



FASE 4. RIESGO / EXPOSICIÓN

4.1 RIESGO SÍSMICO

4.2 MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LOS TERRENOS DEL MUNICIPIO DE COMALA BASADA EN MEDICIONES DE LOS PERIODOS DOMINANTES DEL RUIDO AMBIENTAL

4.2.1 Introducción

La microzonificación de riesgo sísmico de una localidad puede ser realizada en general de acuerdo con conocimiento de las propiedades del tipo de suelo de la localidad y la zonificación de vulnerabilidad sísmica de la vivienda. Lo podemos discutir en las secciones 4.2.2 y 4.2.7 del capítulo.

Microzonificación sísmica de los terrenos se realiza en esta sección en base de medición de los periodos dominantes de vibración de suelo producida por el ruido ambiental. El conocimiento de los periodos dominantes de vibración de suelo es importante para la planeación del desarrollo urbano de un municipio. Si el periodo dominante de suelo está cercano al periodo fundamental de una construcción, en caso de terremotos fuertes se observa el efecto de resonancia. La resonancia de los periodos de vibración de suelo y de vivienda aumenta significativamente el efecto destructivo del terremoto para la vivienda.

Bazan y Meli (2004) recomiendan, para evitar el riesgo de destrucción de la vivienda durante un sismo fuerte, en los proyectos de desarrollo urbano seguir una regla de relación entre el periodo fundamental de edificio T_E y periodo dominante de suelo T_S :

$$0.7 \leq \frac{T_E}{T_S} \leq 1.2. \quad (2.1)$$

La mayor parte de vivienda del municipio de Comala representa los edificios construidos de mampostería de baja altura (1 a 3 pisos) o de adobe. El Método de Análisