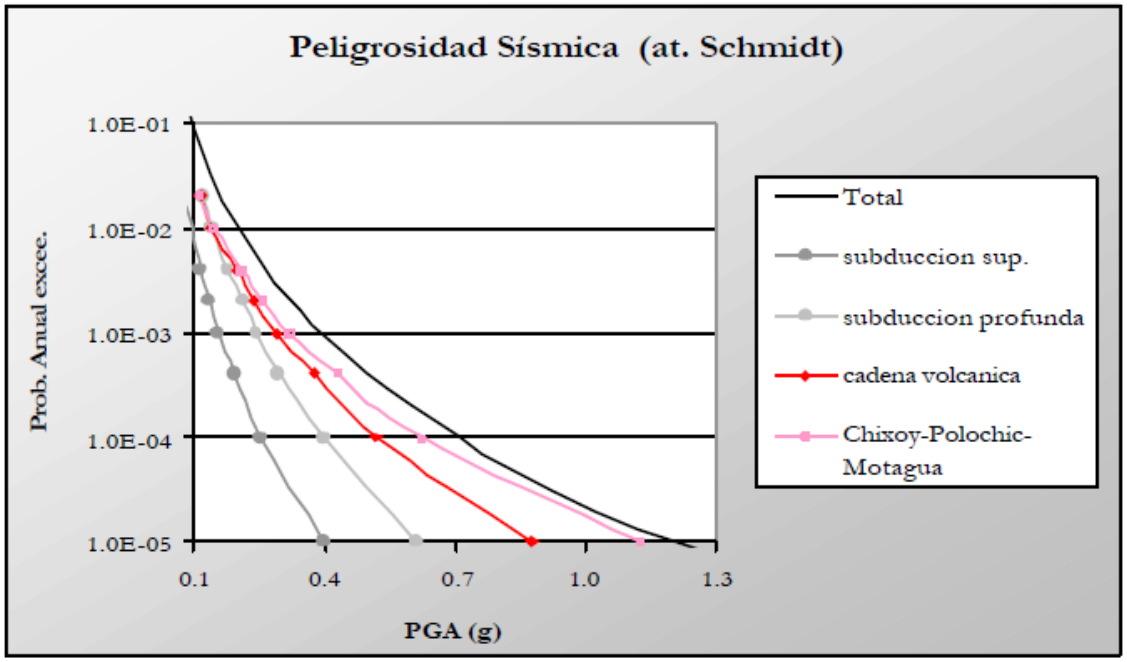


Figura 43. Peligro sísmico propuesto para la frontera de Chiapas y Guatemala por Belén et al. (2001).

En las Figuras 44 y 45 se muestran los mapas de peligro sísmico para Tapachula incluido en el Atlas a modo de referencia.

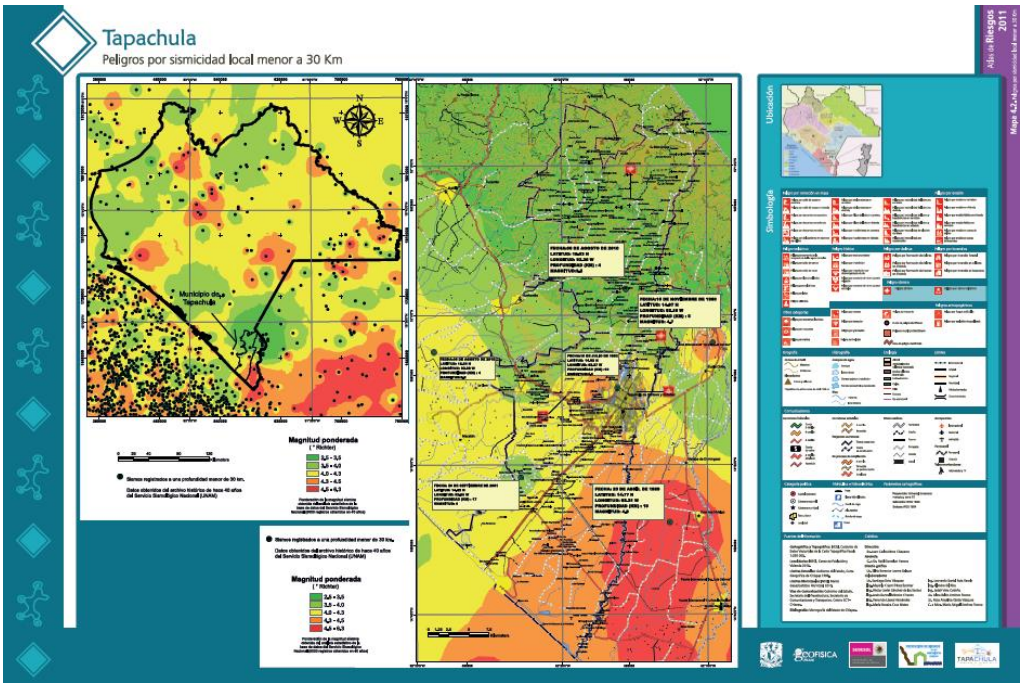


Figura 44. Mapa de peligro sísmico de Tapachula, considerando sismos corticales.

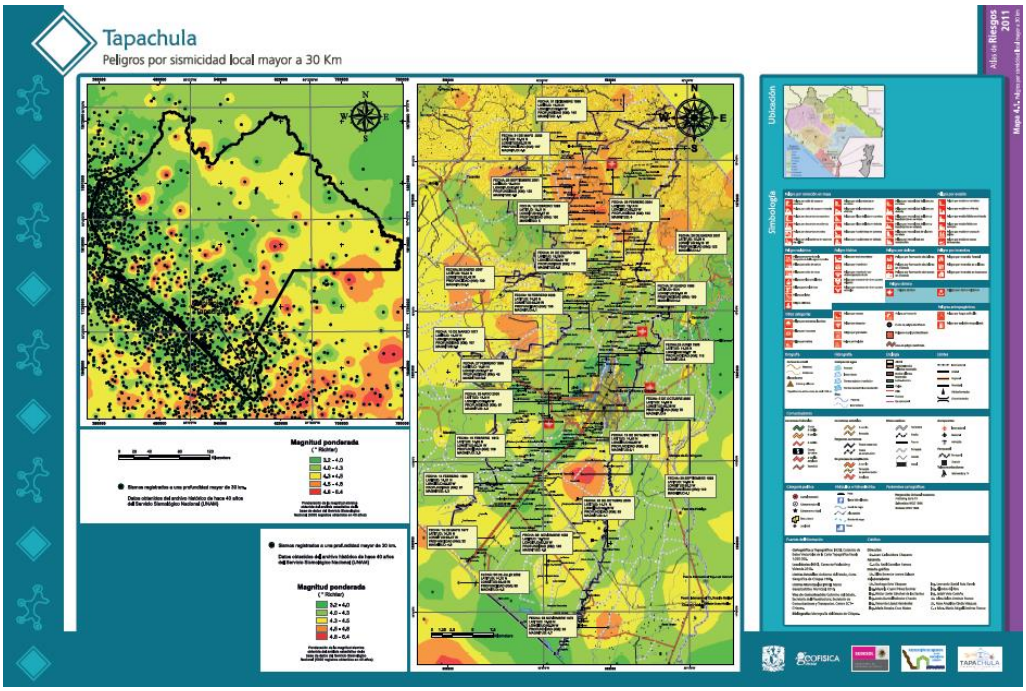


Figura 45. Mapa de peligro sísmico de Tapachula, considerando sismos con profundidad mayor a 30 Km.

Tras la presentación de la información existente sobre peligro sísmico, se puede concluir:

- El peligro sísmico de la ciudad es importante por diversos factores, entre ellos la falta de estudios sismológicos como de estructura tectónica, leyes de atenuación y microzonación sísmica, entre otros.
- Es imperante la colocación de una red acelerográfica de movimientos fuertes distribuida en toda la mancha urbana que quede permanente.
- Actualizar el reglamento de construcción en su apartado de seguridad estructural colocando un espectro de diseño y considerar una zonificación geotécnica.

Antecedentes de los sistemas constructivos en Tapachula, Chiapas

Entre los años 1500 y 1000 antes de nuestra era, en el estado de Chiapas existieron grupos que vivían del cultivo del maíz y complementando la alimentación con productos de la caza y la recolección, agrupados en pequeños asentamientos comenzaron a desarrollar técnicas nuevas que les permitieron la construcción de chozas y jacales, las cuales estaban hechas a base de troncos de árboles y palmas (Figura 46).

Figura 46. Construcciones de palma y bambú en las áreas periurbanas y rurales de Tapachula.

Las viviendas desde esta época siguen desarrollándose a base de madera o bajareque para muros y paja para la cubierta. Con la llegada de los españoles se empleó la piedra y el adobe, aunque se mantenían el bajareque y la madera en las construcciones más humildes.

Las viviendas de la ciudad en la actualidad tienen un promedio de menos de 30 años de edad, algunas construcciones de adobe, madera, piedra y/o bajareque, han sido demolidas en el primer

cuadro de la ciudad, para la modernización del centro, observándose en la actualidad estructuras de mampostería con distintas características.

Antecedentes de la normativa de construcción en Chiapas

El primer reglamento de construcciones para el estado de Chiapas fue presentado el 24 de marzo de 1971, compuesto por 271 artículos y debía ser empleado en ocho municipios. La selección de los municipios fue con base a su número de habitantes, más allá de similitudes de condiciones geológicas, geotécnicas, sísmicas, constructivas o técnicas. Los municipios eran Tuxtla Gutiérrez, Tapachula de Córdova y Ordoñez, Comitán de Domínguez, San Cristóbal de Las Casas, Tonalá, Arriaga, Huixtla y Villaflores.

Actualmente en la Secretaría de Infraestructura del Estado de Chiapas existen 16 Reglamentos de Construcción aprobados y tres en proceso de elaboración, Tapachula cuenta con Reglamento de Construcción cuya última versión es del año 2000 y se está trabajando en una propuesta para actualizarlo. El Instituto de Protección Civil, la facultad de Ingeniería de la UNICACH y la UNAM, a través de recursos del fondo Fomix (Fondos Mixtos Gobierno del Estado de Chiapas y Conacyt), trabajan en la elaboración de Normas Técnicas para los reglamentos de Tuxtla Gutiérrez y Tapachula.

Es importante recalcar que los reglamentos de construcciones y sus normas técnicas deben ser elaborados a nivel municipal, actualmente son estatales. En la mayoría de las ciudades del país y en algunos estados se toma como base el reglamento de construcción y las normas técnicas del Distrito Federal, lo cual no siempre es recomendable, debido a que los materiales del subsuelo, los procesos constructivos, los peligros por viento y sismo y las técnicas que se emplean en cada región son diferentes.

La mejor manera de hacer frente a los fenómenos sísmicos es que cada municipio y/o cada ciudad de los diferentes estados tengan sus propias normas técnicas de construcción sismoresistente, a las cuales Aguilar et al. (2004), denominan normas mínimas de seguridad estructural, estas normas marcan los lineamientos para construir de forma segura, de acuerdo con las condiciones locales del comportamiento de los suelos ante la actividad sísmica y los materiales y procesos constructivos locales. Las normas técnicas no son una solución absoluta de seguridad, ya que una vez establecidas deben de ir acompañadas por:

- Difusión mediante cursos de capacitación para su mejor entendimiento y aplicación.

- Un sistema de supervisión, el cual debe de estar constituido por un grupo de supervisores externos certificados.
- Laboratorios de materiales especializados que realicen los estudios sobre la calidad de los materiales.
- El establecimiento de las normas técnicas de construcción debe de ser proceso integral y tender a volverse virtuoso.

La falta de normativa técnica de diseño tiene varias líneas de influencia en una región: el impedimento no escrito, pero sí funcional de la implementación e introducción de sistemas constructivos, la dificultad para el uso de los llamados nuevos materiales y más allá de todo lo que podemos considerar como innovador; la imposibilidad de llevar un control normado por parte de las autoridades de los incumplimientos de una normativa que aun no estando escrita es de uso nacional y que pueda ocasionar perjuicios a terceros y desvirtuando el trabajo de los ingenieros como profesionales. Resumiendo: al no contar con normativa técnica de diseño, no podemos precisar que debemos hacer y si no lo hacemos, que responsabilidad tendremos.

Esta desvinculación del hacer relacionado con la responsabilidad de cómo hacerlo, para tener certeza, compromiso y respeto profesional, tiende a ser muy acentuada entre menor sea la presencia de normativa técnica de diseño amplia y aceptada en una región, lo que como podemos imaginarnos agrava los efectos patológicos de las construcciones (González y otros, 2008).

Las universidades, centros de investigación y asociación de profesionistas son el marco idóneo para el tratamiento de este problema tan complejo, que viene aparejado con la carencia de investigadores y recursos para desarrollar proyectos. Estos problemas coyunturales se agravan en zonas donde la marginación es grande.

Características mecánicas de los materiales constructivos empleados en Tapachula

En el estado de Chiapas se presentan cambios importantes en las características de los materiales de construcción que surgen del subsuelo (principalmente piezas para mampostería – bloques, tabicones y tabiques - y agregados – gravas y arenas -), por lo cual, deben hacerse investigaciones para identificar las condiciones de cada región haciendo muestreos en distintos bancos de material y plantas de fabricación.

Cada vez es más frecuente que empresas nacionales desarrollen piezas de mampostería tecnificadas, las cuales por el momento son *"costosas"* para los usuarios de los procesos de autoconstrucción, sin embargo tienen la ventaja de garantizar resistencias y durabilidad. Por lo que

una alternativa que debería retomar el gobierno estatal a través de la Secretaría de Infraestructura y la de Medio Ambiente y Vivienda, es la capacitación de los fabricantes regionales a fin de mejorar la calidad del producto y poder otorgar garantías de éstos.

En Tapachula no se encontraron estudios de los materiales, pero por el tipo de fallas de las construcciones ubicadas en la zona de estudio se observa la fragilidad de los mismos y se requiere considerar hacer pruebas de los materiales más empleados.

Identificación de los sistemas constructivos empleados en Tapachula

Con la información que se obtuvo al levantar encuestas de las distintas estructuras que existen en la ciudad, se encontró que en ella existe una gran gama de materiales con los que están construidas, desde los materiales tradicionales hasta los más modernos. Por lo general la mayoría de las construcciones actuales estbueán elaboradas con los sistemas ladrillo-losa maciza y block-losa maciza.

Las construcciones de bajareque y bambú, aún existen, encontrándose en los barrios periféricos y en las zonas costeras, muchas de ellas se encuentran en mal estado por la falta de mantenimiento estando más propensas a sufrir daño cuando se presente algún fenómeno como sismo o ráfagas de viento. Se observa que en la periferia de la ciudad se presentan construcciones con mampostería confinada (block o tabique), pero con cubierta de lámina o madera, además de estructuras de madera improvisadas, las que son vulnerables a las ráfagas de viento y a los incendios.

Tras el análisis se encontraron ocho sistemas constructivos en el municipio de Tapachula. De los cuales los sistemas sin refuerzo son los más vulnerables. Se observa que son pocos los sistemas constructivos que cumplen con las NTC-DM-RCDF-2004.

Conclusión respecto al grado o nivel de riesgo, peligro y vulnerabilidad por sismos

Tapachula se encuentra expuesta a un peligro sísmico alto, los periodos de retorno para aceleraciones con un grado destructivo son cortos, la mala calidad en la construcción de viviendas (autoconstrucción), pobre cimentación, falta de normatividad, entre otros factores; y aunado a la deficiente planeación urbana, contribuye al incremento de la vulnerabilidad física con relación al fenómeno sísmico.

De igual manera, la vulnerabilidad social se considera elevada, no solo por elementos socioeconómicos propios, sino también debido a las afectaciones causadas por la vulnerabilidad física y la condición de crecimiento y densidad de la población en la mancha urbana.

Se concluye por tanto que, el riesgo sísmico es considerado elevado para el municipio de Tapachula. Respecto a la vulnerabilidad física, en este documento se reconoce la necesidad de reforzamiento de las estructuras dañadas y aquellas que tienen diez o más años de vida, desarrollar un reglamento de construcción, constituir las normas técnicas complementarias del mismo y fortalecer las prácticas como la supervisión profesional externa.

Respecto al incremento de capacidades se debe continuar con las campañas de sensibilización y educación del fenómeno, continuar con los simulacros sísmicos y planes familiares de protección civil, desarrollar un proyecto de crecimiento de la ciudad considerando los riesgos y establecer una red acelerográfica en suelo y edificios importantes para la seguridad de la ciudad.

Fotografía	Nombre	Características del sistema
	Estructura de bambú o bajareque y diafragma flexible.	Estructura de bambú o bajareque con cubierta de palma o lámina. El sistema es vulnerable por viento.
	Sistema de lámina en muros y cubierta.	Sistema de muros y cubierta de lámina. El sistema es vulnerable por viento.

	Sistema de madera con diafragma flexible.	Sistema de muros y cubierta de lámina. El sistema es vulnerable por viento.
	Mampostería no reforzada ni confinada con diafragma rígido.	Sistema de muros de mampostería cuyo refuerzo no cumple con las NTC-DM-RCDF-2004. Se encontró constituido por block, tabicón y tabique de barro y la losa maciza de concreto. El sistema es vulnerable por sismo.

5.1.2 Fallas o fracturas

Dada la situación geográfica y orográfica del municipio de Tapachula, se presentan manifestaciones de origen natural asociadas a fallas o fracturas que representen situaciones de alta peligro, ubicadas en la zona norte del municipio (Figura 47).

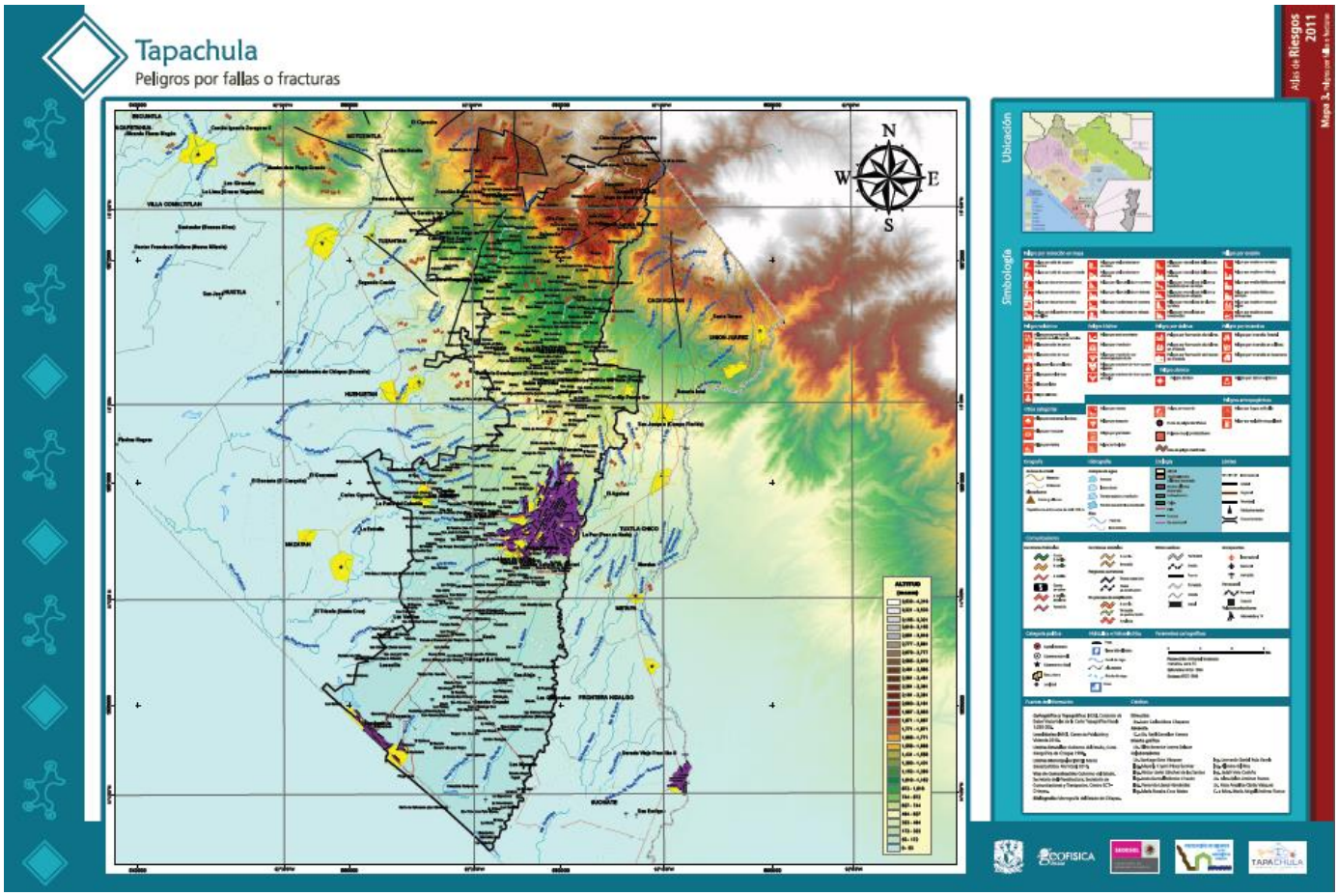


Figura 47. Mapa de peligros por fallas o fracturas

5.1.3 Tsunamis o maremotos

Históricamente en el municipio de Tapachula no se tienen reportes o información sobre la ocurrencia de un fenómeno asociado a tsunamis o maremotos, sin embargo por encontrarse en una ubicación de litoral con el Océano Pacífico en una franja importante de su zona costera, el escenario y las condiciones para que estos fenómenos se presenten están dados. Una de las motivaciones principales que se asocia a esto es la alta actividad sísmica en relación al municipio; como se mostró en el apartado 5.1.1. De acuerdo a un estudio realizado en el año 2006 por el Laboratorio de Análisis de Información Geográfica y Estadística del Colegio de la Frontera Sur ECOSUR, se tiene la traza poligonal para el estado de Chiapas donde se muestra la propensión o áreas de influencia por tsunamis (Figura 48).

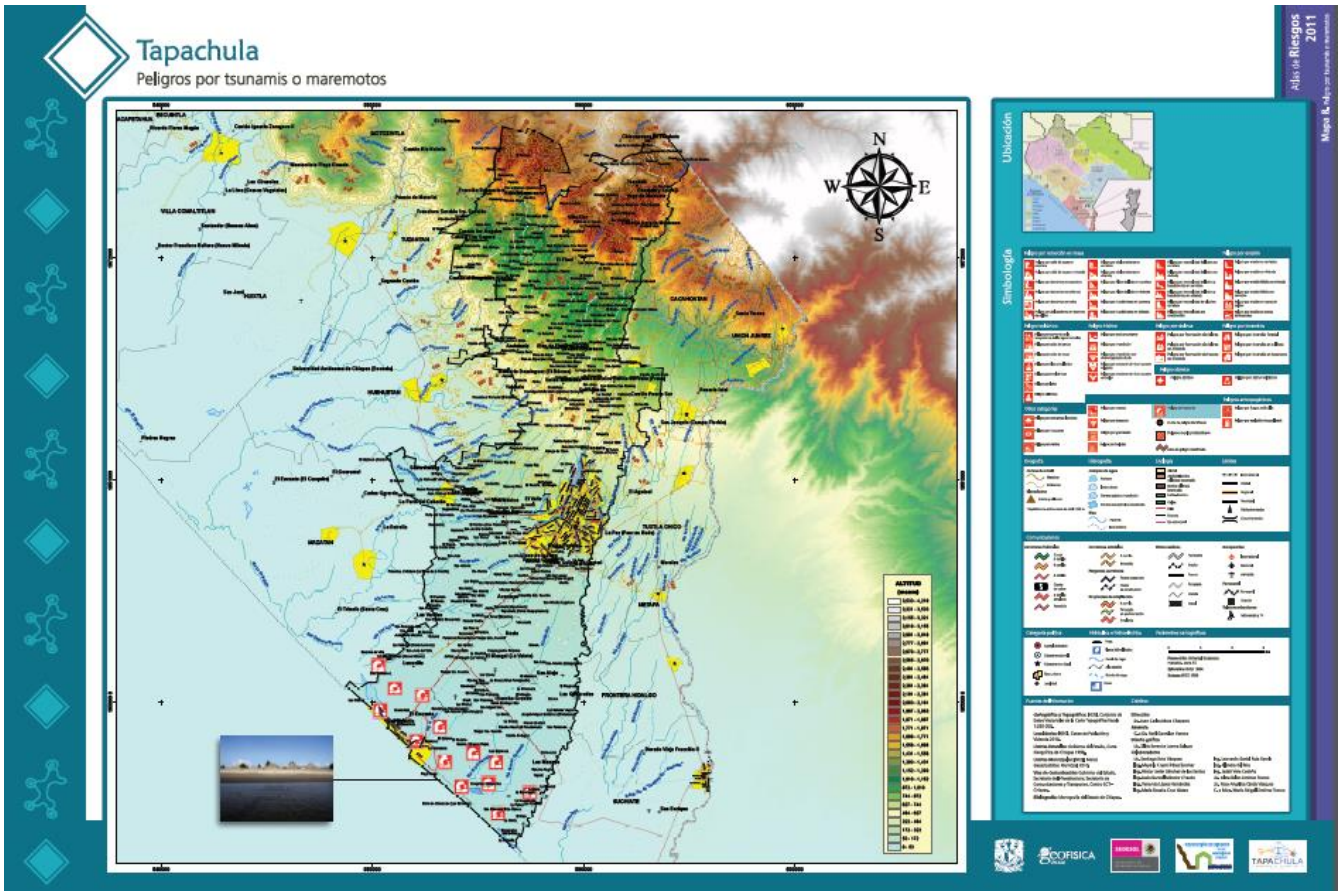


Figura 48. Mapa de peligros por Tsunamis o maremotos

En esta cobertura se tiene que de manera importante los municipios que en un momento dado presentarían afectaciones por fenómenos asociados a Tsunamis serían principalmente: Arriaga, Tonalá, Pijijiapan, Mapastepec, Tapachula y Suchiate.

5.1.4 Vulcanismo

Mapa de peligros Volcánicos

La cuenca del río Cahoacán se desarrolló sobre los diferentes depósitos volcánicos del Complejo de Domos Tacaná y los peligros a los que están expuestos los habitantes son por una nueva reactivación del mismo.

En la cuenca del río Cahoacán afloran los depósitos de flujos piroclásticos denominados Mixcum y que pertenece a la última actividad registrada (2000 años), por lo que de reactivarse el volcán muy probablemente lo haría en esta estructura, con el consecuente desarrollo de lahares como ocurrió hace 2000 años. Asociado a una actividad pliniana como la de hace 2000 años se tiene la caída de

balísticos (1 km) alrededor de la cima del volcán y caída de ceniza en toda el área de la cuenca si la dirección del viento predominante fuera SSO (Figura 49).

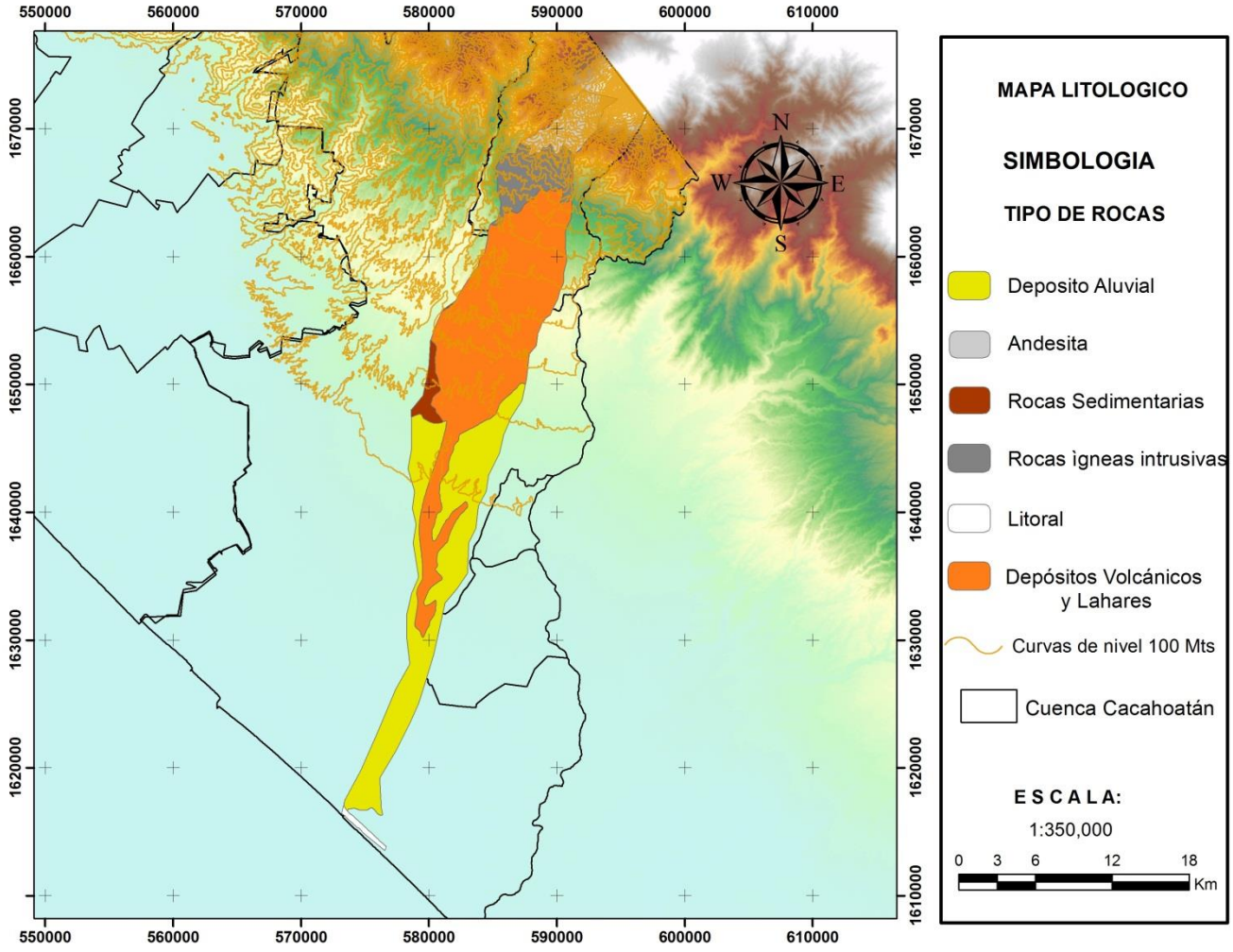


Figura 49. Mapa geológico de la Cuenca del Río Cahoacán, Chiapas.

Volcán Tacaná

El volcán Tacaná (15°08’ N, 92°09’ W; 4 060 m) toma su nombre del poblado de Tacaná del municipio de San Marcos, Guatemala. El Tacaná representa uno de los límites internacionales entre la República de Guatemala y México; es uno de los volcanes activos de nuestro país y de mayor riesgo, dado que está circundado por una población cercana a los 300 000 habitantes, viviendo en un radio de 35 km de su cima.

Estudios previos

La primera mención histórica del volcán fue hecha por von Humboldt (1862), quien lo describió como el volcán Soconusco, el más noroccidental de Centroamérica. Dollfus y de Monserat (1867) lo describieron como el volcán Istak.

Posteriormente, Sapper (1896; 1899) aclaró que Soconusco es sinónimo de Tacaná. En sus estudios Böse (1902, 1903, 1905) lo describió como el volcán Tacaná (Waitz, 1915; en De Csernaet *al.*, 1988). Sapper (1896, 1899) fue el primero en mencionar brevemente al volcán Tacaná.

En esa misma década, Bergeat (1894) realizó la primera descripción petrográfica y clasificó a las rocas del Tacaná como andesitas de augita. Los estudios modernos en torno a este volcán iniciaron de manera casual con los temblores ocurridos el 22 de septiembre de 1902 y con la erupción de 1902 del volcán Santa María, Guatemala, ocurrida el 24 de octubre de ese mismo año. Estos eventos captaron la atención de varios geólogos, entre ellos Böse quien acudió a la región para realizar observaciones geológicas.

La primera descripción detallada del Tacaná fue hecha por Böse (1902, 1903), reportando que la base del volcán se encontraba a 2 200 msnm sobre rocas graníticas. Él consideró que el cerro no era realmente un cono, dado que estaba compuesto por tres escalones situados a elevaciones de 3 448, 3 655 y 3 872 m (cráter superior en el interior del cual está el tapón de lava). Ordóñez clasificó a las rocas colectadas por Böse (1903, 1905) como andesitas de hiperstena y hornblenda. El mismo Böse (1902, 1903) describió un cráter de explosión de forma elíptica de 50 m de diámetro y 5 m de profundidad, localizado al SW de la cima del volcán, sitio de donde anteriormente exhalaba ácido sulfuroso y corrientes de agua azufrosa. Sapper (1897) señaló que después de un fuerte sismo, el 12 de enero de 1855 se formaron fisuras en los flancos del Tacaná, de donde salió humo durante un tiempo breve (Mooseret *al.*, 1958). Böse (1902, 1903) escuchó de los pobladores que en1858 ocurrió una erupción cerca de la cima del volcán que arrojó ceniza y humo de los agujeros en forma de embudo; con menor certeza se refirió a una erupción ocurrida en1878. Posteriormente existen las descripciones generales de Waibel (1933), quien reafirma como Böse (1902) que la roca granítica forma el basamento del Tacaná. Tanto Böse (1902, 1903) como Waibel (1933) lo consideran un volcán apagado o dormido, pero no extinto.

Erupción de 1949

A partir del 22 de diciembre de 1949, cuando tuvo lugar un sismo en el volcán Tacaná, los pobladores observaron columnas blancas que produjeron la caída de ceniza, cerca del poblado de Unión Juárez. Este evento atrajo la atención de los lugareños y autoridades, quienes solicitaron al

Instituto de Geología estudios al respecto. En enero de 1950 acudió el geólogo Müllerried, quien realizó un recuento muy detallado de los estudios previos, de la geología de la cima y del mismo evento eruptivo (Müllerried, 1951). Mülleried observó que el cráter superior del Tacaná se encontraba 70 m por debajo de la cima del volcán (tercer escalón de Böse 1902) y que además se encontraba abierto hacia la porción N-NW. Al mismo tiempo, observó los otros escalones a 160 m por debajo de la cima, en donde se hallaba una laguna seca (cráter elíptico de Böse, 1902), y otro a 230 m, en donde existía una laguna con agua.

Según Mülleried (1951), las emanaciones de la erupción de 1949 tuvieron lugar a través de 16 bocas eruptivas localizadas en tres sitios al suroeste de la cima. Algunos de estos sitios coinciden con las descripciones de Böse (1902, 1903) sobre antiguas manifestaciones en el cráter elíptico.

Las bocas eruptivas tenían diámetros variables de 2-4 m y en ocasiones se alcanzaba a ver el fondo de hasta 4 m de profundidad (fumarola 1); en otras fumarolas ocurrían ruidos como de locomotora (fumarola 6). De estas bocas eruptivas se levantaban columnas de humo transparente a blanco, que se observaban inclusive desde la ciudad de Tapachula. Algunas salían acompañadas de ácido sulfuroso, con la precipitación de minerales blancos a amarillos (cloruros y azufre). La erupción de 1950 propició que el Tacaná, apareciera por primera ocasión en el Catálogo de Volcanes Activos del Mundo (Mooser*et al.*, 1958).

La erupción de 1986

Después de un periodo de reposo aparente de 35 años, el volcán Tacaná comenzó a dar signos de reactivación. El 19 de diciembre de 1985 se produjeron temblores locales acompañados de señales audibles, los cuales continuaron durante enero de 1986, mes en el que se instaló una red portátil de sismógrafos. El evento más importante ocurrió el 3 de febrero; en esa ocasión se produjeron daños en algunas construcciones de adobe, en la población de Ixchiguan en el Departamento de San Marcos, Guatemala, a unos 25 km en dirección ENE del cráter del volcán. La actividad fue incrementándose hasta el 7 de mayo, cuando se presentó un enjambre de sismos que provocó pánico entre la población.

El 8 de mayo, cuando la frecuencia de los temblores sentidos era de más de 2 por minuto, una pequeña erupción freática dio lugar a un cráter de unos 8 m de diámetro en su lado noroeste, a 3 600 m casi sobre la línea fronteriza, en el lado mexicano (De-la Cruz *et al.*, 1989). De este cráter, se levantaba una columna de vapor de agua y gases de hasta 1 000 m de altura. Posteriormente, la actividad sísmica declinó notablemente y dos días después alcanzó los niveles precedentes del mes

de abril. La fumarola tenía una composición enriquecida en vapor de agua, sin componentes magmáticos (Martini *et al.*, 1987).

Casualmente, un poco antes de la erupción de 1986, la Comisión Federal de Electricidad había iniciado una serie de estudios para evaluar el potencial geotérmico del volcán Tacaná. Los estudios que se implementaron incluyeron la geología de semidetalle del volcán (De-la Cruz y Hernández, 1985) y la evolución geoquímica de la zona geotérmica (Medina-Martínez, 1986). De estos últimos se desprende que las aguas de los manantiales del Tacaná son de tipo sulfatado ácido y que existían una serie de fumarolas localizadas entre 3 200 y 3 600 m de altura al S-SW de la cima del volcán, con temperaturas entre 82y 94 °C. Actualmente muchos manantiales alrededor del volcán tienen una composición rica en CO2; la composición química de todos los manantiales puede interpretarse como una mezcla entre un componente de agua profunda rica en SO4-HCO3-Cl y agua meteórica diluida (Rouwet*et al.*, 2004). De esta forma, en la actualidad la emisión total de volátiles del Tacaná es de ~50 t/d de SO2, que es un valor típico de desgasificación para volcanes pasivos. Los estudios que siembran las bases geológicas del Tacaná, son los iniciados por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) (De-la Cruz y Hernández, 1985) y por Saucedo-Girón y Esquivias (1988). En estos trabajos se plantea el primer mapa geológico del Tacaná, a escala aproximada 1:120 000, en donde afirman que el volcán está construido sobre el basamento granítico y andesitas del Terciario. Estos autores cartografiaron e identificaron tres depósitos de flujos piroclásticos que denominaron Qt1, Qt2 y Qt3, y asociaron a la formación de tres calderas pequeñas.

Posteriormente, De Csernaet *al.* (1988) presentaron un mapa fotogeológico preliminar del Tacaná a escala 1:50 000, en donde definieron 14 unidades estratigráficas y una descripción detallada de los estudios previos. En su estudio concluyeron que el Tacaná es un estratovolcán poligenético compuesto por tres volcanes alineados en dirección NE-SW, que expusieron como los periodos eruptivos Talquián, Tacaná y El Águila. Seguramente estos tres volcanes corresponden a las tres calderas propuestas por De-la Cruz y Hernández (1985). De la misma forma, Mercado y Rose (1992) elaboraron un mapa fotogeológico del Tacaná y mapas de peligros para diferentes tipos de eventos volcánicos. En su trabajo reportan por primera vez, análisis químicos de rocas que indican que el volcán está compuesto por andesitas de composición calcialcalina.

Marco geológico

El Tacaná se encuentra ubicado muy cerca de la zona de triple unión de las placas tectónicas de Norteamérica, Caribe y Cocos (Burkart y Self, 1985) dentro del bloque cortical de Chortis (Ortega-Gutiérrez *et al.*, 2004). Debido a su posición tectónica, no existe un basamento Paleozoico en la

región como se había planteado (Mooser*et al.*, 1958; De Csernа*et al.*, 1988; De-la Cruz y Hernández, 1986) sino de probable edad Mesozoica. Existen dos fases de intrusión con edades de 29-35 Ma y 13-20 Ma representadas por granitos, granodioritas y tonalitas (Mugica-Mondragón, 1987; García-Palomo *et al.*, 2006). La actividad volcánica inició hace 2 Ma con la formación de la caldera San Rafael y continuó hace 1 Ma con la creación de la caldera Chanjalé (García-Palomo *et al.*, 2006). El Tacaná se emplazó durante los últimos 100 000 años o menos dentro de la caldera San Rafael. En realidad el Tacaná es un complejo volcánico como lo mencionó De Csernа*et al.* (1988), que consiste en cuatro estructuras alineadas en dirección NE-SW y son los volcanes Chichuj (Talquián), Tacaná, el domo las Ardillas y San Antonio (El Águila) (Macías *et al.*, 2000; García-Palomo *et al.*, 2006).

Historia eruptiva

La actividad fumarólica reportada en 1986, acompañada de erupciones freáticas menores, ha sido observada en los siglos XIX y XX. Suele ser precedida por un considerable incremento de la actividad sísmica. La actividad fumarólica ocurre en el Tacaná cada 25 a 50 años.

Hubo actividad fumarólica en 1855, 1878, 1900 – 1903 y 1949 – 1950 (Mooser et al.1959). Un quinto periodo de actividad fumarólica se presentó en 1986 y continúa al presente (De la Cruz, S. 1986). No se tiene información de actividad fumarólica anterior a 1855.

Actividad histórica del Tacaná siglos XIX, XX y XXI (Sapper, 1927; Sapper, 1897; Böse, 1903; Böse, 1905; Sapper, 1905; Müllerried, 1951; De la Cruz, S. 1986, citados en Mora y otros 2007).

- **1855**Evento de corta duración, con emisión de vapor blanco
- **1887**Vapor visible sólo en el lado mexicano
- **1900 – 1903** Explosión con formación de un cráter de 50 m de ancho y 5 m de profundidad en el flanco SW. Fuerte olor a azufre (d).
- **1949 – 1950** Vapor blanco con fuerte olor a azufre emitido de tres chimeneas en el flanco SW; numerosas fumarolas pequeñas. Fuerte sismo previo a la actividad fumarólica Caída de cenizas en Unión Juárez.
- **1986 – 1987**Moderada erupción freática forma un cráter de 10 m de ancho el 18 de mayo, 1986; columna de vapor blanco, actividad sísmica somera en radio de 20 Km del volcán a partir del 15 de diciembre de 1985. Caída de ceniza en poblados adyacentes.

Los primeros fechamientos de material carbonizado en depósitos prehistóricos del volcán Tacaná fueron obtenidos por Espíndola*et al.* (1989). Estos autores fecharon en 42 000 años (14C) un

depósito de flujos de bloques y ceniza en la localidad de La Trinidad. Este depósito correspondía al abanico de piroclastos Qt3, propuesto por De-la Cruz y Hernández (1985). Con base en esta edad, Espíndola y colaboradores consideraron que estos depósitos de Qt3 deberían de corresponder a algunos de los depósitos más viejos del Tacaná y que, por ende, los depósitos Qt2 y Qt1 tenían que ser más jóvenes. Nuevas observaciones de campo arrojaron una edad de 38 000 años para el mismo depósito de flujo de bloques y ceniza de La Trinidad (Espíndola*et al.*, 1996), edad muy cercana a la ya reportada por Espíndola*et al.* (1989); también otra edad cercana a los 30 000 años en la localidad de Monte Perla, siempre sobre el abanico Qt3 en un depósito de flujo de bloques y ceniza. De esta forma, era obvio que aún dentro del abanico de piroclastos Qt3 existen varios depósitos sobrepuestos producidos por diferentes erupciones, que provenían probablemente del volcán Tacaná.

Posteriormente, Macías *et al.* (2000) identificaron dos erupciones ocurridas hace 10 000 y 1 950 años, lo que indicaba que el Tacaná había tenido al menos cuatro erupciones de gran magnitud durante los últimos 40 000 años. La erupción de hace 1 950 años proveniente del volcán San Antonio produjo el flujo piroclásticoMixcum que correspondía a el abanico de piroclastos Qt2 de De-la Cruz y Hernández (1985). Esta erupción causó el abandono temporal del centro ceremonial de Izapa (Macías *et al.*, 2000) ocurrido durante el primer siglo de nuestra era (Lowe*et al.*, 1982). Las erupciones acaecidas hace 40 000, 30 000 y 1 950 años, habían sido producidas por la destrucción parcial o total de un domo central con la generación de flujos piroclásticos de bloques y cenizas, capaces de viajar varios kilómetros y de rellenar barrancas con varios metros de espesor. Recientemente se han identificado al menos otras seis erupciones del volcán Tacaná, ocurridas hace 32 000, 28 000, <26 000, 16 000, 7 500 y 6 500 (Macías *et al.*, 2004b; Mora *et al.*, 2004; García-Palomo *et al.*, 2006).

Algunas de estas erupciones no habían sido consideradas en la zonificación de peligros volcánicos (Mercado y Rose, 1992; Macías *et al.*, 2000).

Las erupciones que se presentaron hace 28 000 y 16 000 años fueron producidas por la destrucción de un domo central, por lo que se suman a las erupciones descritas anteriormente de 40 000 y 2 000 años (volcán San Antonio). Sin embargo, la erupción de 32 000 años fue un evento producido por actividad de tipo pliniana, que no había sido registrada en el volcán Tacaná, salvo una mención muy superficial en el trabajo de Mercado y Rose (1992), en donde incluían una isopaca de 2 m en el pueblo de Sibinal, Guatemala. Otra erupción sobresaliente está representada por el colapso de la porción noroccidental del volcán Tacaná, que ocurrió hace menos de 26 000 años.

Este evento produjo una avalancha de escombros que viajó 8 km hasta el río Coatán, bloqueando el drenaje de los ríos San Rafael y Chocabj. El depósito tiene un H/L de 0.35, cubre un área mínima de 8 km2 y tiene un volumen mínimo de 1 km3 (Macías *et al.*, 2004b). Las erupciones fechadas alrededor de 7 500 y 6 500 años han producido flujos piroclásticos de ceniza y pómez y oleadas piroclásticas, respectivamente, cuyos depósitos cubren el cono moderno del volcán Tacaná.

Todas estas erupciones han producido lahares a lo largo de los cauces de los ríos Coatán, Cahoacán y Mixcum, los cuales drenan hacia el Océano Pacífico. En el estudio de Macías *et al.* (2000) se reporta que el sitio prehispánico de Izapa fue abandonado alrededor del primer siglo D.C., debido a inundaciones asociadas a la erupción Peleana, ocurrida hace 1 950 años en el Tacaná. Es muy impresionante observar que diversos depósitos de lahar de edad desconocida afloran en las zonas limítrofes de la ciudad de Tapachula (250 000 habitantes). La ciudad de Tapachula está asentada en los límites de dos enormes abanicos aluviales de edad Pleistoceno-Holoceno, y entre los ríos Coatán y Cahoacán. En estos ríos ocurren inundaciones anuales y en ocasiones algunas más graves como las producidas en octubre de 2005 por el huracán Stan.

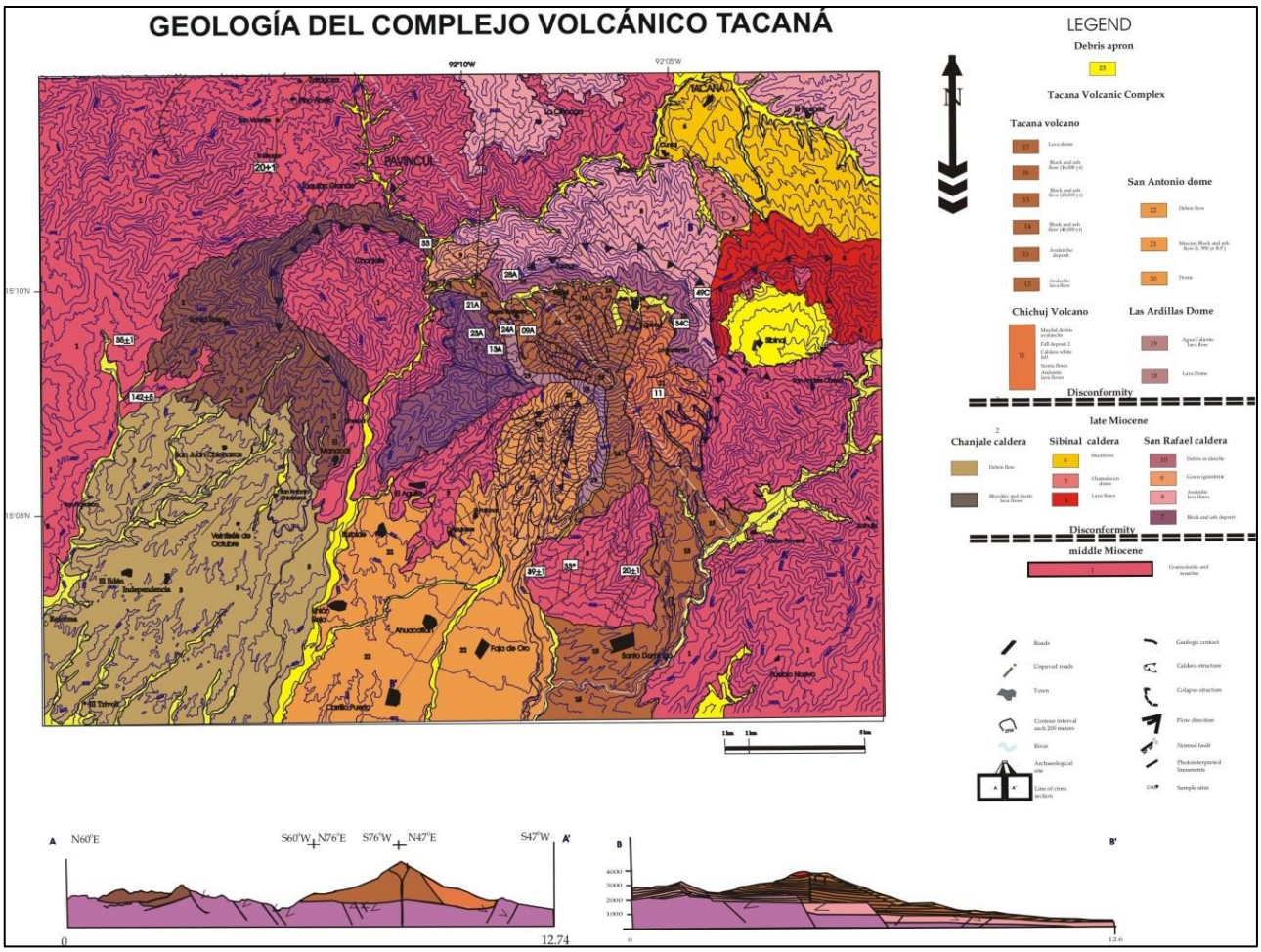


Figura 50. Mapa geológico general del complejo volcánico de Tacaná el cual se encuentra enclavado dentro de la caldera de San Rafael de 1 Ma. Se muestran algunos de los depósitos piroclásticos producidos durante los últimos 50 000 años en el volcán Tacaná y el depósito de flujo piroclásticoMixcumde 1950 años. Modificado de García-Palomo *et al.* (2006). T: volcán Tacaná, SA: volcán San Antonio, Ch: volcán Chichuj, A: domo Las Ardillas (Palomo et al., 2006).

Desde un punto de vista petrológico el complejo volcánico de Tacaná está compuesto principalmente por andesitas con dos piroxenos con una asociación mineralógica de plagioclasa, augita, hiperstena+óxidos de hierro y en ocasiones hornblenda. En menor proporción se tienen dacitas con la misma composición mineralógica, formando esencialmente lavas o domos viscosos. La composición química de los volcanes del complejo muestra algunas variaciones significativas (Mercado y Rose, 1992; Macías *et al.*, 2000; Mora, 2001; Mora *et al.*, 2004). De este modo el volcán Chichuj ha generado flujos de lava y domos andesíticos (59-63% SiO2). El volcán Tacaná presenta flujos de lava basáltico andesíticos (56-61% SiO2), flujos de lava y domos andesíticos y dacíticos (61-64% SiO2), y flujos piroclásticos con líticos juveniles de composición andesítica (60-63% SiO2). El volcán San Antonio ha originado flujos de lava andesíticos y domos dacíticos (58-64% SiO2).

El registro histórico del Tacaná indica que la actividad fumarólica no es necesariamente precursora de erupciones magmáticas.

El Complejo Volcánico Tacaná es el último volcán y el más grande del Arco Volcánico Centro Americano que está compuesto por volcanes muy activos como El Fuego, el Santiaguito, el Pacayá Santa María, entre otros volcanes.

El peligro volcánico en el Municipio de Tapachula es mayor por una reactivación del Complejo Volcánico Tacaná, por lo que los poblados de este municipio en las faldas del mismo están en riesgo mayor a todos los fenómenos que se describen a continuación.

En el trabajo desarrollado para el Atlas de Riesgo de Tapachula se analizó el peligro con base a los mapas reportados por Macías et al., 2001, 2007 y Mora et al., 2007 y 2011. La vulnerabilidad física con base a las 200 observaciones en campo de las condiciones de los inmuebles ubicados en las áreas de peligro y la vulnerabilidad social con base a 200 entrevistas a la población en peligro. La vulnerabilidad social tuvo mayor peso en las condiciones de conocimiento de los pobladores y su relación con las autoridades para saber qué hacer en caso de una reactivación volcánica (Figura 51).

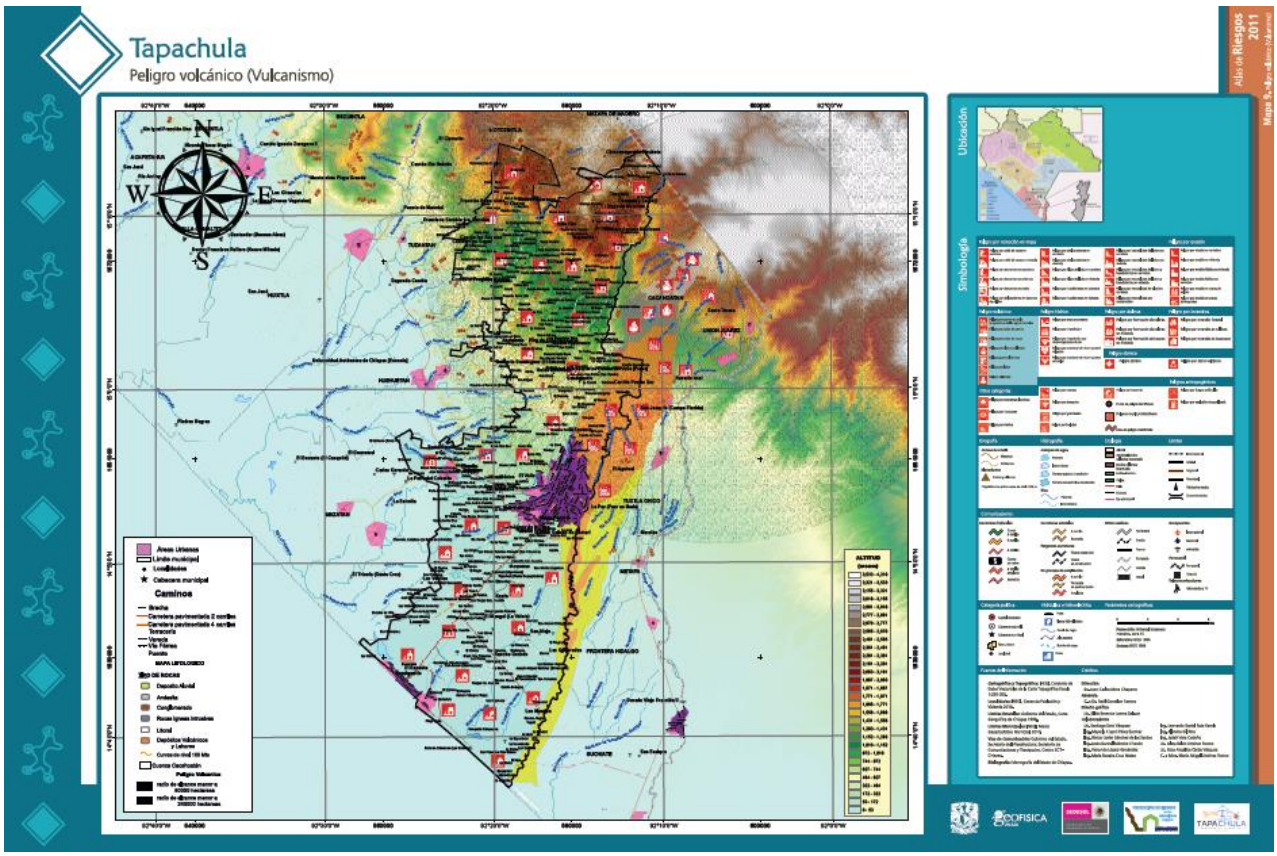


Figura 51. Mapa de peligro volcánico

Tipos de peligros volcánicos asociados a una reactivación del Complejo Volcánico Tacaná:

Flujos y oleadas piroclásticas, Caída de ceniza, Flujos de lava, Lahares y/o flujos de lodo, Gases y lluvia ácida, actividad sísmica.

No obstante que este volcán es considerado como peligroso por las condiciones descritas, la base de los resultados geoquímicos y de la sismicidad, permiten afirmar que en este momento no manifiestan un peligro para la población que vive en sus cercanías.

Actualmente este volcán se encuentra principalmente con actividad fumarólica, pero sin que ello represente peligro.

Basamento; la cumbre del Tacaná se eleva a 1,800 m por encima del basamento local, hasta un total de 4,030 m (Mooser*et al.,*1958). El volumen total del volcán es difícil de calcular, debido a la topografía irregular del basamento, pero se estima que es de 20 a 30 Km3. En Guatemala, la topografía y el drenaje son irregulares y montañosos, mientras que en México la inclinación general hacia el suroeste produce una serie subparalela de valles fluviales con rumbo SSO. Estos valles son de especial interés para la evaluación del peligro y riesgo volcánico, dado que estos son influenciados en gran medida por la topografía y la gravedad.

La topografía irregular del basamento limita la extensión y dirección de los distintos aspectos del peligro volcánico controlado por la gravedad. El basamento alcanza mayores elevaciones en 1.- Cordillera Las Majadas, al norte de San Rafael (Guatemala), 2.- La Cordillera de rumbo norte que corre paralelamente al este del Río La Laja (Guatemala), 3.- El área suroeste de Agua Caliente, entre los ríos Coatán y Zapote (México), y 4.- El área al sur de la cima del volcán y el área al oeste y noroeste de Unión Juárez.

El patrón estructural del basamento se manifiesta en una serie de fallas con rumbo WNW, similar al rumbo del Eje Volcánico. Numerosos eventos sísmicos asociados con la reciente crisis del volcán Tacaná tuvieron localizaciones epicéntricas de 10–20 Km al este del volcán y alineamientos en grupos de rumbo noroeste (Sánchez , 1986, citado por Mercado R y William I. Rose, 1991).

Flujos y oleadas piroclásticas:

Los flujos piroclásticos son masas secas y calientes (de 300° a más de 800° C) de materiales piroclásticos y gases que se movilizan rápidamente a ras de la superficie. Los grandes flujos piroclásticos pueden extenderse hasta 13 kilómetros, registros históricos en el Tacaná y pueden cubrir miles de kilómetros cuadrados. Los flujos piroclásticos y oleadas con su alta velocidad,

temperatura y movilidad presentan una amenaza de muerte por asfixia, enterramiento, incineración e impacto.

En el Complejo Volcánico Tacaná existen depósitos de flujos de bloques y cenizas, cenizas, pómez y oleadas piroclásticas.

En el volcán Tacaná, De la Cruz (1986) reporta que en su formación se desarrollaron 4 etapas y en cada terminación de etapa se culmina por flujos piroclásticos. En el área como la de Mixcum se describieron depósitos de flujos piroclástico y de avalancha de escombros (Espíndola, et. al., 1993), cotejando este sitio de acuerdo con la nomenclatura de De la Cruz como el evento Qt3. Martini (1987), comenta que flujos piroclásticos se encuentran emplazados sobre los principales valles y barrancos del Tacaná.

Macías et al. (2000), identificó depósitos de flujos piroclásticos sobre el valle del río Cahoacán hasta 7 Km de la cima. Sin embargo, el alcance de estos flujos se ha identificado en 10 – 15 Km de la cima del volcán poniendo en peligro poblaciones de ambos países.

De los municipios que puedan resultar afectados por éste fenómeno se encuentran con certeza el de Unión Juárez, siendo la cabecera municipal con el mismo nombre completamente expuesta en caso de un evento magmático de éste volcán. El municipio de Cacahoatán, en su parte noreste también se ve afectada por desplazamientos de flujos y oleadas piroclásticas provenientes del Tacaná pero desplazándose sobre las principales barrancas donde fluyen los principales ríos y cursos fluviales secundarios. Los poblados Vega del volcán y San Rafael, del lado de Guatemala, así como comunidades aledañas se encuentran también afectadas, y en general, a una distancia entre 10 y 15 Km. del volcán Tacaná se pone de manifiesto una exposición a la mayoría de los peligros volcánicos que puedan ocurrir.

Lahar y/o flujos de lodo:

Los lahares son mezclas de materiales de origen volcánico (depósitos piroclásticos), movilizados por agua, que fluyen rápidamente y se originan en las pendientes de los volcanes. Los lahares amenazan las vidas humanas y las propiedades tanto en las laderas de los volcanes como en los valles que los drenan. Debido a su alta densidad y a su velocidad, los lahares pueden destruir la vegetación y hasta estructuras importantes a lo largo de sus rutas, tales como puentes.

En el volcán Tacaná se localizan depósitos de flujos de lodo en sus laderas Norte, Este y Oeste afectando las laderas superiores de éste volcán.

El peligro inminente en una erupción volcánica del Tacaná resultaría de la generación de lahares e inundaciones que podrían abarcar grandes extensiones debido al fuerte gradiente gravitacional de las laderas del volcán y provocar perturbaciones en los cauces de los ríos existentes.

En caso de que el volcán entrase en un periodo de actividad freática, aumenta la posibilidad de generación de lahares. Más aún, si hubiese una erupción magmática, el volcán Tacaná generaría gran cantidad de ceniza que, de acuerdo a la época del año del evento eruptivo puede ser un peligro de corto plazo o largo plazo. En el caso de corto plazo, en la época de lluvias, la ceniza generada sería removida produciendo flujos de lodo; sin embargo, en la época de secas la ceniza se quedaría depositada para que la próxima temporada de lluvias la remueva (largo plazo) generando flujos de lodo mucho después de la erupción, de tal forma que la gente no tomaría conciencia de éste peligro.

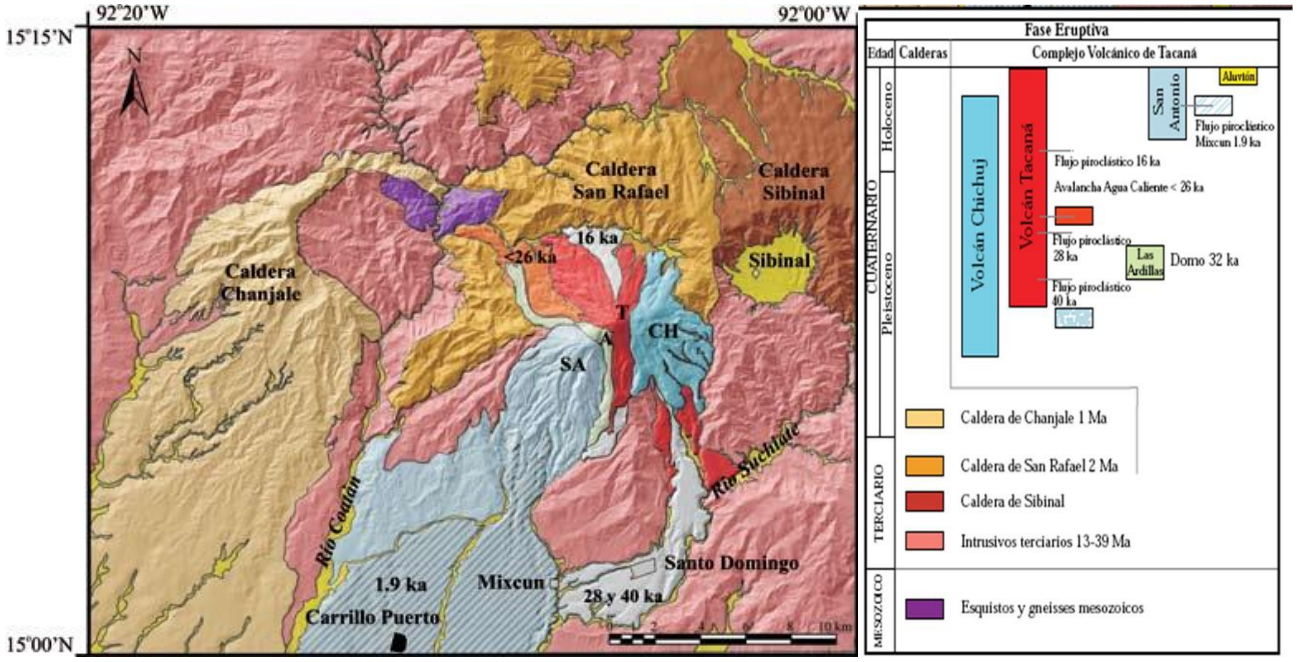


Figura 52. Mapa preliminar de áreas de riesgo potencial de futuros flujos piroclásticos, lahares. Tomado de Macías et al., (2009).

Este tipo de peligro puede afectar más al lado mexicano que en el lado guatemalteco. Los principales ríos aledaños al volcán son, por el lado mexicano: Agua Caliente, Coatán, Zapote, Cahoacán, Mixcúm y Suchiate.

Los flujos de lodo es el principal peligro, de los cinco enunciados, para la mayoría de las poblaciones citadas, tanto del lado guatemalteco como en el mexicano. Martíni, (1987), reconoce depósitos de

flujo de lodo en los costados de las partes altas del volcán que tienen características de flujo de detritos y depósitos con bloques de hasta 2 m. de tamaño que pueden tener un origen de flujos de lodo. Sin embargo, no da la ubicación de éstos depósitos.

El evento reportado por Macías (2000) en el volcán Tacaná hace aprox. 2 000 años, indica que posteriormente a la erupción Peleana, el material emitido fue removido posteriormente en épocas de lluvias como un flujo de detritos hiperconcentrado cuyos depósitos se observan en una cantera fuera de la ciudad de Tapachula, éste flujo pudo haber recorrido toda la planicie costera hasta llagar al Océano Pacífico, es decir, ciudades como ésta pueden ser afectadas por flujos secundarios. Además, reconoce que aparte de lahares originados por actividad volcánica, las precipitaciones durante la época de lluvias, fenómenos meteorológicos como huracanes, el deslizamiento de laderas, deslizamiento de escombros sobre los cauces de los ríos representan los más comunes peligros que pueden esperarse en cualquier ladera del volcán.

En septiembre de 1998, se originó un flujo de lodo en las cercanías de la región del volcán Tacaná, en el río Huixtla, trayendo como consecuencia la muerte de 150 personas, poblados y vías de comunicación totalmente destruidas. El origen de éste flujo fueron las intensas lluvias que cayeron en el Estado de Chiapas ése año. Hasta ese año, el registro estratigráfico sugería a éste evento como el más notable de una serie de frecuentes desastres geológicos en la región (Macías, et. al. 2000).

El Huracán Stan, y las lluvias prolongadas que sucedieron en septiembre del 2005, mostraron la severidad de los efectos de los flujos de lodo, generados por el desprendimiento de millones de toneladas métricas de suelos, rocas, árboles, etc., generando enormes aludes hiperconcentrados que bajaron velozmente por las pendientes de la Sierra Madre, los cuales provocaron daños sin precedentes a las poblaciones de Motozintla, Tapachula, Huixtla.

Explosiones laterales y colapso estructural

Las grandes explosiones laterales dirigidas son fenómenos complejos que comparten características de flujos y oleadas piroclásticas, pero el factor que las distingue es una componente inicial de ángulo bajo y pueden afectar amplios sectores de un volcán hasta 180 grados y alcanzar distancias de decenas de kilómetros.

Su mecanismo de acción resulta de la repentina despresurización del sistema magmático o hidrotermal dentro del volcán, a causa de deslizamiento ó colapso del flanco de la ladera del volcán u otras razones. La corriente que generan es muy densa y se mueve a velocidades excepcionalmente

muy altas, mayores a 100m/s, teniendo una movilidad muy alta, por lo que casi no le afectan los rasgos topográficos (Scott, 1993).

El detonador de un colapso puede ser un sismo tectónico cercano que desestabilice al edificio que, al tomar en cuenta que el Tacaná se encuentra en una región sumamente activa tectónicamente, el riesgo puede estar presente en cualquier momento. Estos colapsos pueden presentarse en el flanco Noroeste y en la situación actual de las fumarolas del edificio volcánico. Sin embargo, hace falta un reconocimiento a detalle de éstas fallas normales y de fracturamientos en los actuales domos para evaluar la posibilidad de éste peligro en alguna erupción futura ó descartarlo por completo.

Si hubiese un evento de éste tipo en el volcán Tacaná, los municipios expuestos a éste peligro, son los municipios de Tuxtla Chico, Cacahoatán y Unión Juárez, también se encuentran expuestos a éste peligro, sobre todo éste último municipio y sus principales poblados (ver figura 53).

Macías, et. al, (2000) reporta un depósito de escombros de ± 10 m. de espesor, 25 Km2 de extensión sobre un valle con bordes de un espesor de 1 m., con un volumen de 0.12 Km3 producto de una erupción que ocurrió hace aproximadamente 1950 años, cuando hubo mezcla de dos magmas de diferente composición, temperaturas y profundidades.

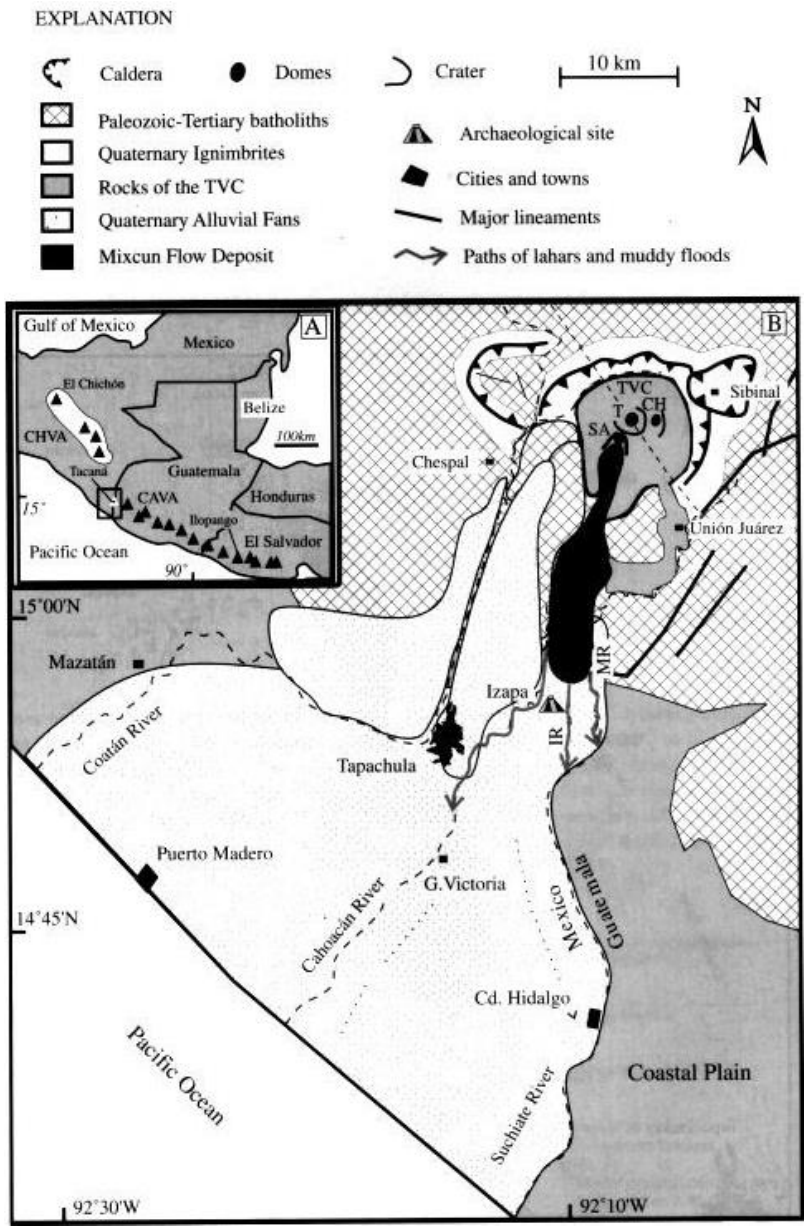


Figura 53. Mapa de peligros para flujos piroclásticos producidos por explosiones de domo basados en evento anteriores y pequeños deslizamientos de laderas producidos por inestabilidad en los flancos. Tomado de Macías, et. al. (2000).

El evento comenzó con explosiones freáticas-freatomagmáticas, produciendo algunos pequeños episodios de eventos de oleadas piroclásticas que desestabilizaron al edificio y ocasionando una erupción lateral del tipo peleana que destruyó el domo antiguo produciendo flujos piroclásticos que llenaron un valle en una dirección Sur-Suroeste, entre los ríos Cahoacán y Mixcum hasta 14 Km de la cima del volcán denominado San Antonio, intensas lluvias produjeron flujos de lodo secundarios que

llegaron hasta el océano, terminando el evento al emplazar el actual domo. Se le ha denominado a éste depósito como Mixcum y se encuentra afueras de la ciudad de Tapachula (Fig. 50).

Peligro por caída de Tefra y proyectiles balísticos:

La tefra está constituida por fragmentos de rocas y lava que han sido expulsados hacia la atmósfera y que luego caen nuevamente sobre la superficie terrestre. La tefra varía de tamaño desde ceniza (menores a 2 mm a 64 mm), hasta bloque y bombas (mayores a 64 mm). Las caídas de tefra constituyen el producto de mayor alcance derivado de erupciones volcánicas.

La caída de tefra puede provocar el colapso de techumbres de viviendas, destruir líneas de transmisión de energía y comunicación y dañar o liquidar la vegetación.

Este peligro volcánico puede considerarse como uno de los cuales puede afectar a gran cantidad de poblaciones, construcciones, viviendas.

La tefra varía desde el tamaño de ceniza (<2 mm.), a lapilli (2-64 mm.), hasta bloques y bombas (> 64 mm.) pudiendo alcanzar dimensiones de hasta varios metros (balísticos). Sus densidades varían desde pómez y escoria vesiculares de baja densidad, hasta cristales y líticos muy densos.

Las caídas de tefra y los proyectiles balísticos son una amenaza para la vida y las propiedades:

La fuerza de impacto de los fragmentos grandes que caen. Estos fragmentos llamados bombas se encuentran en un radio de 5 a 10 Km del volcán. Las personas pueden sobrevivir a la caída de bombas pequeñas en un refugio mínimo; sin embargo la caída de bombas grandes pueden afectar a las personas hasta en los refugios sólidamente construidos.

El enterramiento por tefra puede provocar el colapso de los techos de las viviendas, inutilizar líneas de transmisión de energía y comunicaciones. Una carga de una capa de tefra de 10 cm. de espesor puede variar de entre 40-70 kg/m2 para tefras secas y hasta 100-125 kg/m2 para tefras húmedas. Los efectos del enterramiento sobre los cultivos también son muy variables, lluvias de ceniza mayores a 1 m. de espesor, liquidan la mayoría de los tipos de cultivo, incluso capas delgadas de tefra pueden causar daños severos dependiendo de la especie vegetal, el tipo de cultivo y la etapa del crecimiento de las especies cultivadas.

Transporte de gases nocivos, ácidos, sales, y en las cercanías de la fuente de emisión, calor. Formación de una suspensión de partículas de grano fino en el agua y en el aire. Éstas pueden afectar la visibilidad y la salud (especialmente en personas con problemas respiratorios) y puede estropear maquinaria desprotegida (motores de combustión interna).

Caídas de ceniza delgadas, menores de 2 cm, pueden causar estragos en servicios comunitarios básicos, hospitales, centrales eléctricas, plantas de bombeo, sistemas de drenaje y plantas de tratamiento de aguas. La prevención de éstos efectos se lleva a cabo diseñando edificios con orientación e inclinación de techos de acuerdo a la cercanía de algún volcán activo, refuerzo de paredes y techos para soportar la carga de tefra e impacto de proyectiles, remoción o estabilización de tefra en el terreno, para impedir que ésta se retrabaje, diseño de filtros para maquinaria, y uso de máscaras de respiración o pañuelos húmedos sobre la nariz y boca para reducir la inhalación de tefra y gases.

En la figura 54 se observan isopacas de depósitos de lluvia de ceniza en el volcán Tacaná que se han registrado del lado de Guatemala a distancias de 20 Km, tales como en las localidades de La Haciendita con aprox. 3 m. de espesor, en Sibinal se observa 1 m. de espesor y en Ixchiguán, a 19 Km de la cima se tiene 15 cm. de depósitos de ceniza. Éste material tiene la misma composición que las lavas del Tacaná. (Mercado y Rose, 1992).

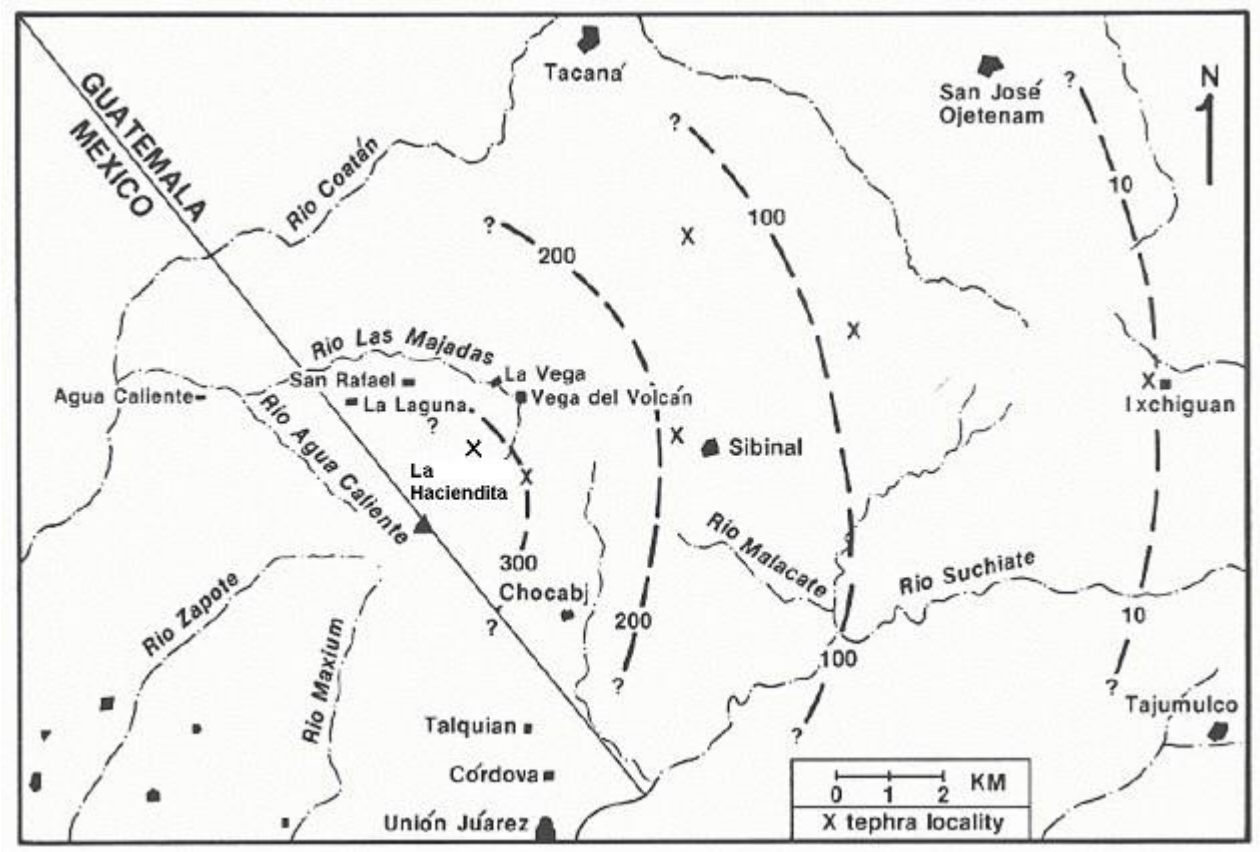


Figura 54. Isopacas de depósitos de caída en el Tacaná. Tomado y modificado de Mercado y Rose, (1992).

La mayoría de las poblaciones a ambos lados de la frontera, están en riesgo, en caso de una erupción magmática, de la caída de tefra de aprox. 1 m. de espesor, sobre todo del lado mexicano donde se encuentra una gran cantidad de poblaciones, infraestructura y actividades de cultivo.

No obstante, cabe preguntarse en qué direcciones del viento predominan durante todo el año en la cima del volcán Tacaná ya que será de suma importancia al momento de evaluar las poblaciones afectadas por la formación de una columna de cenizas en una posible erupción del volcán. Se deben de saber algunos parámetros de estas nubes de tefra como son su velocidad de ascensión a la atmósfera y su dispersión así como la distancia que pueden cubrir y en qué tanto tiempo comienza su descenso o caída.

En la figura 55 de acuerdo a datos estimados de Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrografía (INSIVUMEH) de Guatemala indican que durante la temporada de lluvias, en los meses de Junio a Octubre, los vientos son predominantemente de Este a Noreste y durante las estaciones sin lluvias, de diciembre a abril los vientos son predominantemente de Oeste a Suroeste (Mercado y Rose, 1992).

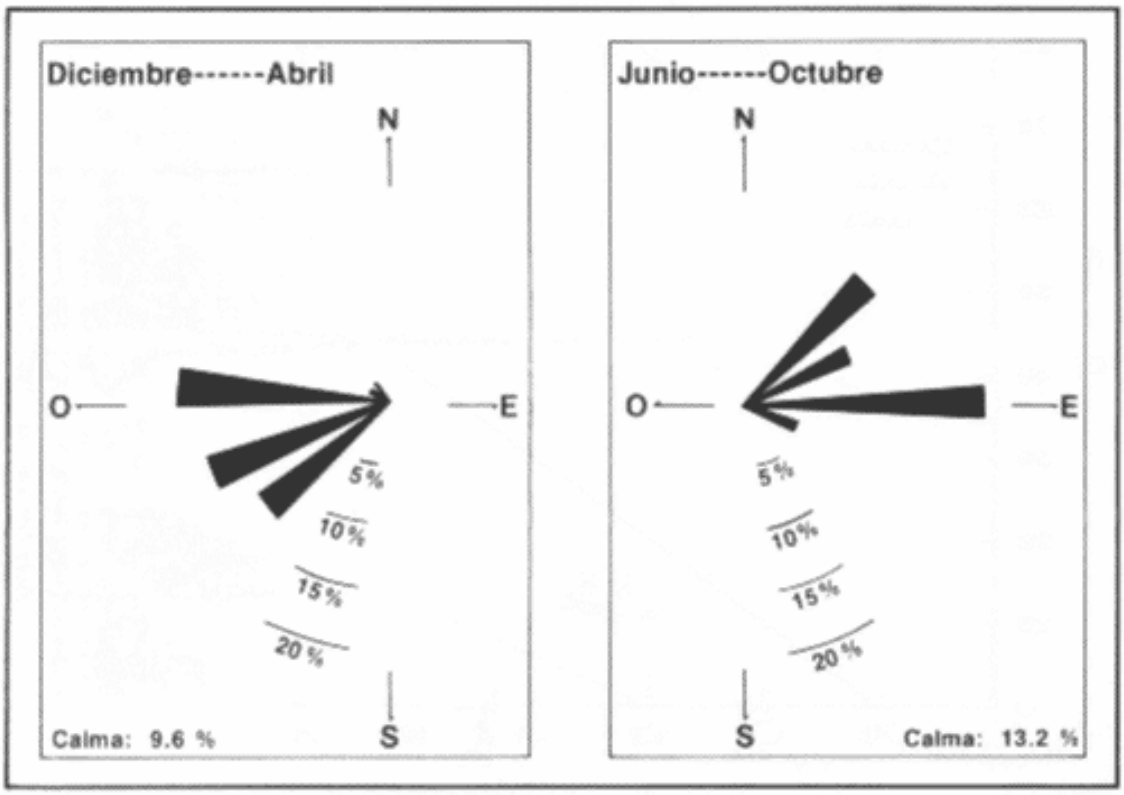


Figura 55. Dirección de los vientos dominantes a 3 000m - 15 000 m. Tomado de Mercado y Rose, (1992).

Flujos de lava y domo:

La morfología de las extrusiones está determinada por la tasa de emisión, por la pendiente de la superficie sobre la cual la lava se derrama y por la viscosidad de ésta. De estos factores, el primero es el más importante. Dadas las bajas velocidades de los flujos de lavas, el peligro por estos flujos es bajo. El mayor peligro relacionado a flujos de lava representa el daño parcial o la destrucción total por enterramiento, trituración o incendio, de todo lo que éstos encuentran a su paso.

Las lavas generadas por volcanes de composición dacíticaoriolíticas por lo común son más viscosas, y típicamente son emitidas a tasas muy bajas, formando flujos de lava cortos y gruesos ó en el caso de lavas muy viscosas forman montículos o domos que cubre unos pocos kilómetros cuadrados.

Dadas sus bajas velocidades de desplazamiento, pocas veces constituyen una amenaza para las vidas humanas. El mayor peligro asociado a flujos de lava representa el daño parcial o destrucción total por sepultamiento, trituración o incendio de todo lo que se encuentre a su paso. Dado que los flujos de lava siguen el cauce los ríos en los valles, éstos pueden represar a los tributarios de los mismos y formar embalses naturales y lagunas, que algún momento pueden tener un rompimiento o desborde.

La naturaleza de las lavas del volcán Tacaná es dacítica y andesítica que se encuentran en el flanco norte del mismo, aunque parecen haber flujos en las laderas sur del volcán, tienen una morfología de lava en bloques con espesores de 20 a 40 m. con longitudes de 4 000 m por 1 500 m. de ancho y pueden estar asociados a los depósitos de avalancha. Estas lavas tienen similar composición que las lavas emitidas por los volcanes Tolimán, Guatemala y Arenal, de Costa Rica.

Un radio de aproximadamente 5 Km. a partir de la cima del volcán sería afectado por desplazamiento de posibles flujos de lava moviéndose lentamente y acompañadas por desprendimientos de bloques del frente de lava que provocaría provocando flujos piroclásticos que bajarían por las principales barrancas siguiendo los cauces de ríos.

Las poblaciones que podrían ser afectadas por flujos de lava son Agua Caliente, en el municipio de Cacahoatán.

El volcán Tacaná es un sistema cerrado al contener en sus cimas una serie de domos volcánicos en una tendencia Noreste – Suroeste, aparentemente, éstos domos se encuentran controlados por una serie de fallas normales de tendencia Norte – Sur, como es el caso de la emanación de vapor emitida en 1986 (Mercado y Rose, 1992).

Aunque el desarrollo de un domo volcánico es un proceso pasivo, existen peligros asociados a su posterior evolución:

- Periodos de pequeñas explosiones en la extrucción del domo.
- Periodos de grandes explosiones en la extrucción del domo.
- Generación de flujos piroclásticos por colapso gravitacional del domo.

Si hubiese una migración magmática del edificio volcánico del Tacaná como la propuesta por Macías et. al., (2000), entonces posiblemente los futuros eventos del Tacaná tal como es el crecimiento de domos se daría en el flanco Suroeste que es correspondiente al lado mexicano del volcán, más precisamente al municipio de Unión Juárez, y tanto se puede relacionar con la actividad de 1986 que tuvo lugar precisamente en ese flanco y el crecimiento de un domo puede ser disparador de otros tipos de peligros volcánicos de mayor alcance.

Sismicidad:

La generación de sismos en áreas volcánicas se puede dar por: el movimiento de magma y la formación de fracturas asociadas, explosiones volcánicas, movimientos de masa a gran escala y esfuerzos tectónicos. En general los sismos asociados a actividad volcánica no sobrepasan los 5.0 Richter de magnitud y raras veces causan daños en sitios alejados del volcán.

Gases/lluvia ácida:

El magma contiene gases disueltos, los cuales escapan hacia la atmósfera, tanto durante las erupciones como mientras el magma permanece estacionado cerca de la superficie. Los gases también pueden ser emitidos por sistemas hidrotermales. El gas volcánico más abundante es el vapor de agua. Otros gases importantes incluyen el dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxidos de azufre, ácido sulfhídrico, cloro y flúor. El anhídrido carbónico y el monóxido de carbono son inodoros y, al contrario de los otros gases tóxicos, no pueden ser detectados por las personas. El monóxido de carbono es venenoso y el anhídrido carbónico, que es más denso que el aire, se puede acumular en zonas bajas o depresiones topográficas y llegar a asfixiar a cualquier ser humano o animal que penetre en el área. Los compuestos de azufre, cloruros y fluoruros reaccionan con el agua para formar ácidos venenosos, los cuales, aún en concentraciones bajas, son nocivos para los ojos, la piel y el sistema respiratorio de seres humanos y animales.

Dependiendo de su concentración y del tipo de vegetación, estos ácidos pueden causar daño y hasta liquidar la vegetación, también pueden destruir tejidos textiles y metales. Los efectos de un gas

volcánico están relacionados directamente a su concentración, la cual decrece con la distancia desde su punto de emisión, ya que el gas es diluido por el aire.

5.1.5 Deslizamientos

Un deslizamiento se define como un movimiento de una masa de roca, detritos o tierra pendiente bajo la acción de la gravedad, cuando el esfuerzo de corte excede el esfuerzo de resistencia del material, esta tiende a desplazarse para compensar

Tipos de deslizamientos presentes en el municipio:

Vuelcos: son los desprendimientos de rocas y detritos, que se generan por lluvias fuertes, sismos o la intervención del hombre.

Flujos de lodos: es el desplazamiento de caudales de lodo con rocas y sedimentos arrastrados por el flujo de lluvias fuertes, su desplazamiento puede ser lento o rápido depende mucho del grado de inclinación que tenga la ladera o el relieve de la zona.

Deslizamiento traslacional: son aquellos que se desplazan hacia abajo ejercido por la fuerza de la gravedad y grado de inclinación de las laderas, estas se desplazan sobre una capa de roca maciza sobre la cual se mueve hacia el frente en forma recta dejando un cajón casi rectangular atrás, y puede ser muy rápida o lenta dependiendo la inclinación y el tipo de material que contenga.

Deslizamiento rotacional:son aquellos que se deslizan hacia abajo igualmente por la fuerza de gravedad y el peso de los materiales este en particular se desplaza de forma lenta dejando a su paso escalones y en la parte frontal se forman acumulaciones de suelo deformando el mismo, y dejando en la parte superior una vacío de forma en cono.

Los deslizamientos de tierras representan un peligro geomorfológico común en Tapachula, Chiapas. Amenaza la propiedad y la infraestructura, principalmente en las comunidades aledañas a zonas montañosas que representan un alto porcentaje de todo el municipio. En este sentido, Tapachula representa uno de los municipios más afectados por deslizamientos de tierra en Chiapas. Deslizamientos que a menudo asociados con otros importantes peligros naturales, como escorrentías y sismos. A pesar de que en Tapachula, el número de víctimas y damnificados es muy bajo, los deslizamientos de tierra causan daños a las propiedades y viviendas. Un aumento de la frecuencia y la magnitud de sismos se ha observado en los últimos meses, relacionados con las lluvias puede incrementar el riesgo en esta zona.

Para el diseño de este atlas de riesgo por deslizamientos de tierras, se consideraron factores importantes; litología, uso de suelo, precipitación y sismicidad basada en una encuesta de tipo social y susceptibilidad y en reportes de protección civil municipal.

En el municipio de Tapachula los fenómenos por deslizamientos se presentan de la zona media a la zona alta debido al aumento de la inclinación del suelo, la incidencia de deslizamientos en el municipio es muy alta para la observación de estos peligros se generó un mapa de deslizamientos donde también se incluyen los fenómenos denominados como derrumbes (Figura 56).

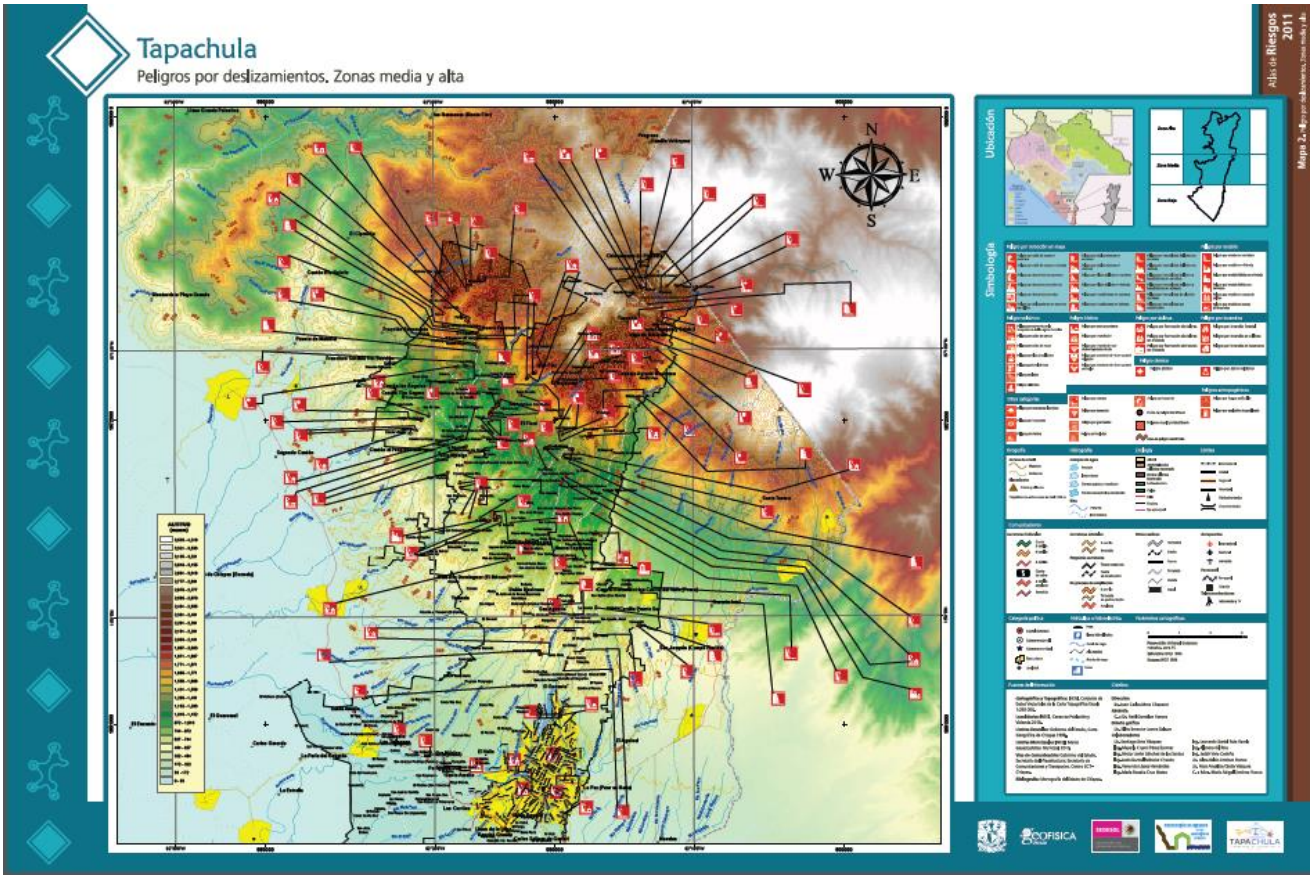


Figura 56. Mapa de peligros por deslizamientos Zona media y alta

Para mejor observación de los peligros por deslizamientos existentes en el municipio de Tapachula, el mapa de deslizamiento general fue zonificado en tres mapas específicos Zona Alta A, Zona Alta B y Zona Media.

En el siguiente mapa se puede observar el primer cuadrante de la zona alta de Tapachula que presenta problemas de deslizamientos de varios tipos, los cuales representan un riesgo para la población cercana a laderas y montañas muy pronunciadas (Figura 57).

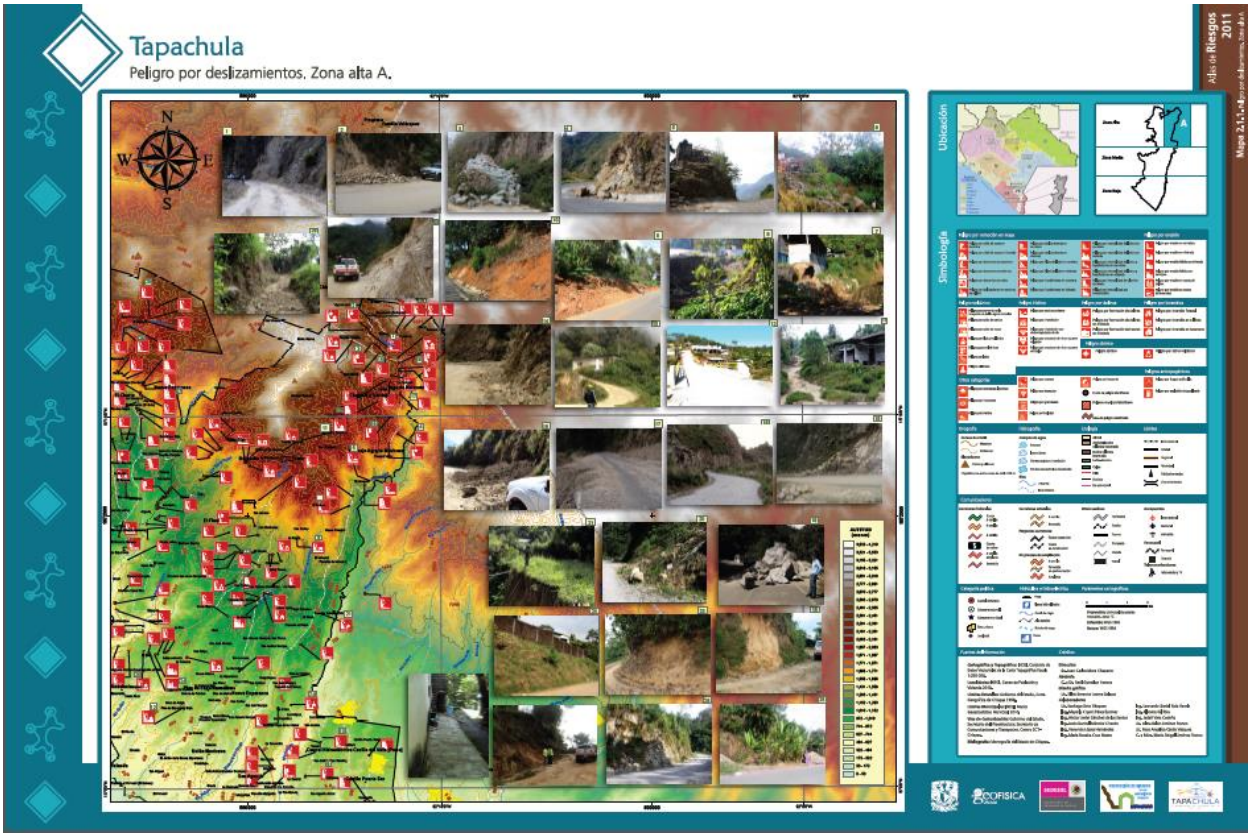


Figura 57. Mapa de peligros por deslizamientos Zona alta A

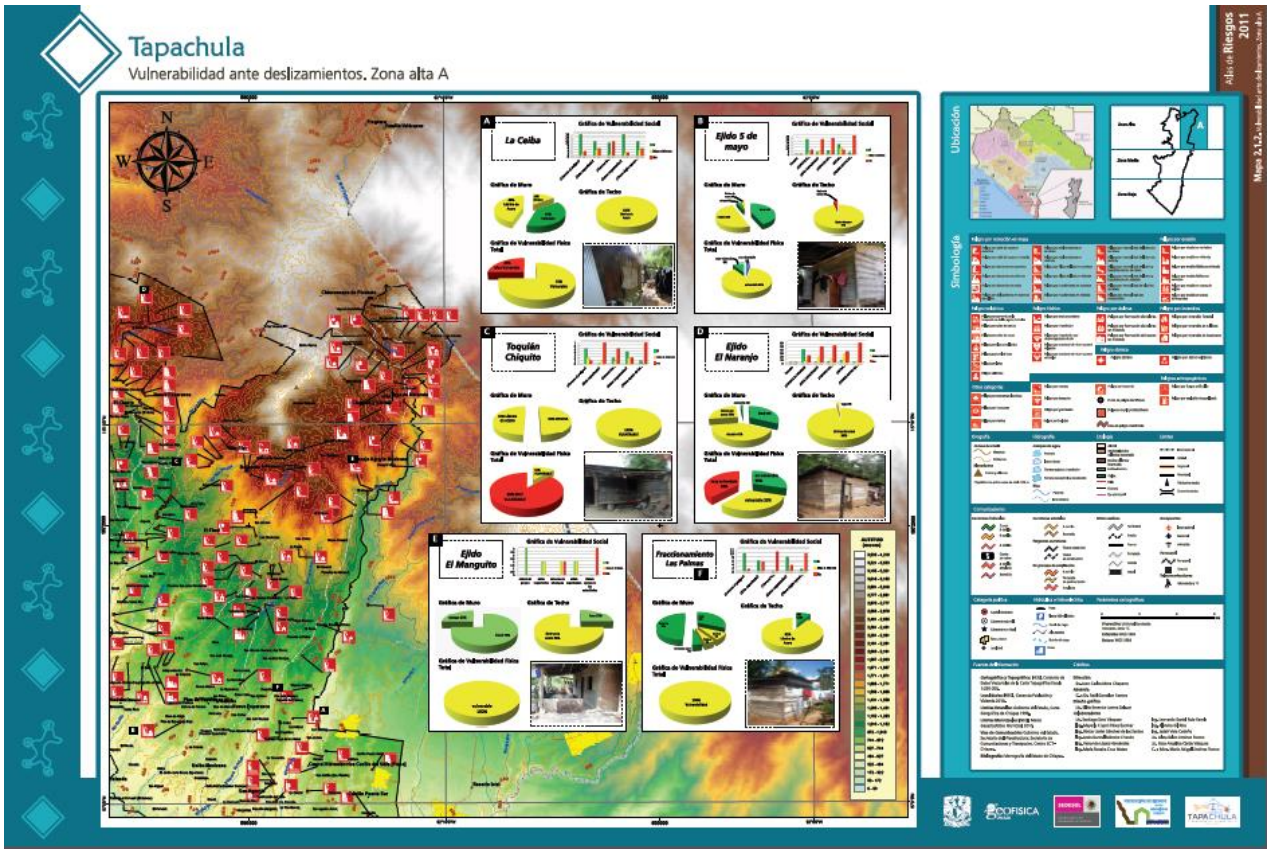


Figura 57.1. Mapa de vulnerabilidad por deslizamientos Zona alta A

En este segundo cuadrante de la zona alta de Tapachula se identifican deslizamientos, derrumbes, caídas de rocas y flujos de lodo, que se presentan en época de lluvias, provocando afectaciones en vías de comunicación y viviendas al pie de las laderas (Figura 58).

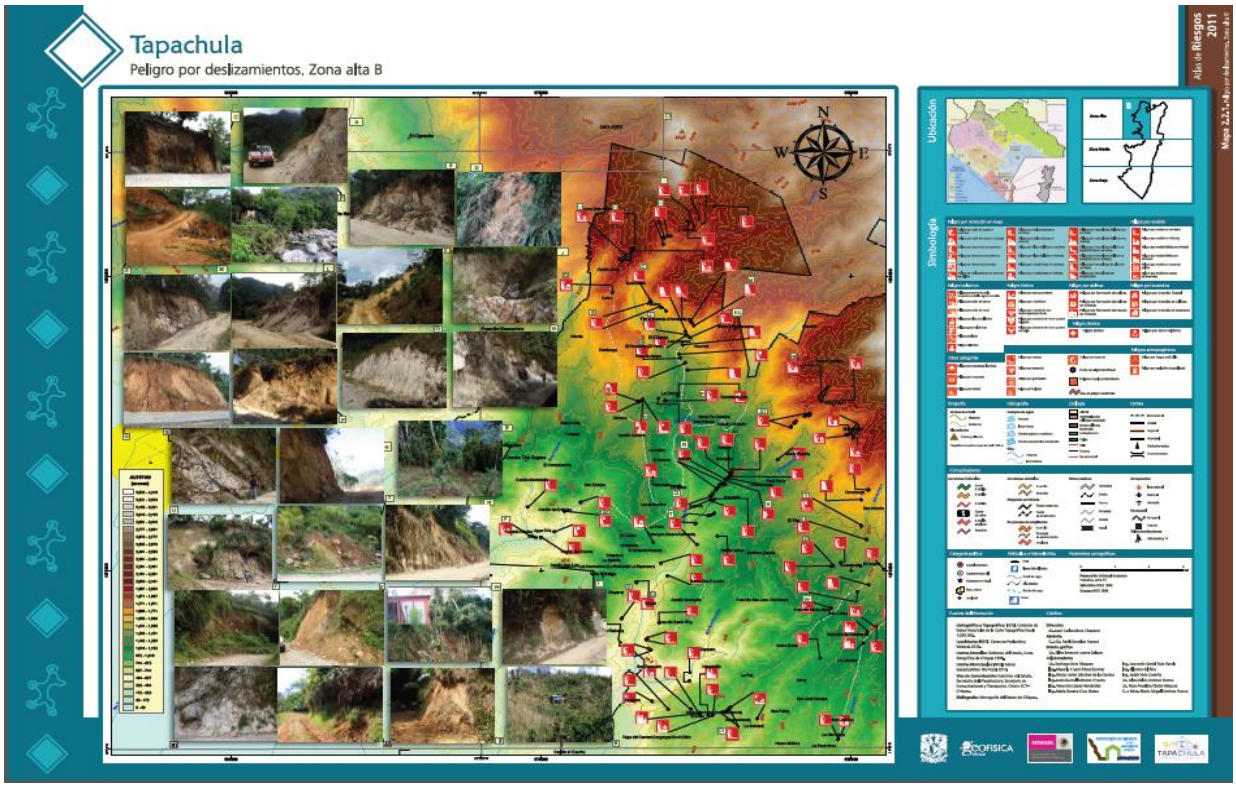


Figura 58. Mapa de peligros por deslizamientos Zona alta B

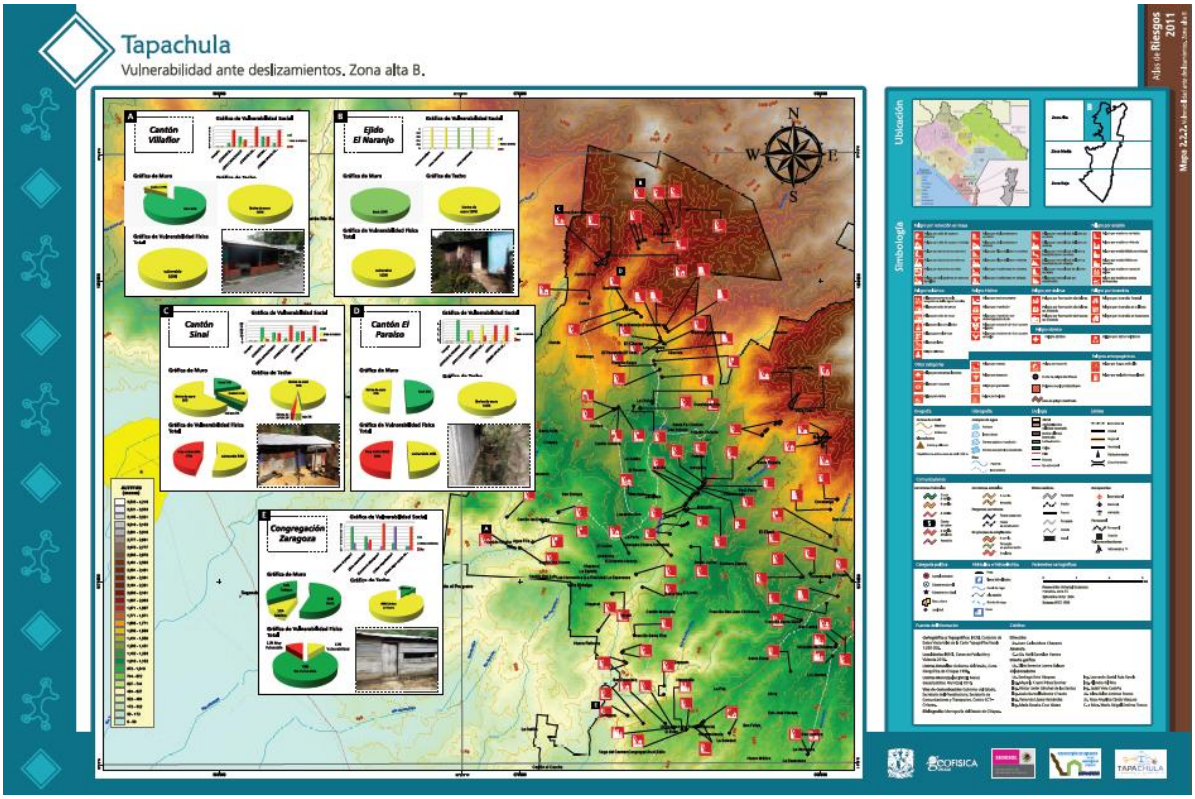


Figura 58.1 Mapa de vulnerabilidad por deslizamientos Zona alta B

El Tercer cuadrante hace referencia a la zona media del municipio donde podemos observar que los movimientos del terreno se presentan en mayor cantidad en la zona norte de este cuadrante, también podemos observar que la cabecera presenta menor incidencia de este tipo de peligros (Figura 59).

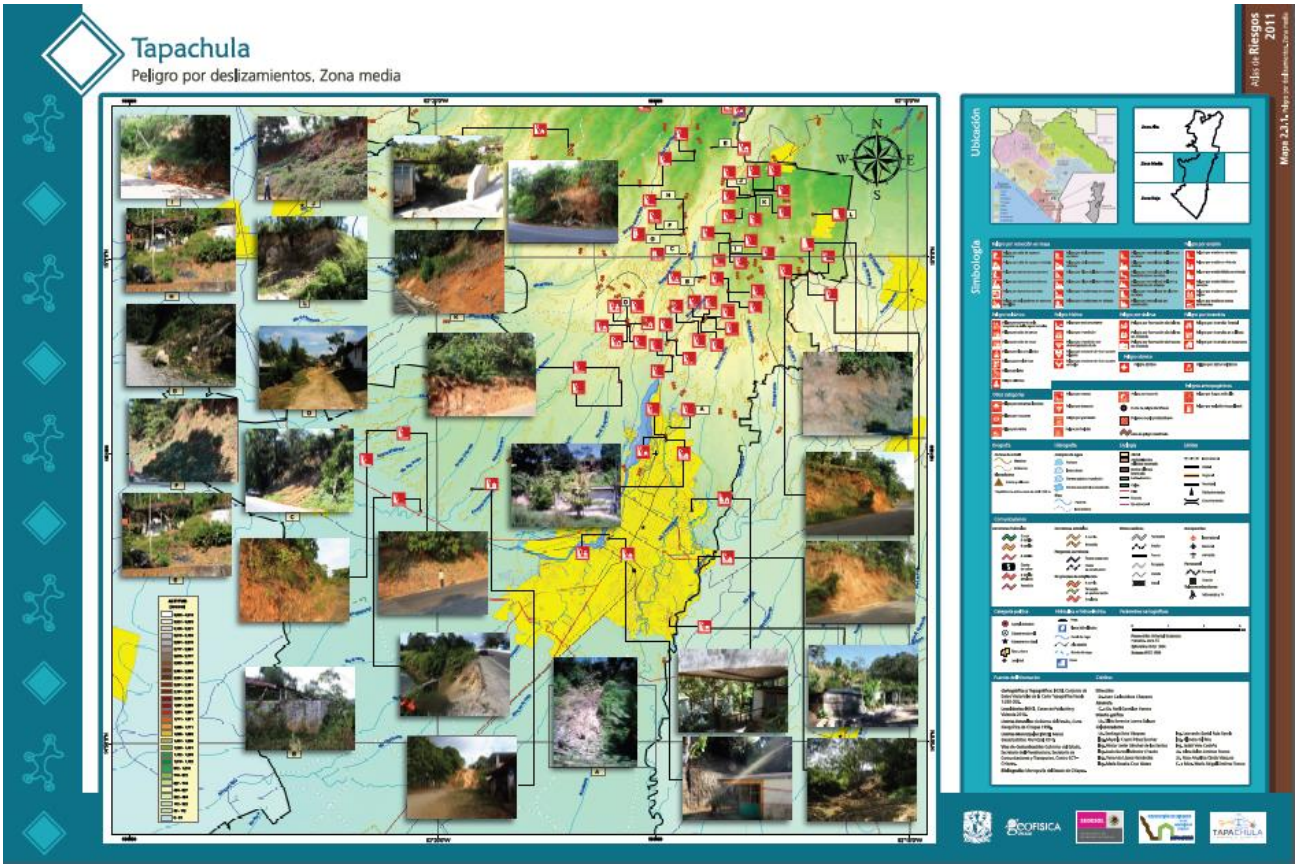


Figura 59. Mapa de peligros por deslizamientos Zona media

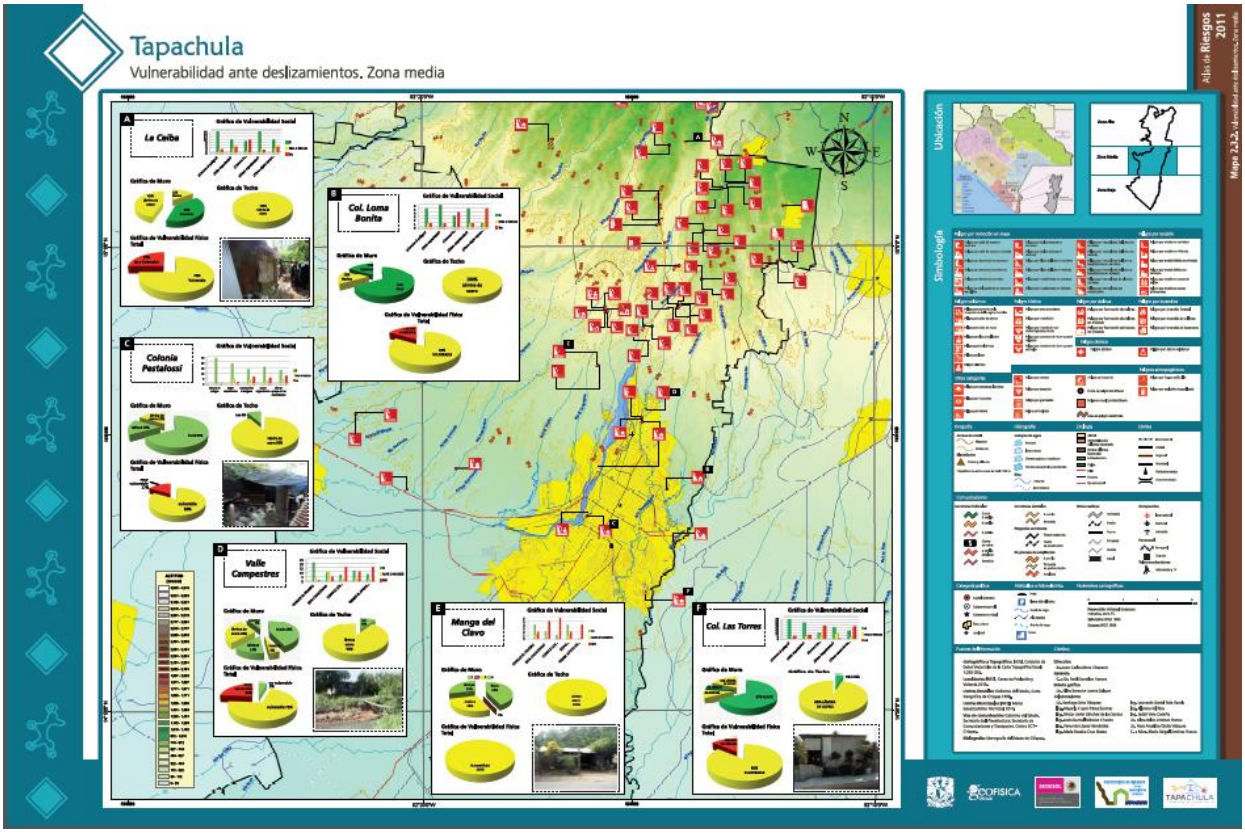


Figura 59.1 Mapa de vulnerabilidad por deslizamientos Zona media

5.1.6 Derrumbes

Las características topográficas, fisiográficas y de orografía, del municipio de Tapachula; se componen de zonas planas y de elevaciones extremas de 3000 msnmque permiten el desarrollo de este tipo de fenómenos, además de esta situación se tienen reportes en Protección Civil Estatal o municipal por afectaciones en localidades y carreteras(Figura 60).

Figura 60. Derrumbes en vías de comunicación

5.1.7 Flujos

Los Flujos son movimientos de terreno espacialmente continuos, ocurren en suelos o terrenos muy inclinados, que al saturarse de agua se desplazan ladera abajo arrastrando lo que encuentren a su paso, ocasionando daños a la cubierta vegetal y en muchos casos daños físicos en viviendas cercanas al movimiento.

Los flujos más grandes pueden transportar bloques de 10 m de diámetro o mayores. Las ondas más grandes tienden a alcanzar y “comerse” a las más pequeñas. Generalmente, el frente de onda contiene la concentración mayor de los fragmentos más grandes. El flujo ofrece resistencia al inicio, así como también se detiene súbitamente. Esto muestra su propiedad de esfuerzo de fluencia.

El flujo de lodos puede presentarse en zonas relativamente cercanas y más bajas con respecto al cauce de un escurrimiento, cuya cuenca está sujeta a erosión y deslizamientos, o al pie de taludes cuyo suelo superficial es muy erosionable.En un escurrimiento, una vez que el material se acumula y se encuentra disponible en el cauce, se requiere de una lluvia de magnitud suficiente para que la mezcla alcance concentraciones que originen el flujo de lodos. En una ladera, se requiere que el material alcance la saturación necesaria, en volumen y profundidad, para que se desplace talud abajo.

El comportamiento del flujo de lodos es similar a un flujo viscoso, cuya resistencia a fluir varía con la rapidez de deformación del material. Prácticamente, esto se puede traducir como: “A mayor

velocidad del flujo se presenta mayor resistencia". La propiedad que influye en este comportamiento es la viscosidad y la pendiente(Figura 61).

Figura 61. Ladera donde se observó flujo de lodo

En el municipio de Tapachula este tipo de peligros se presenta específicamente en la zona alta donde las laderas presentan una inclinación muy alta y los daños se presentan principalmente en zonas deforestadas afectando a viviendas ubicadas en laszonas.

En la siguiente imagen se puede observar la zona alta del municipio donde se presentanflujos de lodo con arrastre de rocas y sedimentos lo cual se debe a que el suelo es muy fácil de erosionar, el grado de inclinación de las laderas y las lluvias son muy intensas y prolongadas(Figura 62).

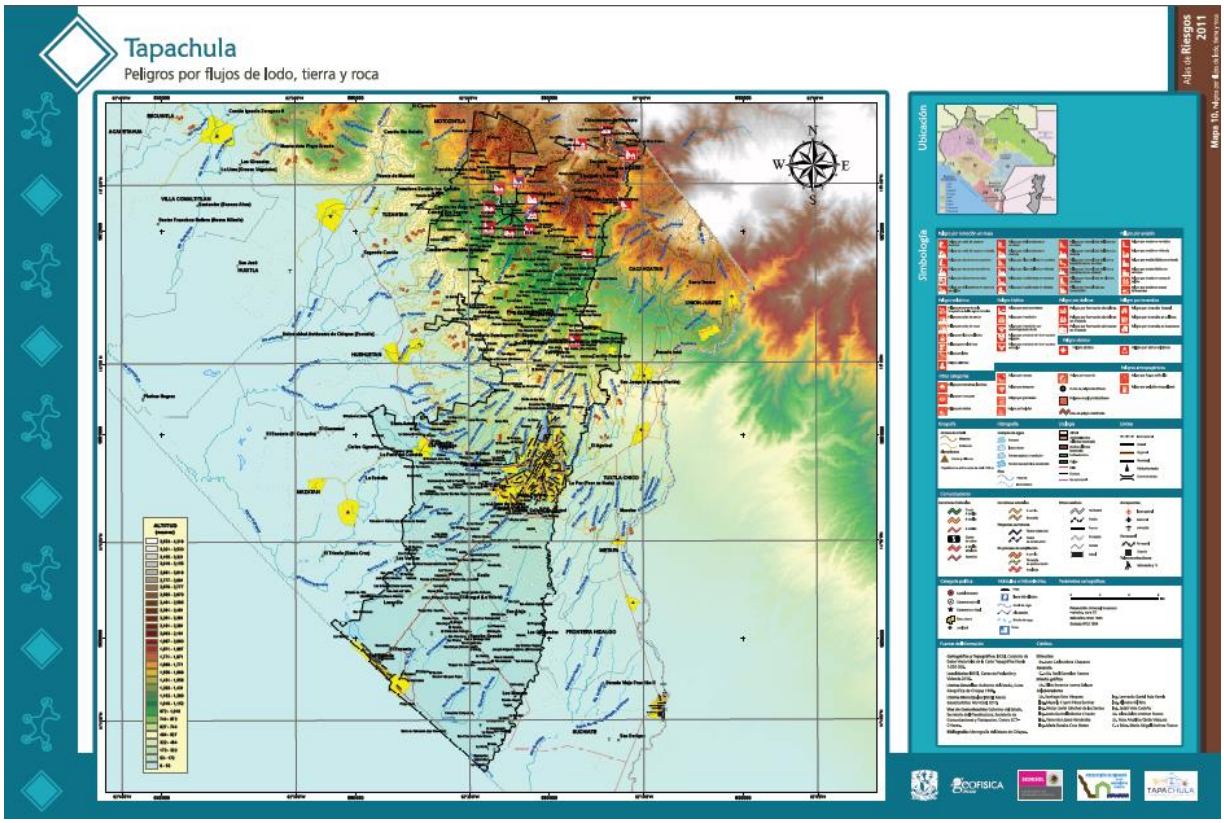


Figura 62. Mapa de peligros por flujos de lodo, tierra y roca.

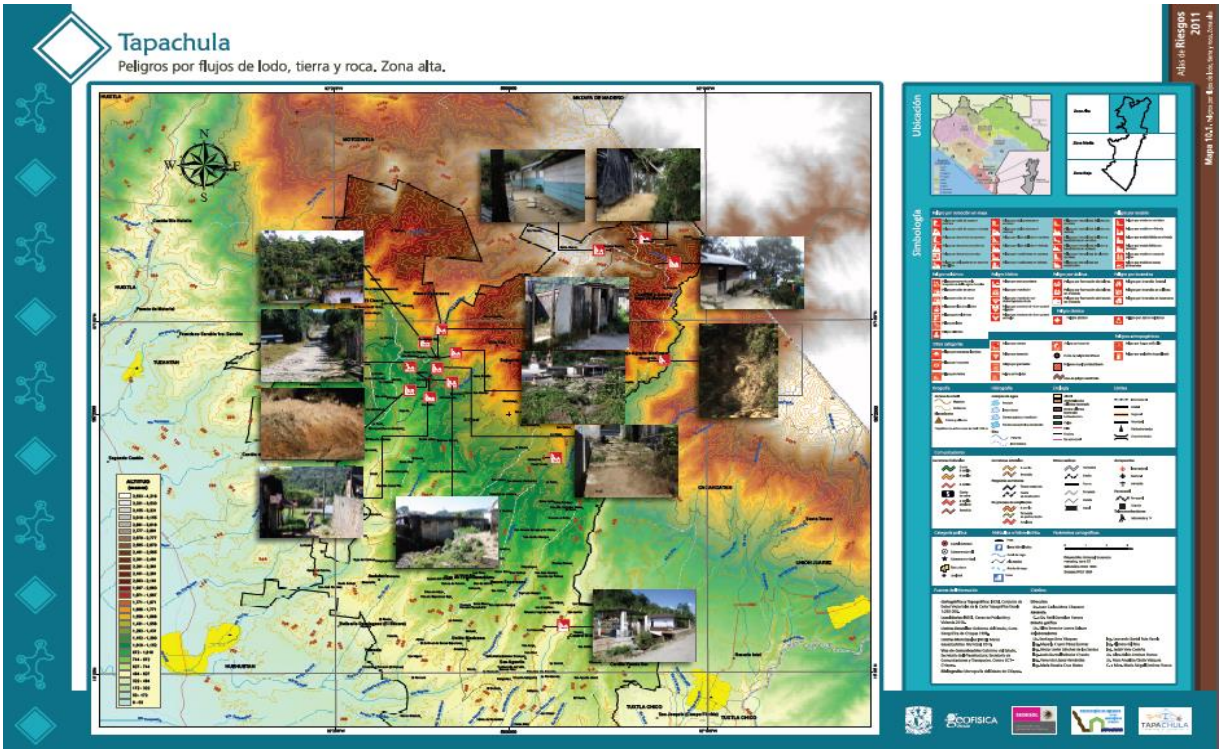


Figura 62.1. Mapa de peligros por flujos delodo, tierra y roca, zona Alta

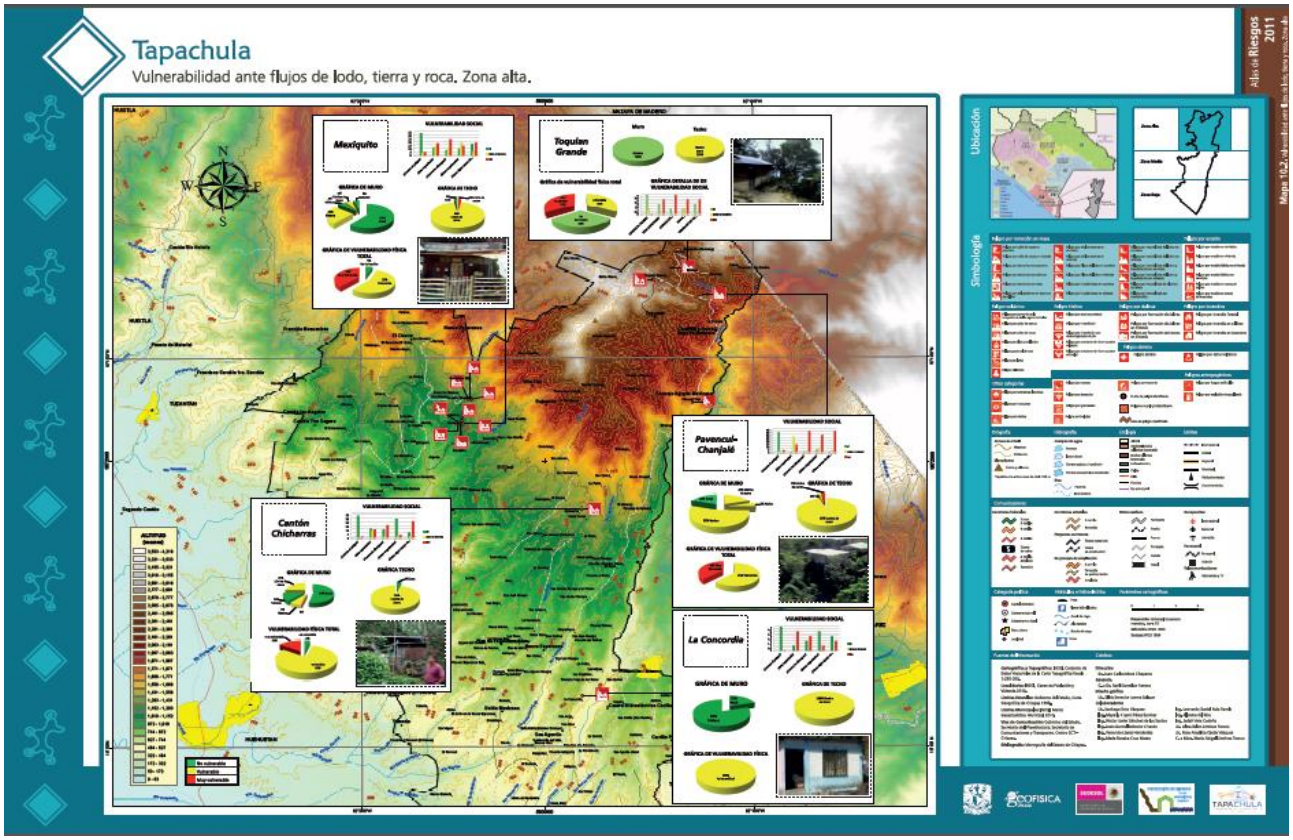


Figura 62.2. Mapa de vulnerabilidad por flujos delodo, tierra y roca, zona Alta

5.1.8 Hundimientos

En relación a este tipo de peligro, vulnerabilidad y riesgo existen evidencias mínimas en el municipio de Tapachula.

Un hundimiento de tierra es un movimiento de la superficie terrestre en el que predomina el sentido vertical descendente y que tiene lugar en áreas aclinales o de muy baja pendiente. Este movimiento puede ser inducido por distintas causas y se puede desarrollar con velocidades muy rápidas o muy lentas según sea el mecanismo que da lugar a tal inestabilidad.

Si el movimiento vertical es lento o muy lento (metros ó centímetros / año) y afecta a una superficie amplia (km2) con frecuencia se habla de subsidencia. Si el movimiento es muy rápido (m/s) se suele hablar de colapso.

En el municipio de Tapachula se presentanla aparición de un hundimiento ubicado en la localidad de san Juan nexapa, donde el fenómeno provocó daños a una vivienda, en cuyas características sobre sale su ubicación a unos 500 m. aprox. De un arroyo, sitio en el que además Se hundió un pozo como se muestra en la figura 62.3, dicho fenómeno solamente se reporto en esta localidad.

Figura 62.3Punto de hundimiento en loc. Juan nexapa.

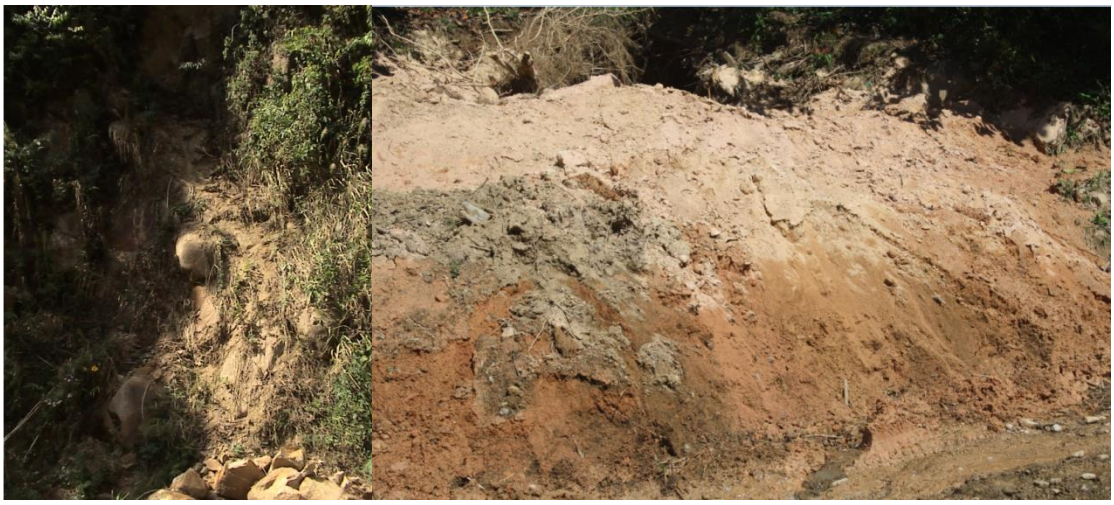


Figura 62.4 Flujos de lodos zona alta.

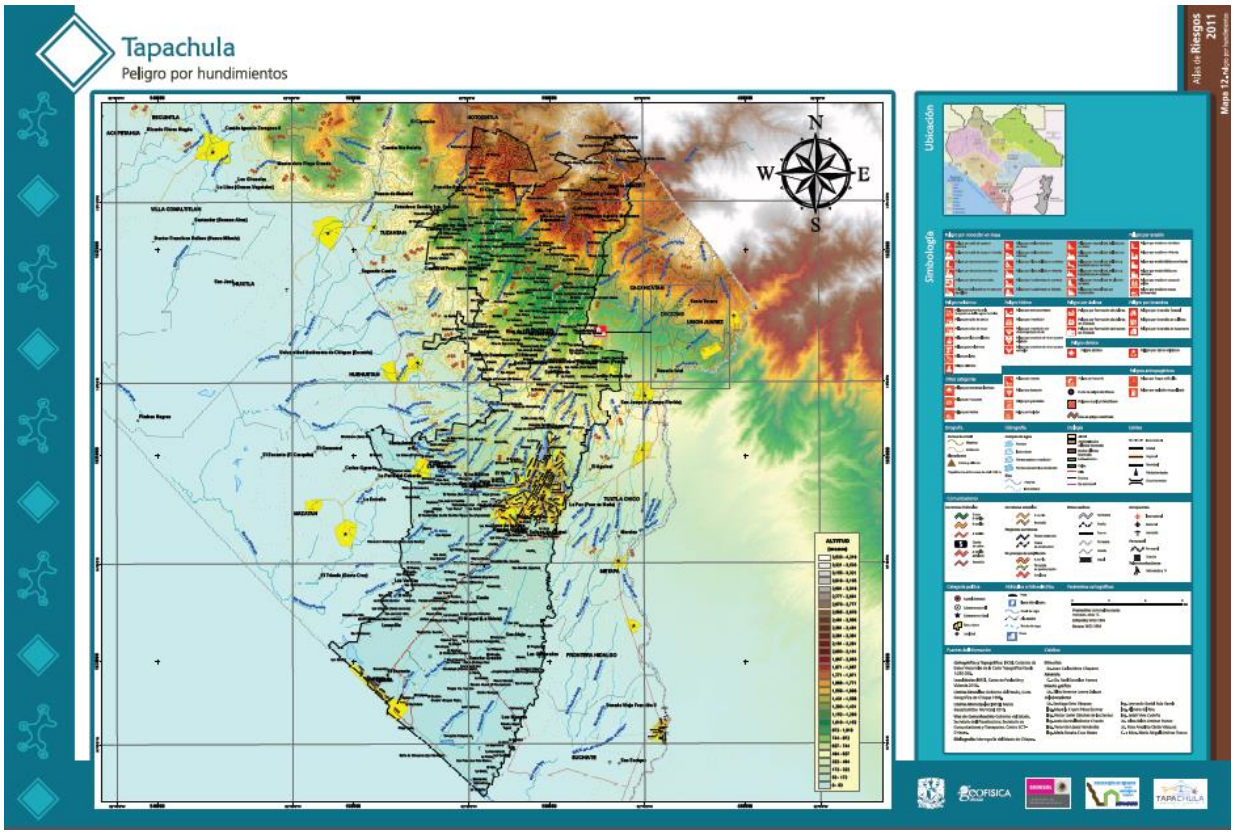


Figura 62.5 Mapa de peligros por hundimiento

5.1.9 Erosión

La erosión es un proceso de desgaste, desprendimiento y arrastre del suelo por acción del agua o del viento.

En el municipio de Tapachula se presenta una problemática media, considerableasociada principalmente a problemas de erosión hídrica(Figura 63),especialmente motivadas por los ríos principales. Este fenómeno se presenta principalmente en las zonasmedia y alta del municipio de Tapachula, principalmente este fenómeno se observa con mayor intensidad en la cabecera del municipio donde la población se encuentra asentada sobre los márgenes de los ríos (Figura 64).

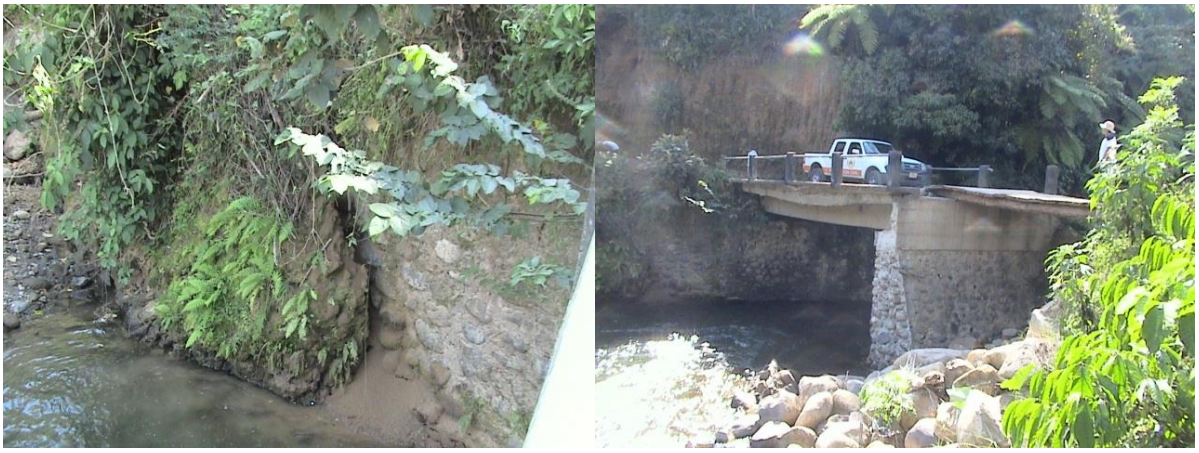


Figura 63. Erosión hídrica

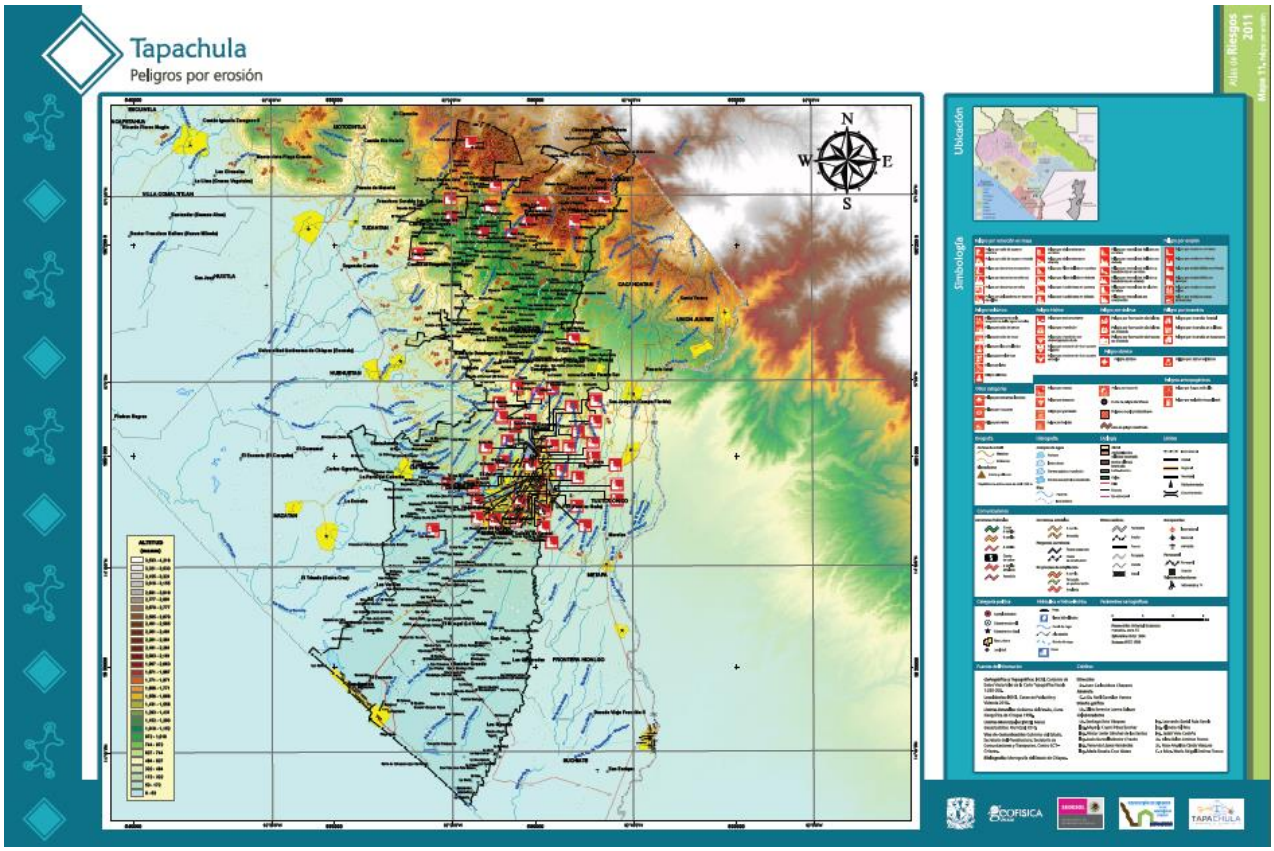


Figura 64. Mapa de peligros por erosión

En la zona Alta del municipio encontramos zonas de manifestación de erosión hídrica por escorrentías asociado a la deforestación que existe en la zona, dejando sin la cubierta vegetal propiciando una erosión alta la cual causa daños a las viviendas de la población (Figura 65)

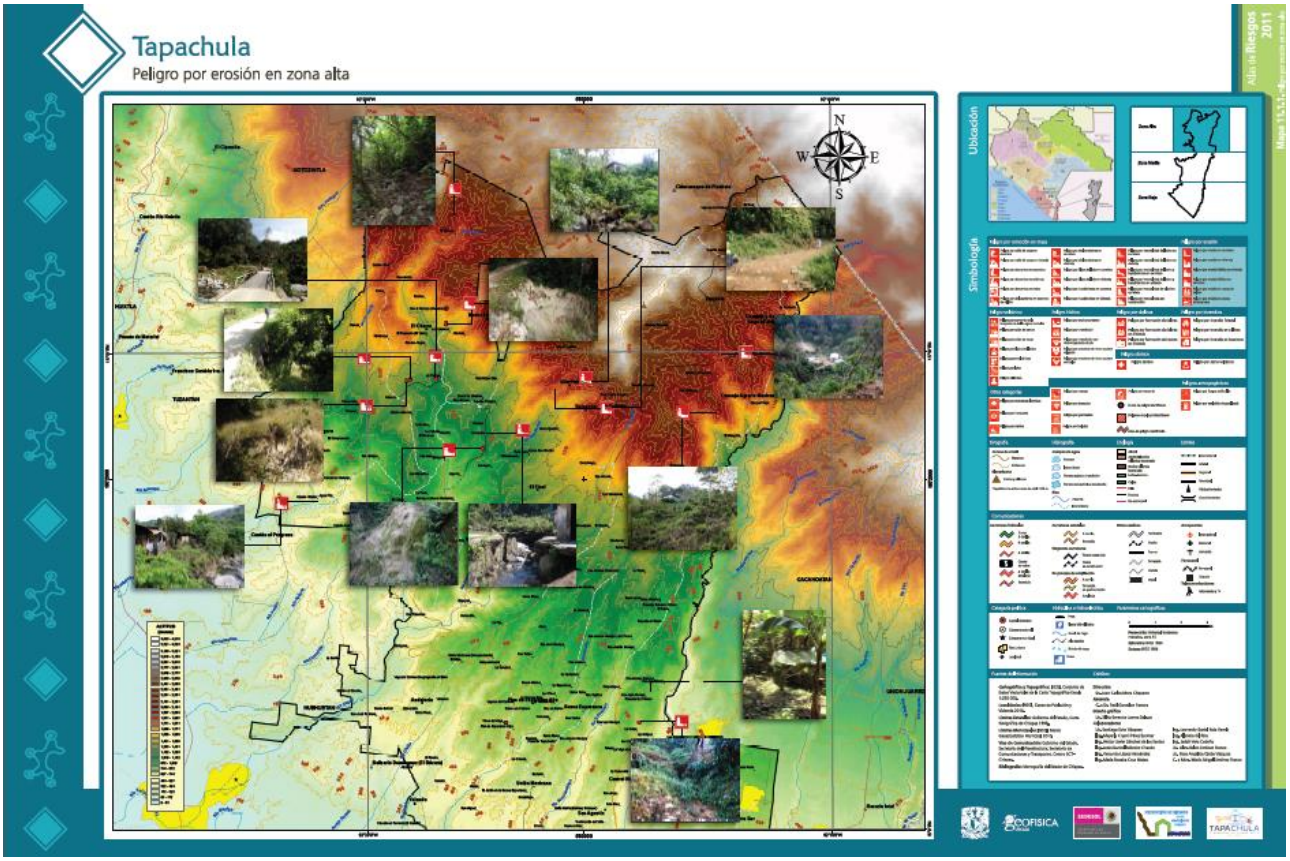


Figura 65. Mapa de peligros por erosión Zona alta

Figura 65.1. Pruebas de erosion tanto en la zona alta y media

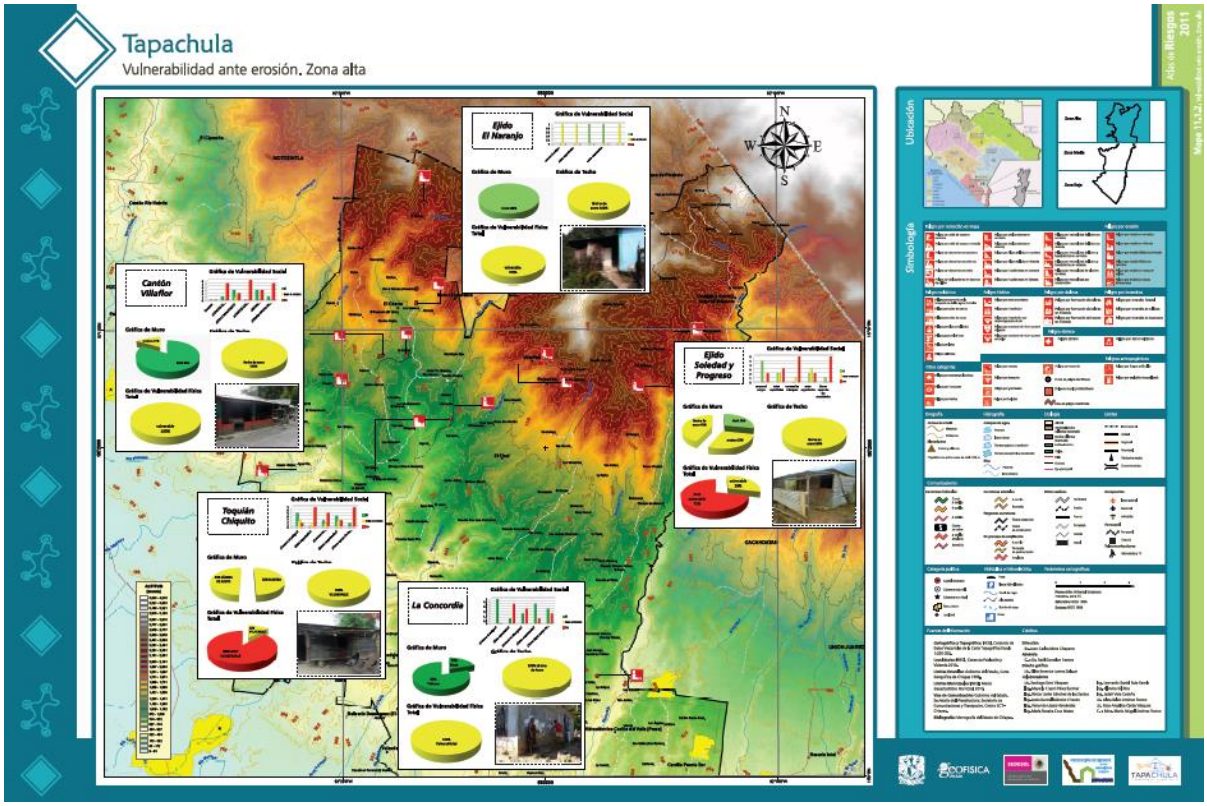


Figura 65.2 Mapa de vulnerabilidad por erosión Zona alta

El Fenómeno de erosión hídrica se presenta conmayor frecuencia en la zona media del municipio donde podemos observar que existen un aumento de zonas afectadas en la cabecera municipal por lo tanto existen un número de viviendas afectadas y a su vez una mayor cantidad de población afectada. Para poder observar mejor esta zona se dividió en cuatro zonas de las cuales el fenómeno se hizo presente solo en las Zonas medias A, C y D (Figuras 66, 67 y 68)

Figura 66. Mapa de peligros por erosión zona media A

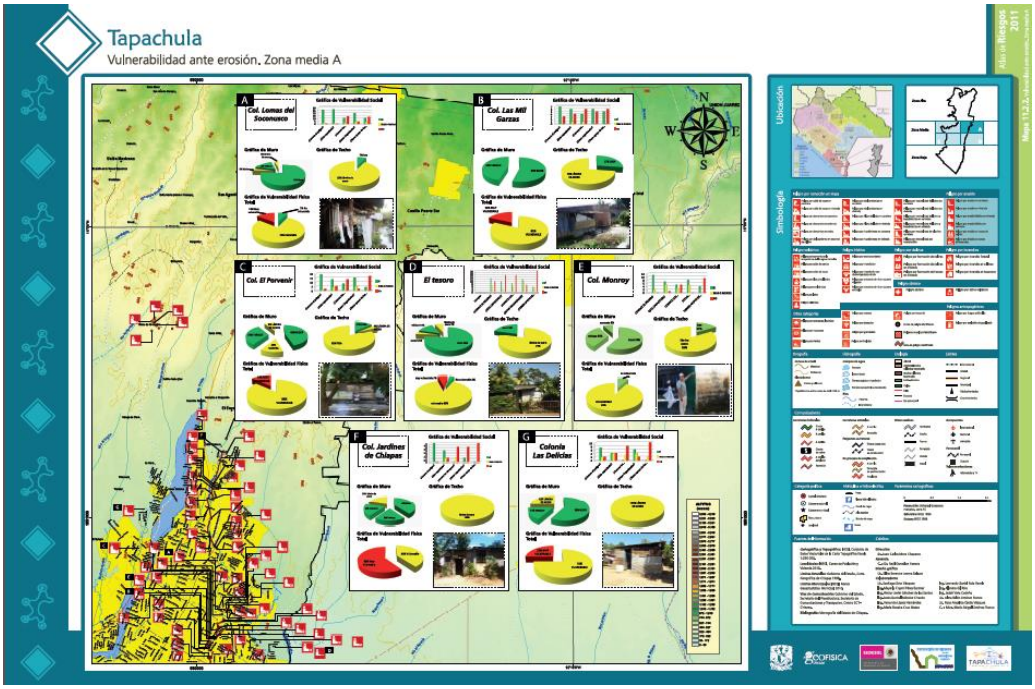


Figura 66.1. Mapa de vulnerabilidad por erosión zona media A

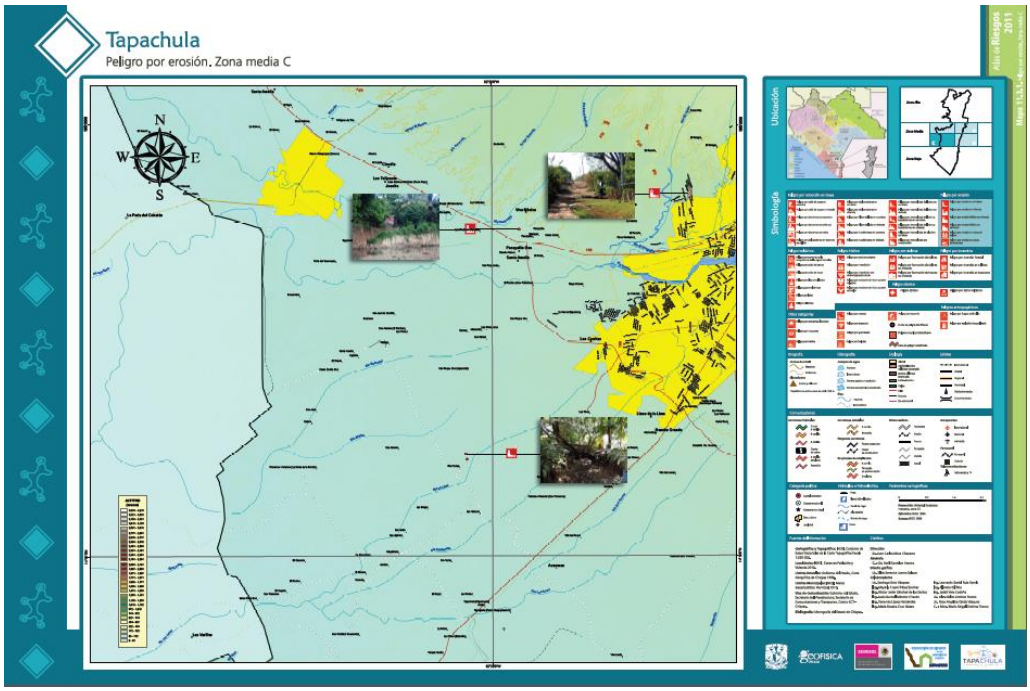


Figura 67. Mapa de peligros por erosión Zona media C

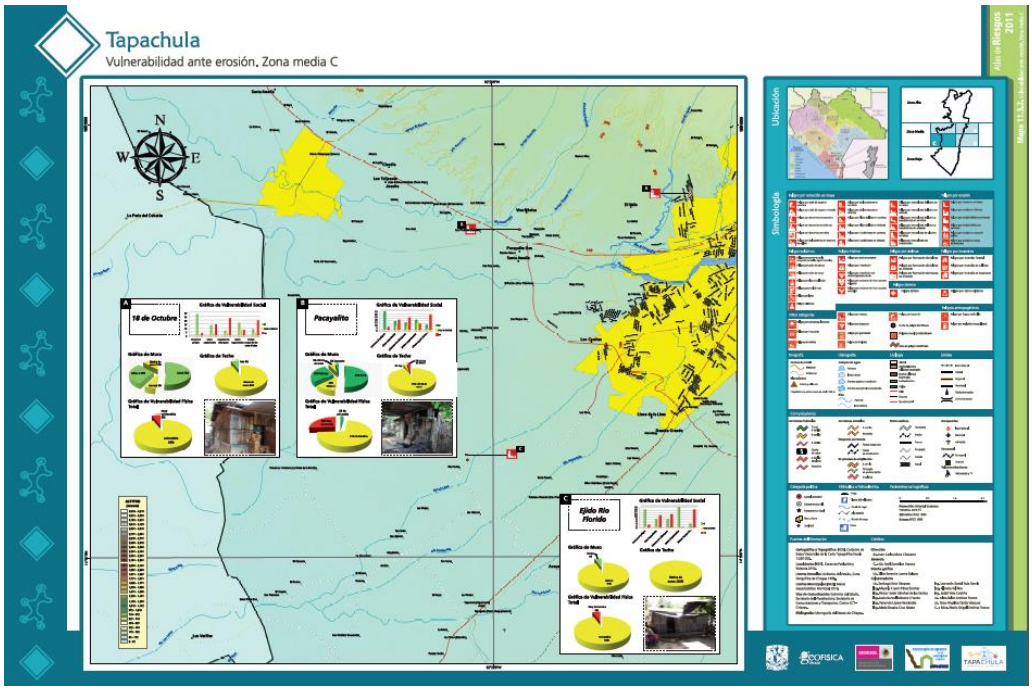


Figura 67.1. Mapa de vulnerabilidad por erosión Zona media C

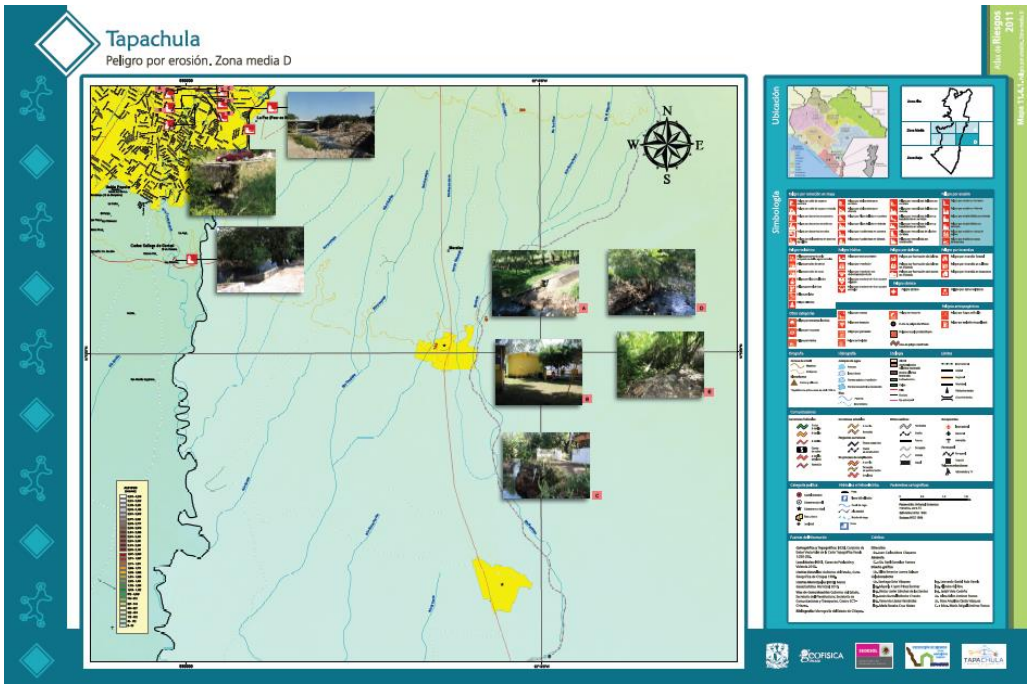


Figura 68. Mapa de peligros por erosión Zona media D

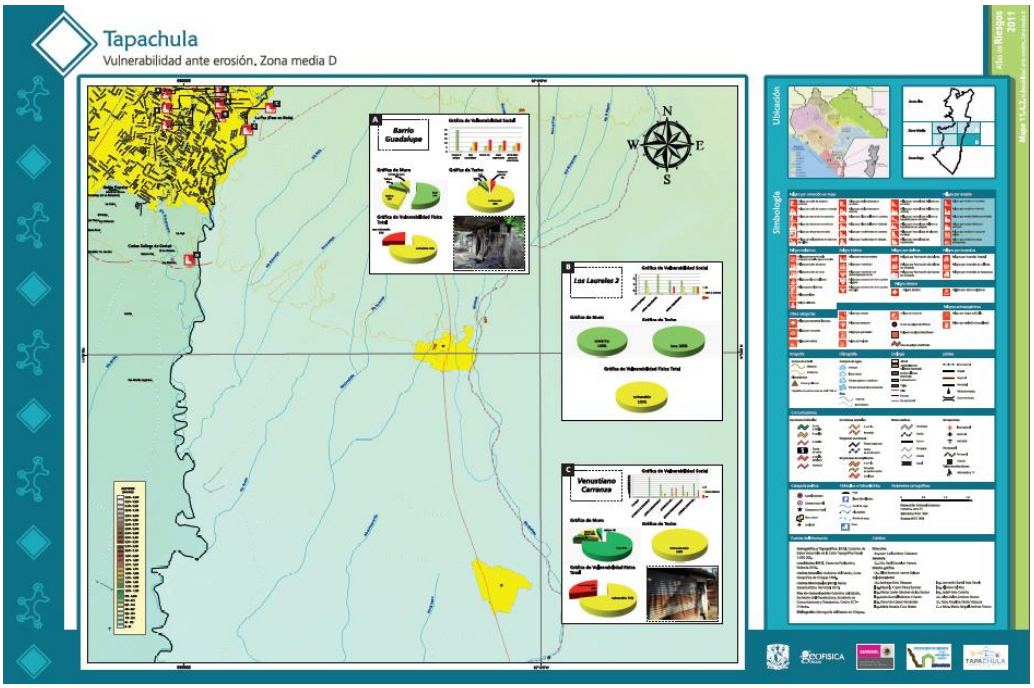


Figura 68.1 Mapa de vulnerabilidad por erosión Zona media D

5.2 Fenómenos Hidrometeorológicos

Los fenómenos hidrometeorológicos son aquellos eventos atmosféricos que por su elevado potencial energético, frecuencia, intensidad y aleatoriedad representan una amenaza para el ser humano y el medio ambiente (*Strahler, 2005*). En México, los riesgos meteorológicos son muy abundantes y frecuentes, debido a su ubicación geográfica, situado en una zona de convergencia de eventos atmosféricos de diversa naturaleza, como son las tormentas tropicales, los huracanes, las ondas del Este, los procesos monzónicos, las masas de aire frío y caliente, las corrientes en chorro, efectos del sistema atmosférico El Niño, entre otros.

Un lugar de especial importancia dentro de estos fenómenos, lo ocupan las inundaciones. Éstas suponen uno de los peligros naturales de mayor importancia en México, produciendo elevadas pérdidas humanas y de miles de millones de pesos en daños a infraestructura y vivienda. Los fenómenos hidrometeorológicos como las lluvias intensas y las consecuentes inundaciones y deslaves se presentan principalmente en la temporada de ciclones, no obstante fuera de esta temporada, eventualmente es posible su ocurrencia. Los daños de estos fenómenos hidrometeorológicos representan en promedio 4,500 millones de pesos anuales (CNA, 2001). Es importante señalar que se considera como inundación, al flujo o a la invasión de agua por exceso de escurrimientos superficiales o por la acumulación de éstos en terrenos planos, ocasionada por la falta o insuficiencia de drenaje pluvial, tanto natural como artificial (Baró et al., 2007). En general, la magnitud de una inundación, provocada por eventos de origen Hidrometeorológico, depende de la intensidad de la lluvia, de su distribución en el espacio y tiempo, del tamaño de las cuencas hidrológicas afectadas, así como de las características del suelo y del drenaje natural y artificial de las cuencas (Bremer y Lara, 2001). Como estas inundaciones se producen frecuentemente en las zonas llanas, donde se dan los mayores asentamientos humanos, fácilmente se puede deducir que éstas provocan importantes daños humanos y socioeconómicos, además de los de naturaleza ambiental.

5.2.1 Inundaciones

Se entiende por inundación a aquel evento que debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta, o falla de alguna estructura hidráulica provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos o el mar mismo, generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay y, generalmente, daños en la población, agricultura, ganadería e infraestructura.

El peligro, vulnerabilidad y riesgo por este tipo de fenómenos es de gran consideración en el municipio. De manera más puntual en la zona sur del municipio por canales, ríos y en la costa por el mar, en la cabecera municipal las afectaciones se generan por la presencia de los ríos: Coatán, Coatancito, Cahoacán y el Texcuyuapan.

En este mapa se observan zonas de inundación por desborde de los principales ríos, que atraviesan el municipio de Tapachula. Afectando principalmente las zonas media y baja, dejando en menor proporción la zona alta (Figura 69).

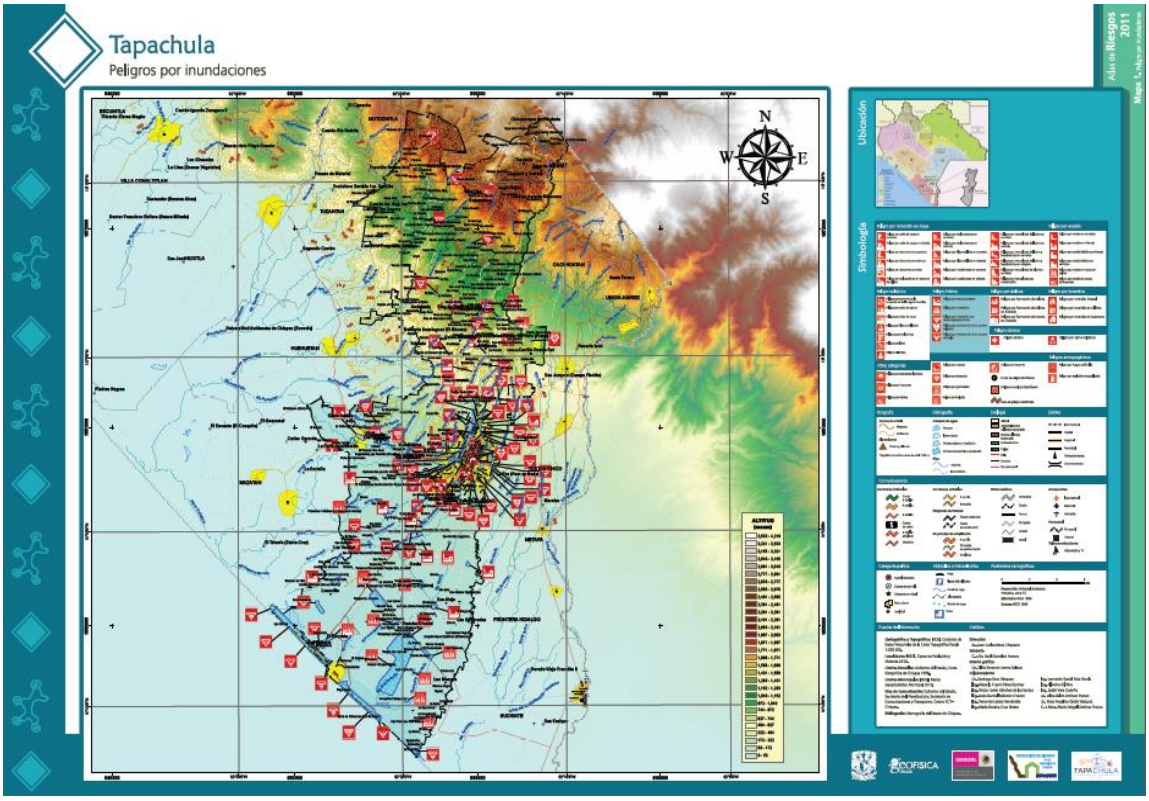


Figura 69. Mapa de peligros por inundaciones

Se determinaron las zonas de alto, medio y bajo peligro de acuerdo a las intensidades que las inundaciones se han presentado de manera histórica en el municipio (Figura 69.1).

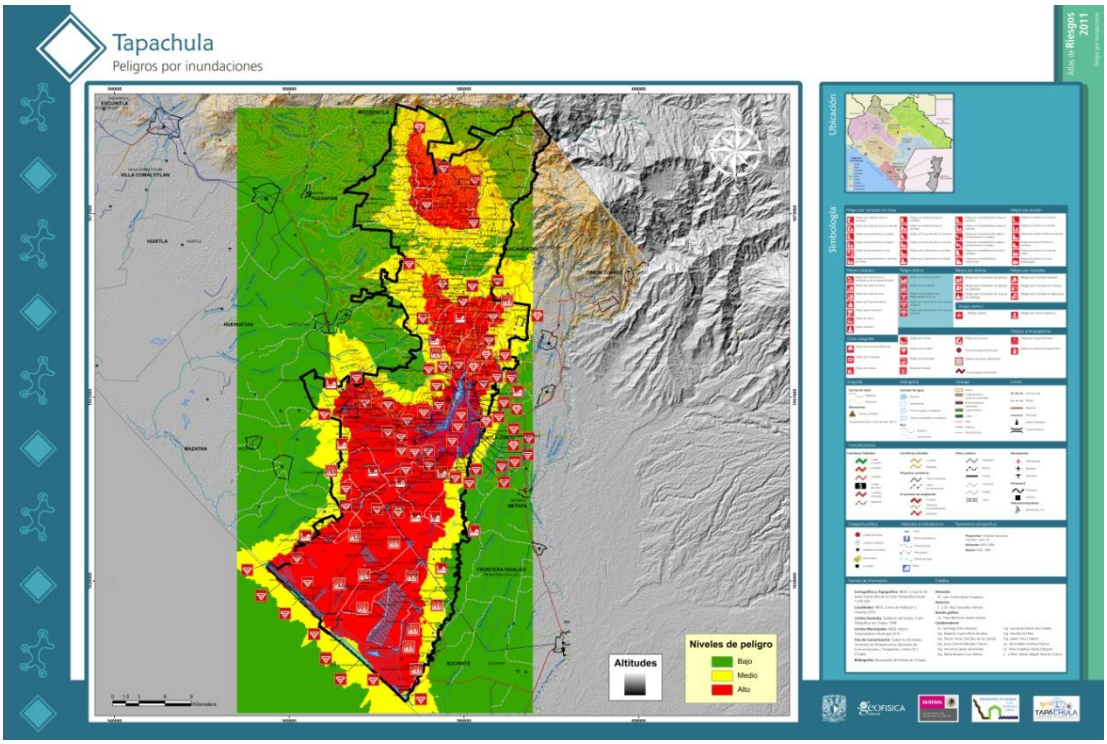


Figura 69.1. Mapa de niveles de peligro

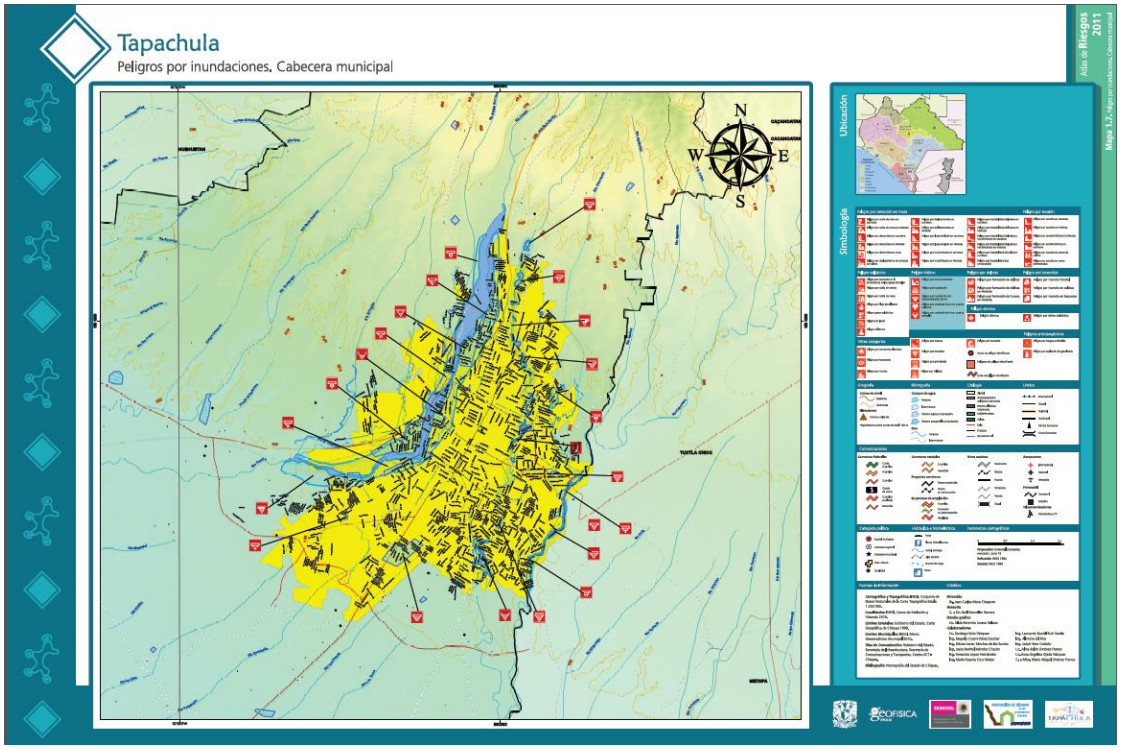


Figura 69.2. Mapa de peligros por inundaciones cabecera.

En la zona Alta del municipio de Tapachula se presenta el fenómeno de inundación debido al desbordamiento de los ríos lo cual es provocado por la acumulación de basura o de materia orgánica provenientes de las zonas de cultivo; causando daños materiales en viviendas (Figura 70).

Figura 69.3 Pruebas de nivel de inundación

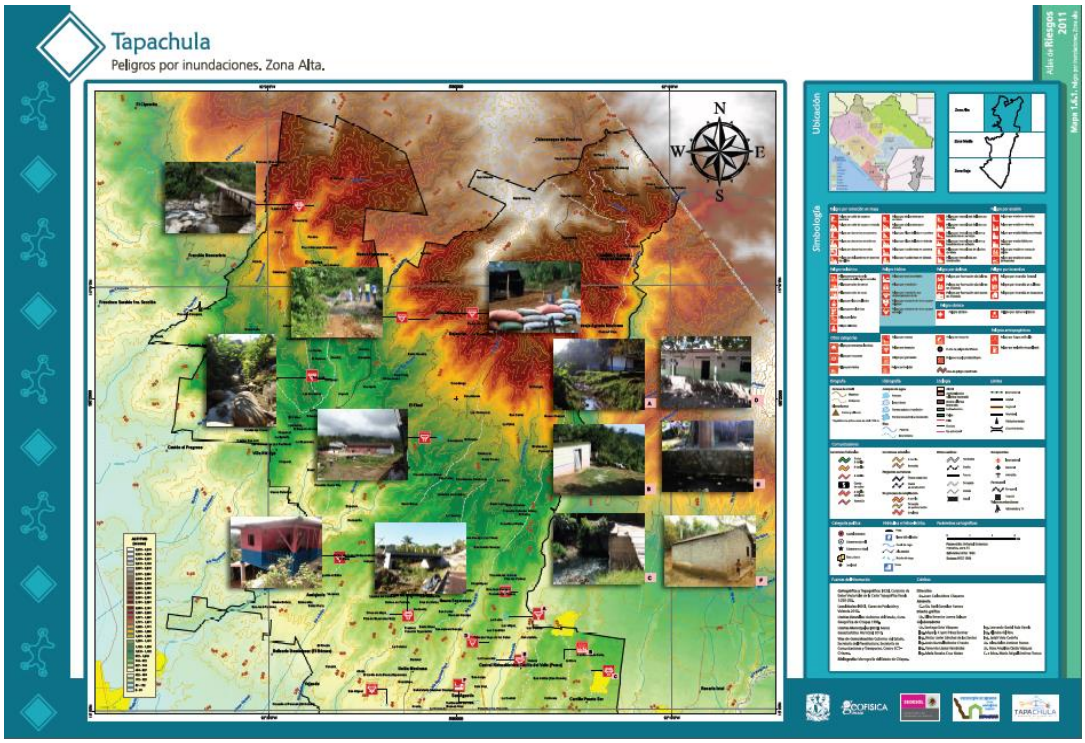


Figura 70. Mapa de peligros por inundaciones zona Alta

Se logra identificar que en esta zona no se presenta peligro alto de acuerdo a los niveles que se reconocieron en campo (Figura 70.1).

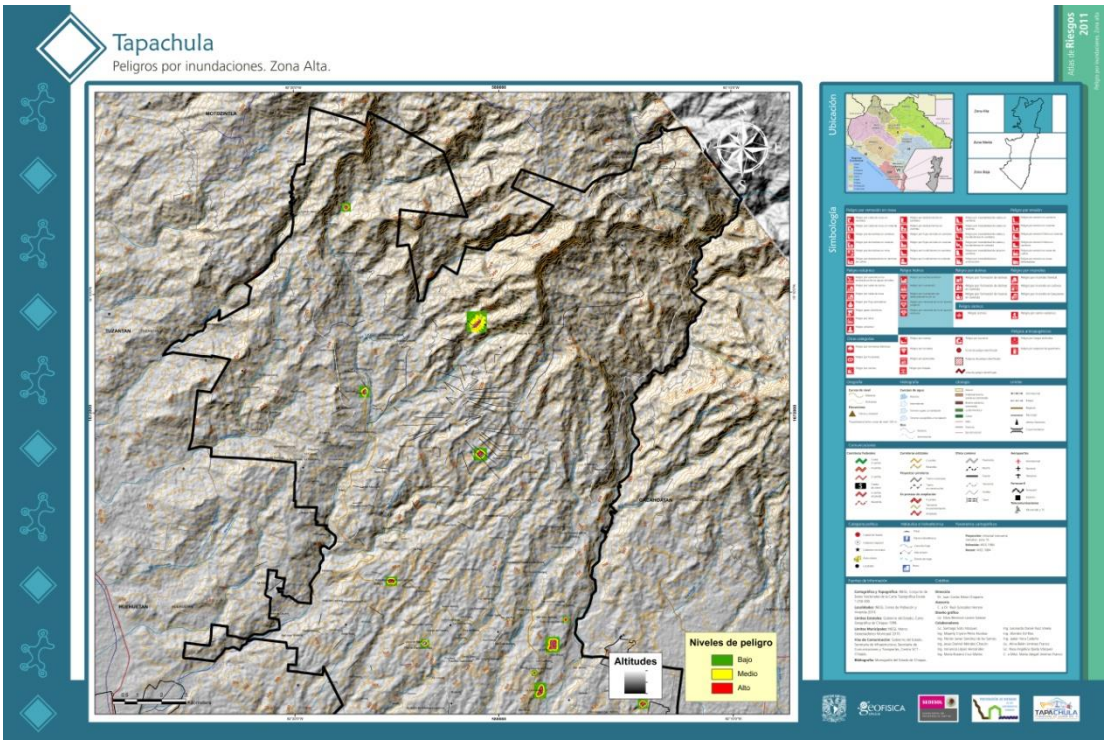


Figura 70.1. Mapa de niveles de peligro en la zona Alta

En la zona media se pueden observar una mayor cantidad de zonas afectadas por inundaciones provocadas por desbordamientos de ríos las cuales son provocadas por acumulación de basura y por la reducción de los márgenes de los ríos debido al asentamiento de viviendas en estas zonas. Por lo cual la población aumenta el riesgo de sufrir una inundación al asentar sus viviendas sobre las orillas del rio. Ante esta situación se ha realizado el estudio de la vulnerabilidad y el riesgo presente en Tapachula, y se encuentran niveles críticos de inundación desde 30 cm. hasta de 1.30 m. De la misma manera se reconocen diversos polígonos de inundación, que representan mayor cantidad a diferencia de la zona alta del municipio, se considera el nivel de peligro de medio a alto (Figura 71).

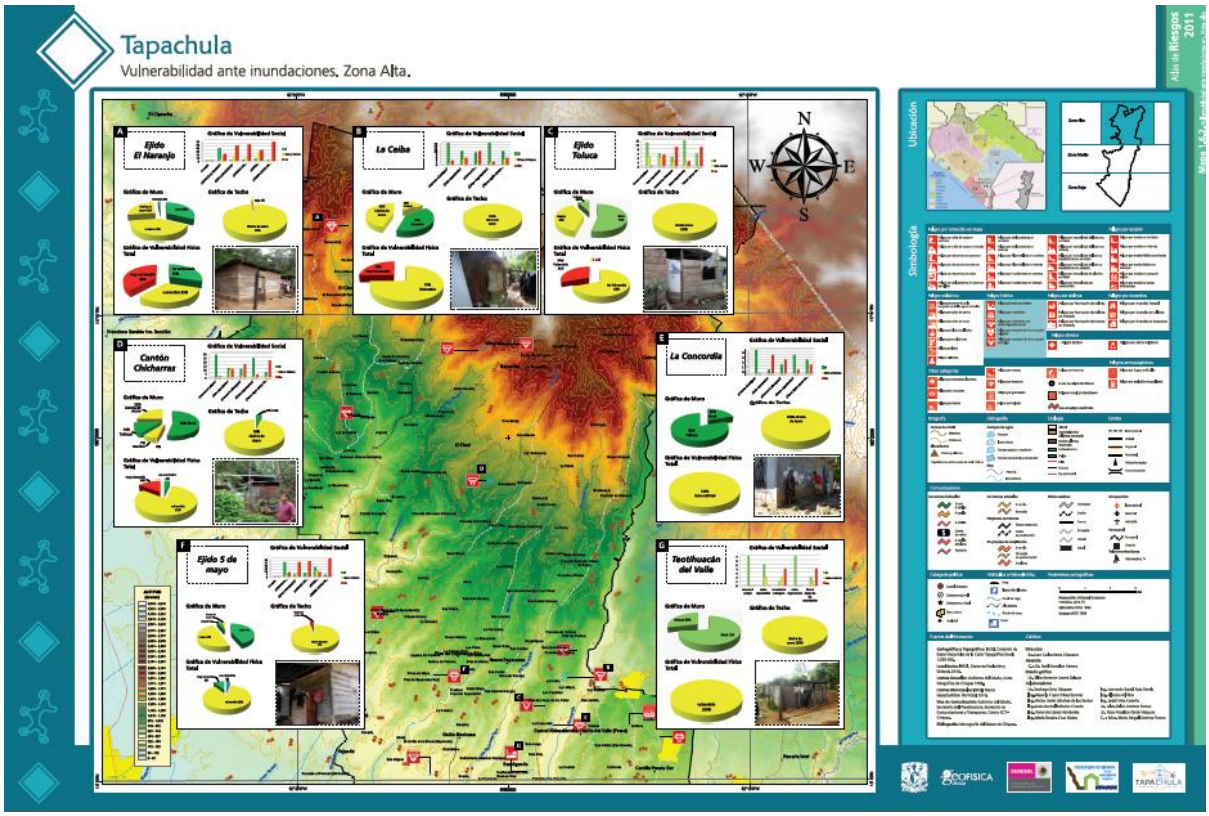


Figura 70.2. Mapa de vulnerabilidad por inundaciones zona Alta

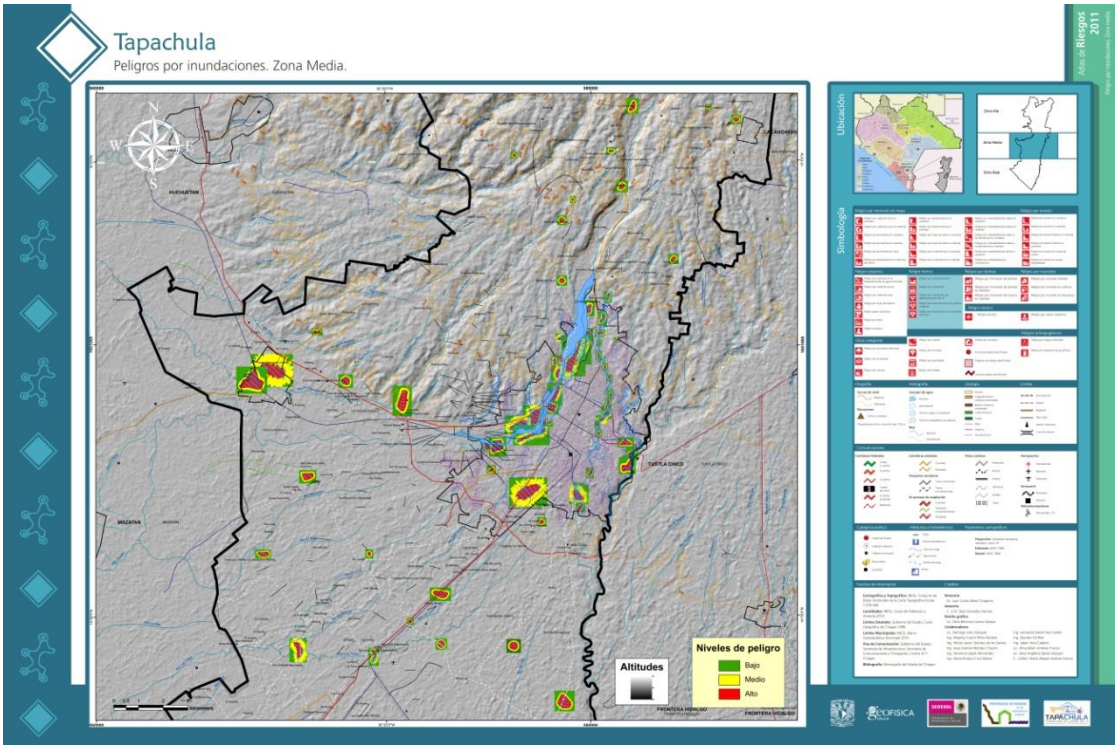


Figura 71. Mapa de niveles de peligro en la zona media

Para una mejor observación esta zona fue dividida en cuadrantes (Figuras 72, 73, 74 y 75) los cuales nos dejan ver que la mayor cantidad de problemas por inundación por desbordamiento de ríos se ubican en las zonas donde existe una mayor cantidad de población asentada en este caso la cabecera municipal ya que debido a la falta de planeación urbana, la mayoría de las colonias asentadas en los márgenes de los ríos son afectadas cada año por inundaciones dejando miles de pesos en pérdidas materiales. Algunas de las colonias más afectadas son La Ceiba, Campestre Corlay, Democrática Magisterial, Obrera, Xochimilco, Venustiano Carranza, San Antonio Cahoacán y varias zonas de la colonia centro.

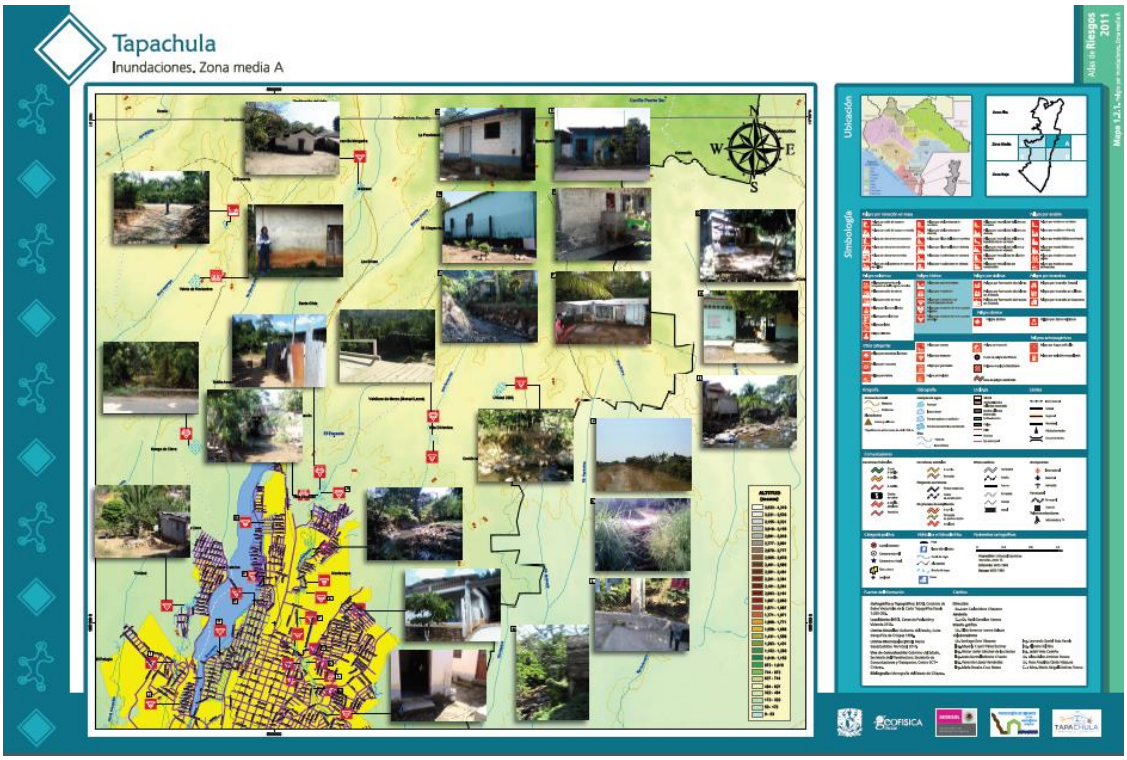


Figura 72. Mapa de peligros por inundaciones zona media A

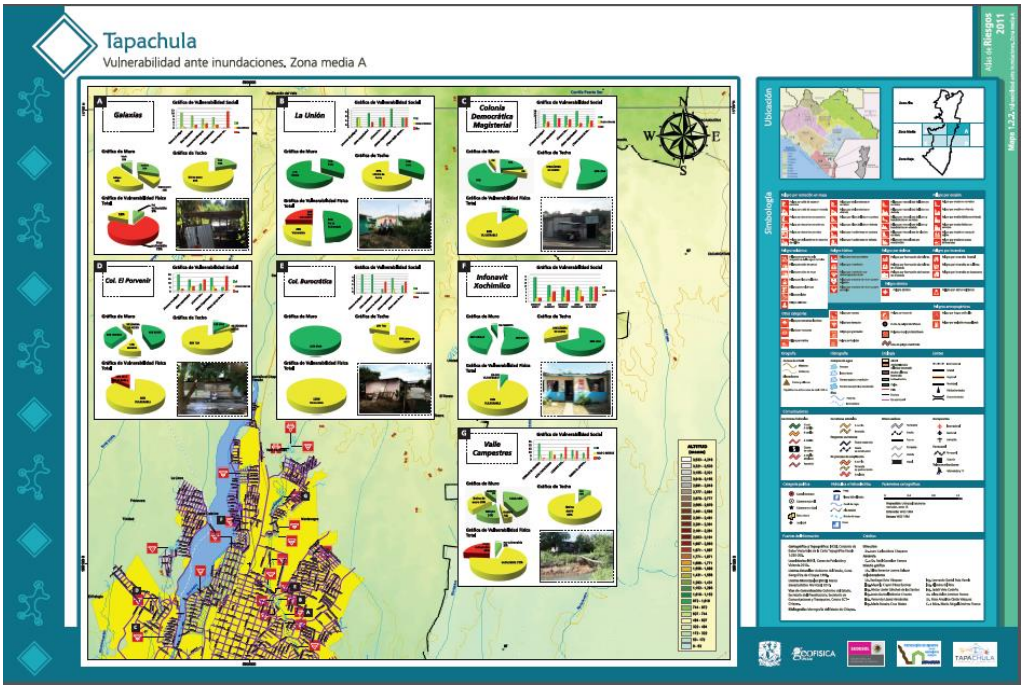


Figura 72.1 Mapa de vulnerabilidad por inundaciones zona media A

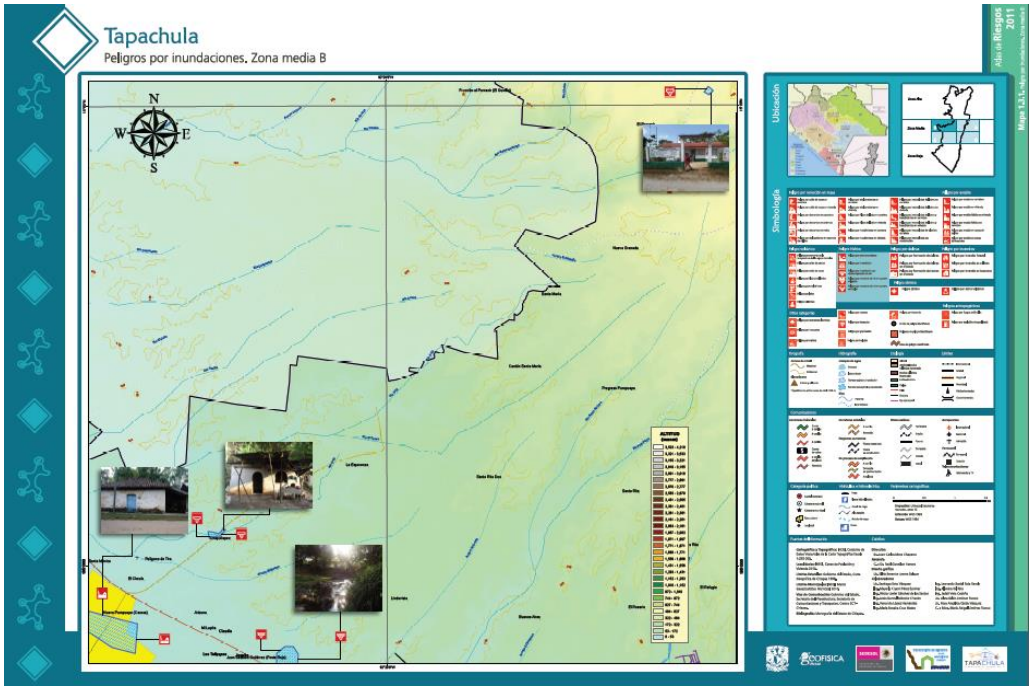


Figura 73. Mapa de peligros por inundaciones zona media B

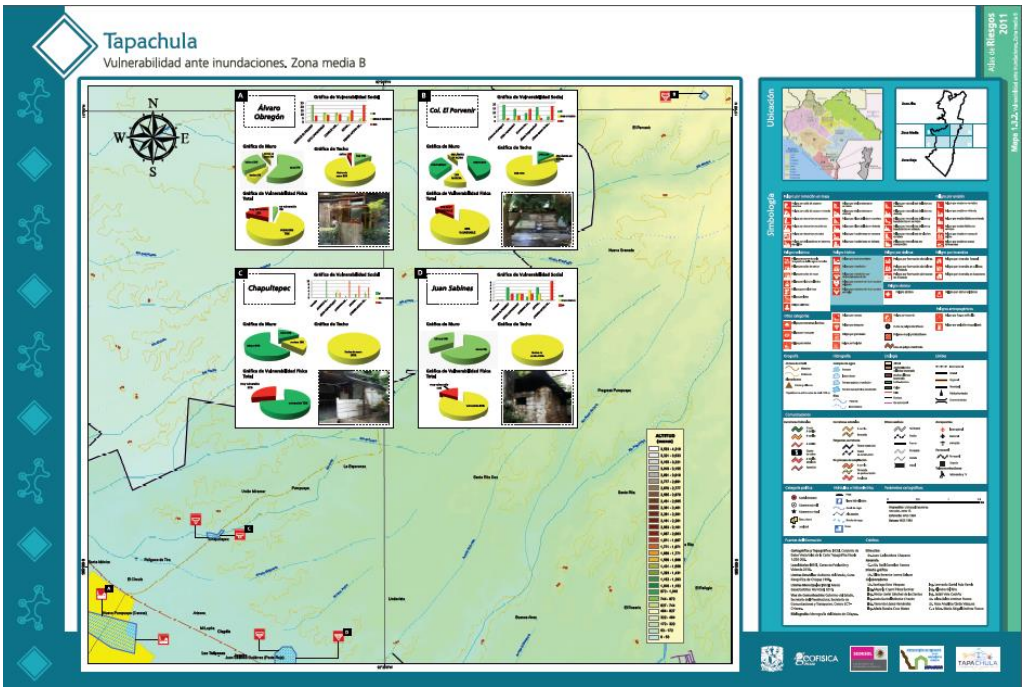


Figura 73.1 Mapa de vulnerabilidad por inundaciones zona media B

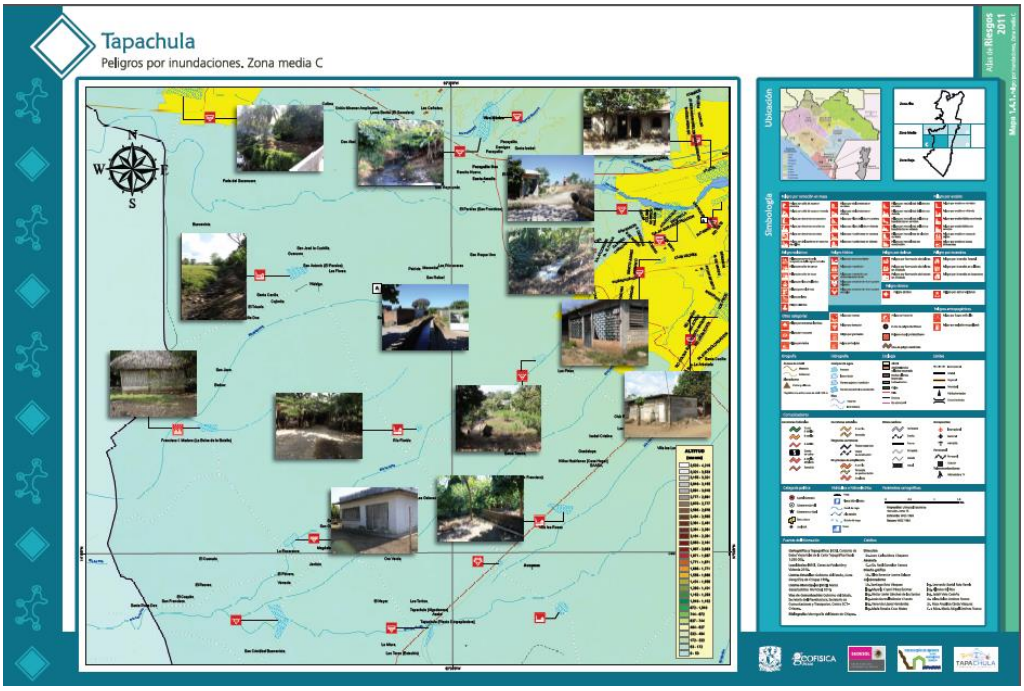


Figura 74. Mapa de peligros por inundaciones zona media C

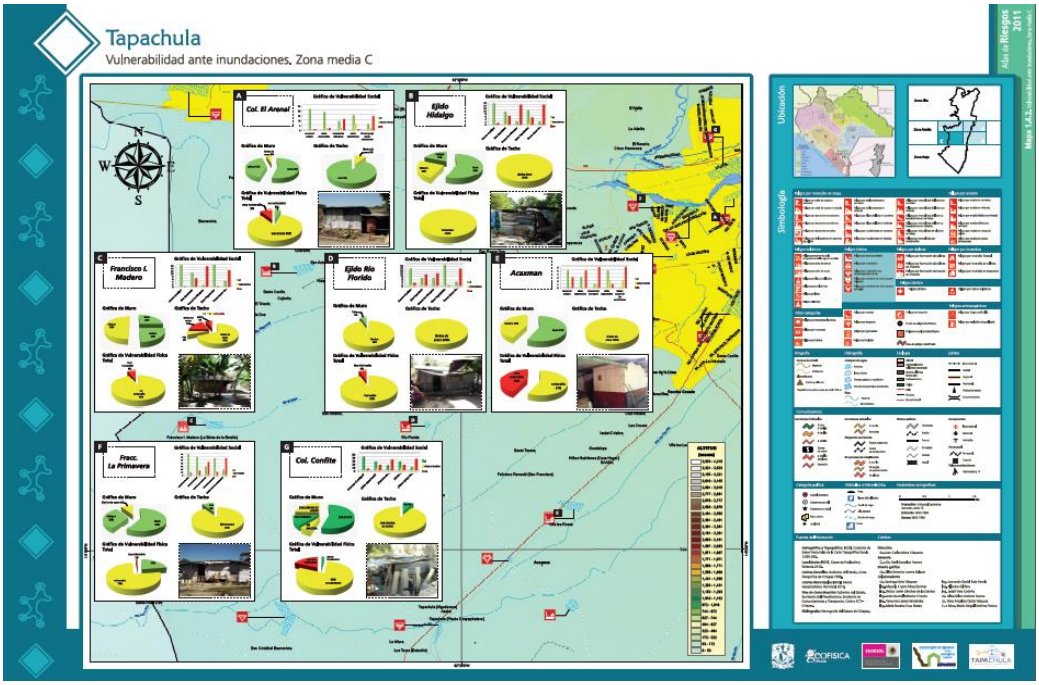


Figura 74.1 Mapa de vulnerabilidad por inundaciones zona media C

Figura 75. Mapa de peligros por inundaciones zona media D

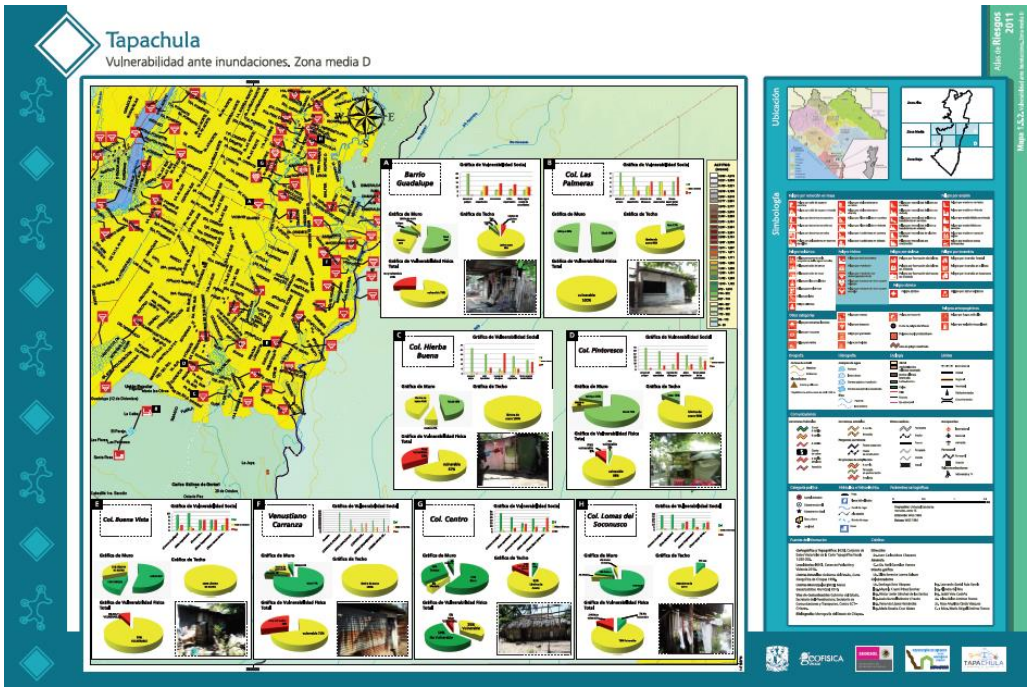


Figura 75.1 Mapa de vulnerabilidad por inundaciones zona media D

En la zona baja (Figura 76)se presentan mayor cantidad de zonas de inundación por acumulación de agua debido a los escurrimientos de todo el municipio, ya que la cercanía con el mar y las desembocaduras de los ríos provocan que el nivel aumente rápidamente cuando existen temporadas de lluvias intensas. Algunas colonias muy afectadas son La Tinaja 1ª sección, La Tinaja 3ª sección, La Cigüeña.

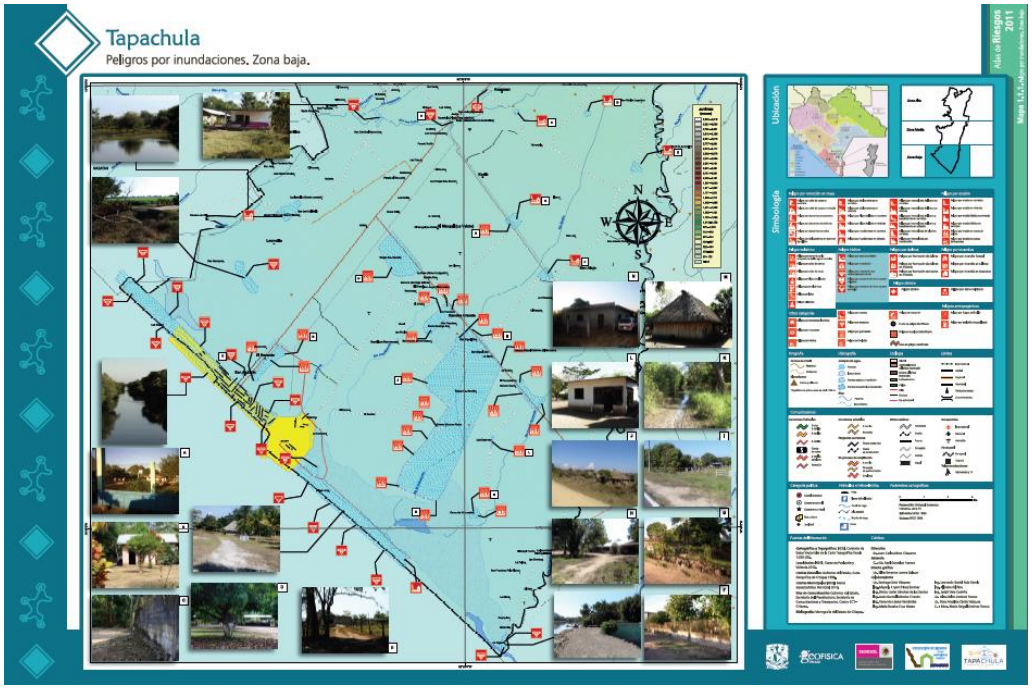


Figura 76. Mapa de peligros por inundaciones zona Baja

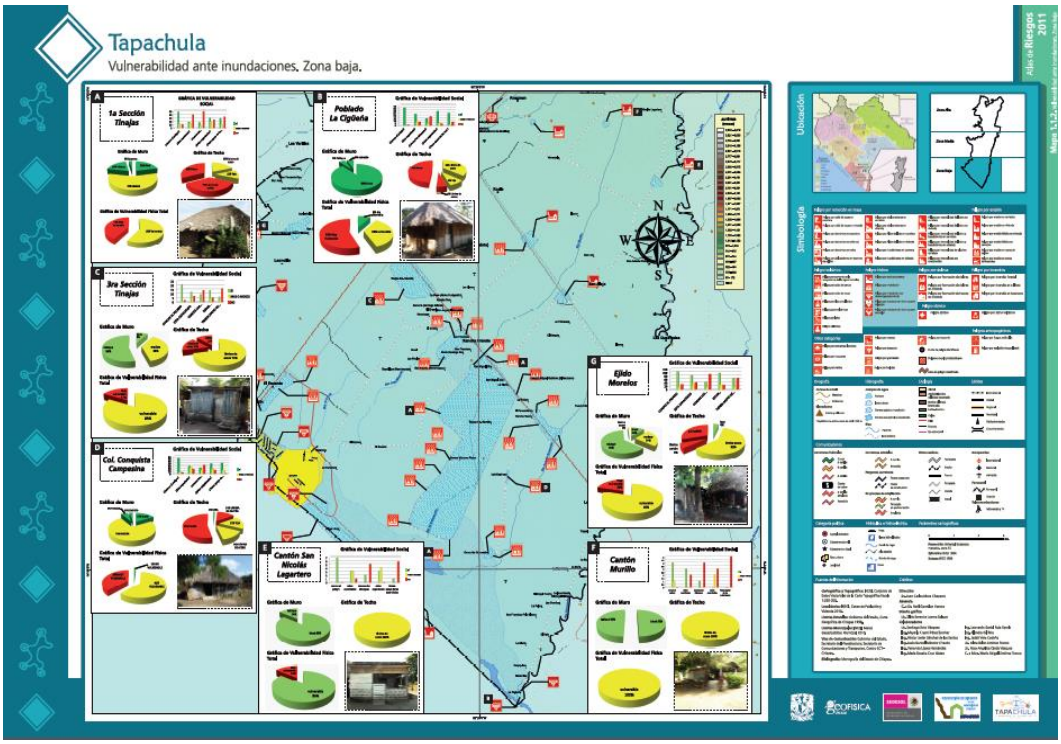


Figura 76.1 Mapa de vulnerabilidad por inundaciones zona Baja

Figura 76.2 Testigos que muestran hasta donde llegóel nivel de la inundación.

Figura 76.3LoclidadLa Cigüeña Polígono de inundación

Figura 76.4Localidad Las Tinajas 3° Sección Polígono de inundación

Figura 76.5 Polígono de inundación Playa Linda

Figura 76.6 Polígono de inundación Colonia Álvaro Obregón

Figura 76.7 Polígono de inundación Colonia Brisas del Cahocán

Figura 76.8 Polígono de inundación localidad Congregación Reforma.

Figura 76.9 Polígono de inundación Conquista Campesina

Figura 76.10 Polígono de inundación de la localidad El Encanto

Figura 76.11 Polígono de inundación de la localidad El Manzano

En esta zona se identificaron los peligros más altos debido a la cantidad de agua que llega de los escurrimientos que se generan desde la parte alta, e incrementa con los desbordamientos de los ríos (Figura 77).

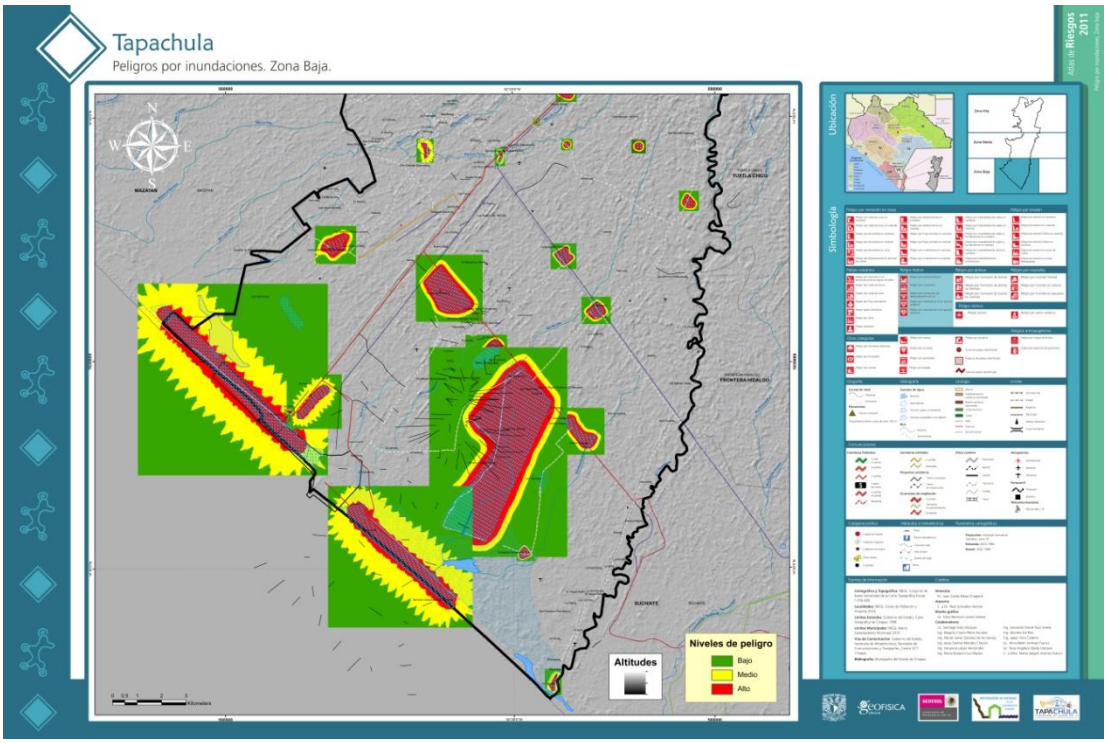


Figura 77. Mapa de niveles de peligro en la zona baja

Dado que las inundaciones representan el fenómeno natural que más comúnmente se presenta en el territorio nacional, es de particular importancia estar preparados para enfrentarlas y responder adecuadamente.

Acciones preventivas

- Identifica antes los lugares más altos de la región, aquellos que no puedan ser inundados, así como los refugios temporales y las rutas de acceso.

- Tenga a la mano un botiquín de primeros auxilios, lámpara de mano, una radio portátil con sus baterías.

- Guarde sus documentos personales (cartilla de servicio militar nacional, certificados de estudios, acata de nacimiento, etc.) en una bolsa de plástico, para evitar su pérdida o destrucción.

- Tenga ala mano un directorio con teléfonos de emergencia.

- Evite deja solo a los niños, personas enfermas o con capacidades diferentes durante la época de lluvia. Si lo hace, infórmelo a algún vecino.

- En la temporada de lluvia mantenga siempre una reserva de agua potable, alimentos enlatados y ropa en lugares bien resguardados.

- Si vive en zonas bajas, casa de palma, carrizo o adobe, es preferible refugiarse en lugares más seguros, como la escuela, la iglesia o el palacio municipal (si están fuera de peligro).

- Permanezca bien informado de las indicaciones de las autoridades y de los medios de comunicación.

- Cuando el anuncio de inundación puede afectar la zona donde usted vive, desconecte los servicios de electricidad y gas.

- Si la evacuación de la zona es necesaria prepárese y hágalo. Lleve consigo solo lo indispensable.

5.2.2 Sistemas Tropicales. Huracanes

Los problemas asociados a huracanes para el municipio de Tapachula se consideran de peligro alto, debido principalmente a limitar con las aguas en el litoral del Océano Pacífico. En relación a esta problemática que es elevada para el municipio se tiene que el evento reciente más desastroso fue el Huracán Stan en el año 2005.

Las afectaciones derivadas de este tipo de fenómenos son muy variadas. Es por ello que un estudio profundo de los daños ocasionados por huracanes, requiere de la adecuada delimitación de las magnitudes asociadas a los mismos. Para ello existe la escala Saffir-Simpson donde se define el tipo de daños que pudiesen presentarse en caso de que un huracán de categoría entre 1 y 5 se presentase en un lugar determinado. Esto sirve de punto de partida para definir los daños esperados ante un evento de este tipo y generar estrategias de reforzamiento de las estructuras que pudiesen verse afectadas

Para la zona de estudio resulta de mucha importancia definir la trayectoria de los Huracanes con miras a poder entender la dinámica de la actividad atmosférica y establecer tendencias en lo que respecta a la formación de huracanes. La trayectoria histórica de eventos importantes en la zona respecto del límite municipal de Tapachula(Figura 76).

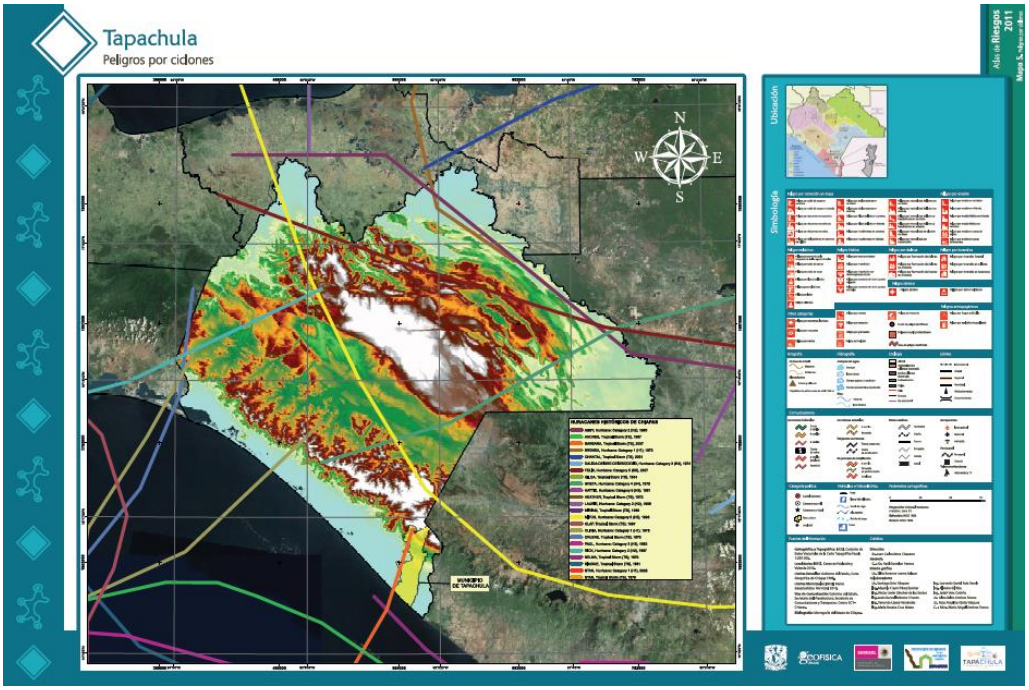


Figura 76. Mapa de peligros por ciclones

5.2.3 Sequías

La sequías la falta de disponibilidad de agua para cubrir las necesidades fundamentales de una cierta unidad social, es decir, no hay suficiente agua para satisfacer los requerimientos de las plantas, animales y habitantes.

La mayoría de estos fenómenos ocurren como resultado de cambios climáticos de la naturaleza, asociados posiblemente a la acción de las personas, por ejemplo: la acumulación de basura en los ríos, el derrame de petróleo o desechos químicos en mares, la deforestación, el smog, etc.

Un factor condicionante, es la modificación de la cubierta vegetal y de las condiciones del suelo producidas por esos cambios en la circulación atmosférica que pueden constituir un proceso de realimentación para prolongar la sequía.

Tipos de sequías

La sequía agrícolaes de corta duración y afecta el ciclo vegetativo de las pasturas y los cultivos.

En general no altera demasiado los balances hídricos anuales y un indicador es la baja en el nivel del agua subterránea (nivel freático).

La sequía hidrológicaaltera el balance hidrológico anual debido a su duración (permanencia de la carencia de lluvias).

Los indicadores son el descenso notable en el nivel del agua subterránea y sequía de las lagunas, es extensa en superficie y no coexiste con la inundación, puede morir la vegetación y comenzar la erosión por el viento.

Este fenómeno afecta principalmente en temporada de estiaje afectando a la agricultura y al sector ganadero del municipio de Tapachula, donde la zona más afectada es en la parte sur, que es la parte más baja y cercana a la costa(Figura 77).

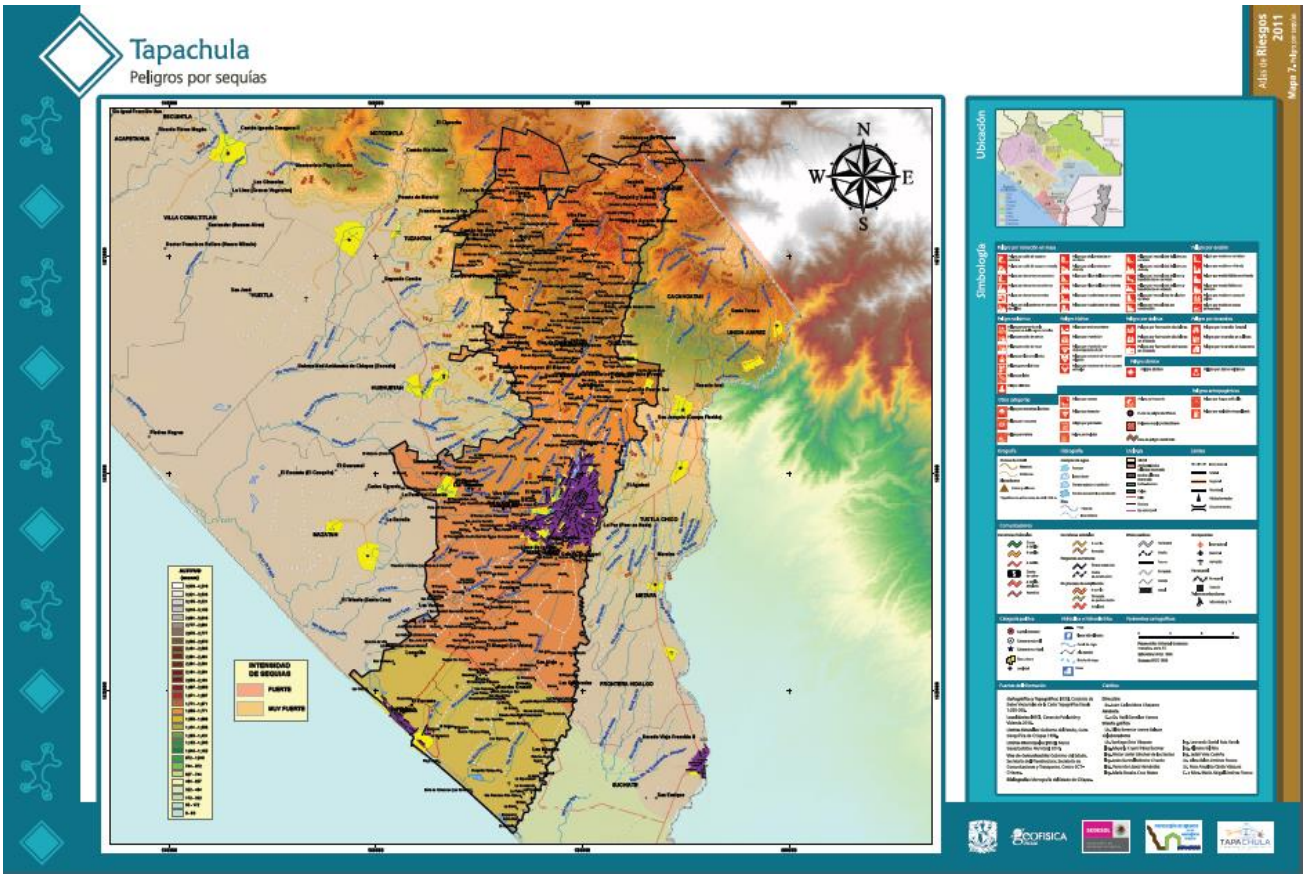


Figura 77. Mapa de peligros por sequías

5.2.4 Vientos

Las afectaciones por vientos se manifiestan de manera puntual en temporada de huracanes y en presencia de frentes fríos, afectando las localidades del municipio con diferentes intensidades, dañando principalmente los techos de las viviendas construidos de láminas y los cultivos. Los fuertes vientos, también son un factor que modifica la superficie del suelo debido a la erosión que provoca (Figura 78).

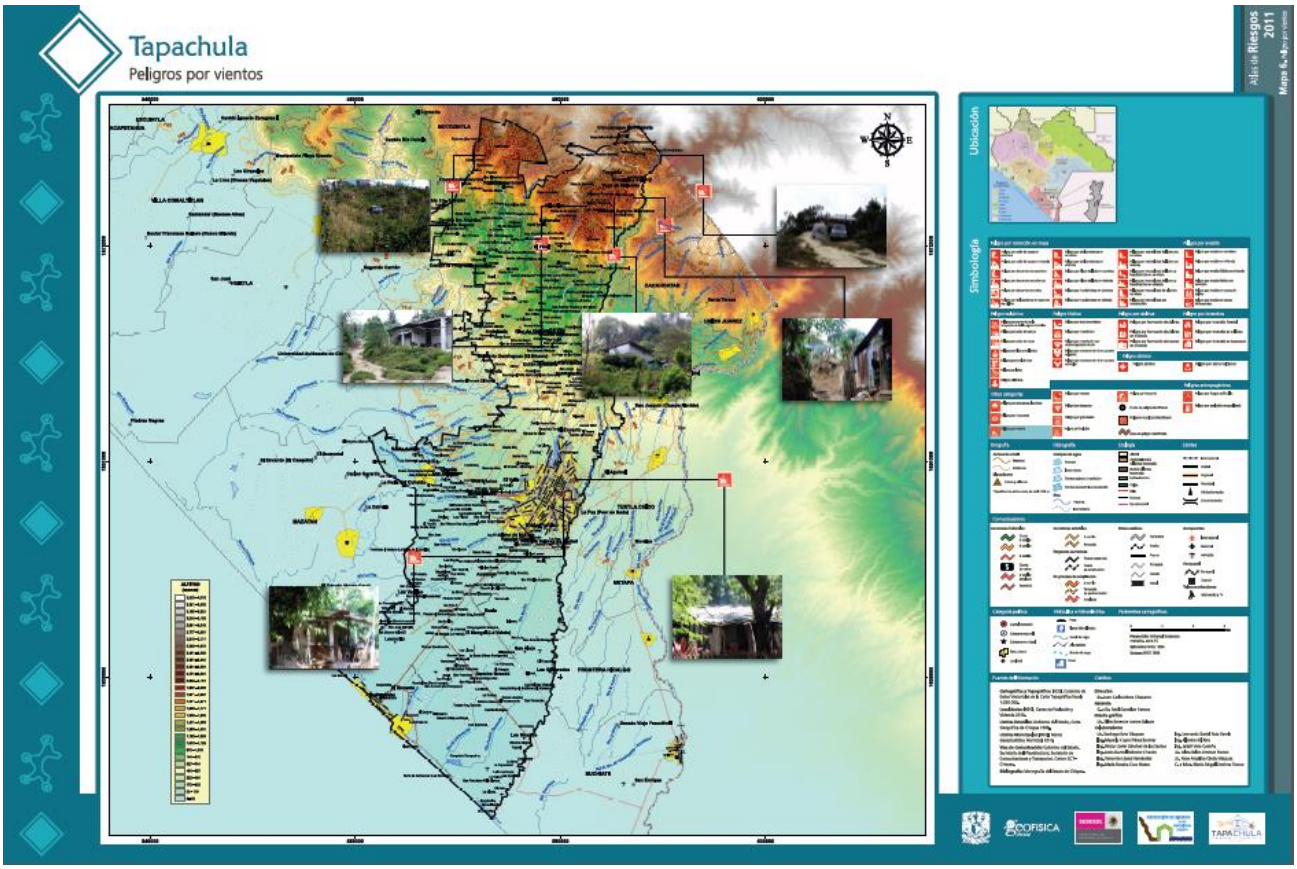


Figura 78. Mapa de peligros por vientos

Fotografía	Nombre	Características del sistema
	Mampostería no reforzada ni confinada con diafragma flexible.	Sistema de muros de mampostería cuyo refuerzo no cumple con las NTC-DM-RCDF-2004. Se encontró constituido por block, tabicón y tabique de barro y cubierta de lámina. El sistema es vulnerable por viento.

	Mampostería sin refuerzo con diafragma flexible.	Sistema de muros de mampostería sin refuerzo. Se encontró constituido por block, tabicón y tabique de barro y cubierta de lámina. El sistema es vulnerable por sismo y viento.
	Mampostería confinada con diafragma rígido.	Sistema de muros de mampostería cuyo refuerzo cumple con las NTC-DM-RCDF-2004. Se encontró constituido por block, tabicón y tabique de barro y la losa maciza de concreto. El sistema es poco vulnerable por sismo y viento.
	Estructura de concreto a base de marcos rígidos.	Sistema de marcos de concreto y diafragma rígido. Sistema poco vulnerable a sismo y a viento.

5.2.5Tormentas eléctricas

Por parte de protección civil no se han recibido reportes de tormentas eléctricas, por lo que este punto no es tomado en cuenta.

5.2.6Temperaturas máximas extremas

Por parte de protección civil no se han recibido reportes de temperaturas máximas extremas, por lo que este punto no es tomado en cuenta.

5.2.7 Masas de aire (Heladas, Granizadas y Nevadas)

Debido a la ubicación geográfica del municipio no se identificaron peligros por este fenómeno, tampoco se tienen reportes por parte de protección civilmunicipal y estatal, por este motivo este punto no es abordado.

Obras Propuestas

Construir muros de contención para reducir o mitigar los problemas a causa de deslizamientos de tierras y el diseño e implementación de obras de drenaje pluvial, que contemple canales de desagüe también para el caso de inundaciones a causa del rio se implementaría una obra de desvío para el control del desbordamiento del mismo.

Anexos

Cuadro 8. Zona en riesgo: Poblaciones y municipios en riesgo

Municipio	Población	Viviendas	Poblados	Ciudad
Cacahoatán	39 033	7 799	82	Cacahoatán
Frontera Hidalgo	10 917	2 277	14	Frontera Hidalgo
Metapa	4 794	1 051	7	Metapa de Domínguez
Suchiate	30 251	6 697	157	Cd. Hidalgo
Tapachula	271 674	61 444	415	Tapachula
Tuxtla Chico	33 467	6 819	42	Tuxtla Chico
Unión Juárez	13 934	2 796	39	Unión Juárez
Total	**404 070**	**88 883**	**756**	

Cuadro 5. Sismos históricos ocurridos en el estado de Chiapas, reportados mediante distintas fuentes con intensidad igual o mayor que VI (Figueroa, 1973, García y Suarez, 1996, SSN)

Año	Mes	Día	Magnitud	Intensidad	Zonas afectadas
1892	7	12		VI	Fuerte sismo en Tapachula
1902	4	18	7.0	VII	Daños en Tapachula. Destructor en Guatemala
1904	12	1		VI	Fuerte sismo en Tapachula
1906	6	21		VI	Fuerte sismo en Tapachula
1908	3	26		VI	Fuerte sismo en Tapachula
1908	7	19		VI	Motozintla y Tapachula
1908	11	6		VI	Tapachula
1919	4	17	7.0	VIII	El Soconusco
1925	3	25	4.0	VI	Ciudad Hidalgo
1931	9	26	6.5	VI	Talismán, Tuxtla Chico, Tapachula y Huixtla
1939	9	28	6.2	VI	Ciudad Hidalgo, Puerto Madero y Tapachula
1945	10	27	6.7	VI	El Soconusco
1950	10	31	5.8	VI	Puerto Madero y Ciudad Hidalgo
1950	11	5	6.0	VI	Ciudad Hidalgo y Puerto Madero
1953	8	24	6.5	VII	Ciudad Hidalgo y Puerto Madero
Año	**Mes**	**Día**	**Magnitud**	**Intensidad**	**Zonas afectadas**
1958	9	2	6.0	VI	Puerto Madero y Ciudad Hidalgo
1958	9	3	6.2	VI	Puerto Madero, Ciudad Hidalgo y Mazatán
1959	4	29	5.8	VI	Ciudad Hidalgo y Puerto Madero
1959	5	12	5.8	VI	Ciudad Hidalgo y Puerto Madero
1960	1	15	5.6	VI	Ciudad Hidalgo
1960	6	5	5.8	VI	Ciudad Hidalgo y Puerto Madero
1961	12	20	5.9	VI	Ciudad Hidalgo y Puerto Madero
1968	9	25	6.0	VIII	Soconusco (48 muertos, daños en Acapetahua por 7,500,000, interrupción en comunicaciones), 333 casas destruidas y 608 dañadas
1968	11	11	5.5	VI	Puerto Madero y Ciudad Hidalgo
1970	4	29	7.3	VII	Suchiapa, Mazapa de Madero, Motozintla, Tapachula, Huixtla y Ciudad Hidalgo (Siete repeticiones el mismo día y 32 en total)
1970	5	23	4.9	VI	Tapachula
2002	01	16	6.7	VII	Arriaga, San Cristóbal de las Casas, Tapachula y Tuxtla Gutiérrez

Cuadro 9. Poblaciones potencialmente amenazadas por el Tacaná municipio de Tapachula

¿ = No hay dato

Población	Lahares e inundaciones	Caída de ceniza	Explosiones laterales	Flujos piroclásticos	Flujos de lava
AGUA CALIENTE	X	X	X	¿	X
AHUACATLÁN	¿	¿			
ALPUJARRAS	X	X			
AZTECA	X	X			
BELLA VISTA	X	X	X	¿	
BENITO JUÁREZ	X	¿			
CALIFORNIA	X	¿			
CARRILLOPUERTO	X	¿			
CÓRDOVAMATASANOS	X	X	X	X	
DOS DE MAYO	¿	¿			
EL AGUILA	X	X	X	¿	
EL CARMEN	¿	¿			
EL DESENGAÑO	X	X			
EL DESENLACE	X	X			
EL PLATANAR	X	X	X	¿	
EL RETIRO					
EL ZAPOTE	¿	¿			
EUREKA	X	X			
FAJA DE ORO	X	?			
GUATIMOC	X	X	¿		
ITURBIDE	?	X			
LA ALIANZA	¿	¿			
LA CEIBA	X	X			
LA CONCEPCIÓN	X	X			
LA CONCORDIA	X	X			
LA LIBERTAD	X	X			
LA SOLEDAD	X	X			
LAS GALERAS	¿	X			
LAS PALMAS	X	X			
LOS ANGELES	X				
MIXCUM	X	X			
MONTE PERLA	X	X	X	X	
11 DE ABRIL	X	X	X	X	
PROGRESO	X	X			
ROSARIO IXTAL	X	X			
SALVADOR URBINA	X	X			
SAN JOSÉ	X	X			
SAN RAFAEL	X	X			
SAN RAMÓN	¿				
SANTA MARÍA	X	X	X	X	
LA VEGA SANTO					
DOMINGO	¿	X			
TALQUIÁN	X	X	X	X	
TALQUIÁN GUARUMO	X	X			
TOLUCA	X	X			
TRINIDAD	X	X			

UNIÓN JUÁREZ	X	X	X	X	
UNIÓN ROJA	X	X			
VICTORIA	X				

Cuadro 10. Datos de la población de los municipios potencialmente amenazados por el volcán Tacaná.

CACAHOATAN TOTAL MUNICIPAL 39033					
NOMBRE MUNICIPIO	**NOMBRE LOCALIDAD**	**LON.**	**LAT.**	**ALT.**	**POB. TOT**
CACAHOATAN	CACAHOATAN	920955	145921	480	13288
CACAHOATAN	AGUA CALIENTE	920917	150937	1760	260
CACAHOATAN	El AGUILA	921100	150531	1200	1268
CACAHOATAN	AGUSTIN DE ITURBIDE	921153	150425	840	2221
CACAHOATAN	AHUACATLAN	921050	150219	670	1594
CACAHOATAN	ALIANZA	921105	150234	670	51
CACAHOATAN	ALPUJARRAS	921011	150424	960	646
CACAHOATAN	FRACCION DE AZTECA	920725	150512	1540	176
CACAHOATAN	AZTECA	921108	150641	1230	287
CACAHOATAN	BELLAVISTA	920856	150432	1180	534
CACAHOATAN	BENITO JUAREZ	921125	150313	640	1150
CACAHOATAN	CAMAMBE	920936	150953	1500	159
CACAHOATAN	CARMEN	920954	150135	660	689
CACAHOATAN	DOS DE MAYO	920850	150121	650	529
CACAHOATAN	FAJA DE ORO	920922	150150	700	2031
CACAHOATAN	GUATIMOC	920908	150243	800	736
CACAHOATAN	MILAN	920706	150538	2780	40
CACAHOATAN	MIXCUM	920826	150128	670	1364
CACAHOATAN	PIEDRA PARADA	921114	150658	1320	156
CACAHOATAN	PLATANAR	920943	150501	1260	782
CACAHOATAN	PROGRESO	921152	150505	920	812
CACAHOATAN	RIOJA	921058	145935	480	4
CACAHOATAN	CONCEPCIÓN	921048	150105	550	46
CACAHOATAN	TECOITAC	921003	151035	1620	236
CACAHOATAN	SALVADOR URBINA	921230	150205	580	2612
CACAHOATAN	SANTA RITA	921008	150050	570	10

Cuadro 11. Datos de la población de los municipios potencialmente amenazados por el volcán Tacaná.

NOMBRE MUNICIPIO	LON.		LAT.	ALT.	POB. TOT
CACAHOATAN	TOQUIAN Y LAS NUBES (TOQUIAN GUARUMO)	921125	150255	640	360
CACAHOATAN	UNION ROJA	921301	150243	520	1623
CACAHOATAN	ZAPOTE	920954	150153	700	16
CACAHOATAN	SANTA MARIA LA VEGA	920829	150345	960	322
CACAHOATAN	PLAN BENITO JUAREZ	920852	150511	1410	211
CACAHOATAN	ICUL (PLAN CHIAPAS)	921030	151025	1320	50
CACAHOATAN	NUBES GUATIMOC	920906	150215	720	302
CACAHOATAN	PULGAS	921107	150807	1000	37
CACAHOATAN	PLATANILLO	921040	150912	1160	272
CACAHOATAN	RANCHO QUEMADO	921010	150616	2120	162
CACAHOATAN	PRIMAVERA	921040	145924	470	15
CACAHOATAN	ROSARIO IXTAL	920917	150025	560	649
CACAHOATAN	SANTA MARTHA	921050	145939	480	13
CACAHOATAN	MONTEBELLO	920922	145924	495	12
CACAHOATAN	NUEVA ALIANZA	921033	150224	690	113
CACAHOATAN	JARDIN	921143	150153	480	2
CACAHOATAN	SAN VICENTE	921125	150151	590	6
CACAHOATAN	SAN ANTONIO IXTAL	920859	150019	610	16
CACAHOATAN	TECATE	920904	150001	500	35
CACAHOATAN	MORELOS	921148	150146	580	7
CACAHOATAN	ZABAKCHE	921117	150027	500	11
CACAHOATAN	BARRIO 24 DE JUNIO (LA GALLERA)	921202	150241	620	51
CACAHOATAN	NUMANCIA	920951	150125	650	14
CACAHOATAN	SOLEDAD	921041	150054	560	81
CACAHOATAN	CACAHOATAN	921026	145933	480	4
CACAHOATAN	PLATA TRES	921053	145953	540	8
CACAHOATAN	GLORIA	920924	150007	550	4
CACAHOATAN	PORVENIR	920925	150015	560	9
CACAHOATAN	ESPERANZA	920930	150009	560	4
CACAHOATAN	DOLORES	920938	150006	550	12
CACAHOATAN	SAN JOSE COLON	920912	150116	630	3

Cuadro 12. Comunidades cercanas al volcán Tacaná

Nombre	Longitud oeste	Latitud norte	Altitud (msnm)
Agua Caliente	92º 09’ 17’’	15º 09’ 37’’	1760
Agustín de Iturbide	92º 11’ 53’’	15º 04’ 25’’	840
Alpujarras	92º 10’ 11’’	15º 04’ 24’’	960
Azteca	92º 11’ 08’’	15º 06’ 41’’	1230
Bellavista	92º 08’ 56’’	15º 04’ 32’’	1180
Campamento	92º 20’ 27’’	15º 08’ 20’’	760
ChanjaléSalchichi	92º 11’ 26’’	15º 10’ 21’’	1320
Chiquihuites	92º 05’ 37’’	15º 04’ 42’’	2300
Dos de Mayo	92º 08’ 50’’	15º 01’ 21’’	650
El Águila	92º 11’ 00’’	15º 05’ 31’’	1200
El Desengaño	92º 07’ 24’’	15º 03’ 10’’	1000
El Monacal	92º 13’ 00’’	15º 06’ 08’’	1040
El Pinal	92º 11’ 26’’	15º 12’ 57’’	2200
El Platanar	92º 09’ 43’’	15º 05’ 01’’	1260
El Progreso	92º 11’ 52’’	15º 05’ 05’’	920
El Refugio	92º 13’ 12’’	15º 07’ 33’’	1240
Las Américas	92º 04’ 56’’	15º 03’ 58’’	1100
Monte Perla	92º 05’ 19’’	15º 02’ 40’’	940
Naranjo Reforma	92º 13’ 30’’	15º 10’ 29’’	1840
Nuevo Chespal	92º 12’ 40’’	15º 06’ 53’’	920
Once de Abril	92º 08’ 30’’	15º 03’ 06’’	820
Platanillo	92º 09’ 49’’	15º 09’ 11’’	1700
Santa María la Vega	92º 08’ 28’’	15º 03’ 45’’	960
Santa Rosalía	92º 16’ 04’’	15º 08’ 22’’	1340
Talquián	92º 05’ 00’’	15º 05’ 07’’	1680
Toquián Chico	92º 13’ 48’’	15º 09’ 16’’	1860
Toquián Grande	92º 12’ 10’’	15º 12’ 04’’	2020
Las Nubes	92º 07’ 29’’	15º 04’ 55’’	1440
Vega Malacate	92º 11’ 11’’	15º 11’ 30’’	1400

Cuadro 13. Escala Saffir-Simpson donde se define el tipo de daños que pudiesen presentarse en caso de que un huracán de categoría entre 1 y 5.

Categoría 1	Velocidad del viento	33–42 m/s	119–153 km/h	64–82 kt	74–95 mi/h
	Marea	1.2–1.5 m		4–5 ft	
	Presión central	980 hPa		28.94 pulg Hg	
	Nivel de daños	Sin daños en las estructuras de los edificios. Daños básicamente en casas flotantes no amarradas, arbustos y árboles. Inundaciones en zonas costeras y daños de poco alcance en puertos.			
	Ejemplos	Huracán Agnes – Huracán Danny – Huracán Vince – Huracán Lorenzo			
Categoría 2	Velocidad del viento	43–49 m/s	154–177 km/h	83–95 kt	96–110 mph
	Marea	1.8–2,4 m		6–8 ft	
	Presión central	965–979 hPa		28.50–28.91 "Hg	
	Daños potenciales	Daños en tejados, puertas y ventanas. Importantes daños en la vegetación, casas móviles, etc. Inundaciones en puertos así como ruptura de pequeños amarres.			
	Ejemplos	Huracán Bonnie - Huracán Diana - Huracán Erin - Huracán Catarina - Huracán Irene (Activo)			
Categoría 3	Velocidad del viento	50–58 m/s	178–209 km/h	96–113 kt	111–130 mph
	Marea	2.7–3,7 m		9–12 ft	
	Presión central	945–964 hPa		27.91–28.47 "Hg	
	Daños potenciales	Daños estructurales en edificios pequeños. Destrucción de casas móviles. Las inundaciones destruyen edificaciones pequeñas en zonas costeras y objetos a la deriva pueden causar daños en edificios mayores. Posibilidad de inundaciones tierra adentro.			

	Ejemplos	Huracán Alicia - Huracán Isidoro – Huracán Jeanne			
Categoría 4	Velocidad del viento	59–69 m/s	210–249 km/h	114–135 kt	131–155 mph
	Marea	4.0–5,5 m		13–18 ft	
	Presión central	920–944 hPa		27.17–27.88 "Hg	
	Daños potenciales	Daños generalizados en estructuras protectoras, desplome de tejados en edificios pequeños. Alta erosión de bancales y playas. Inundaciones en terrenos interiores.			
	Ejemplos	Huracán Dennis - Huracán Francés - Huracán Paulina			
Categoría 5	Velocidad del viento	≥70 m/s	≥250 km/h	≥136 kt	≥156 mph
	Marea	≥5,5 m		≥19 ft	
	Presión central	<920 hPa		<27.17 "Hg	
	Daños potenciales	Destrucción de tejados completa en algunos edificios. Las inundaciones pueden llegar a las plantas bajas de los edificios cercanos a la costa. Puede ser requerida la evacuación masiva de áreas residenciales.			
	Ejemplos	Huracán Gilberto – Huracán Katrina - Huracán Mitch – Huracán Wilma - Huracán Allen - Huracán Iván			

Representación fotográfica de los símbolos utilizados en los mapas

PELIGRO	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
Erosión hídrica en viviendas		
Erosión hídrica en vías de comunicación		
Por encharcamiento		

Inundación por desbordamiento de rio.

Inundación por escurrimiento.

Creciente de un rio en puente colgante.

Creciente de un rio en puente vehicular.

.

Caída de rocas en carretera

Caída de rocas en viviendas.

Derrumbes en carreteras.

Derrumbes en viviendas.

Deslizamientos en carreteras.

Flujo de lodo en carreteras.

Flujo de lodo en viviendas.

Hundimiento en viviendas.

sismos		1
Caída de cenizas.		1

1 no existe fotografía de la zona.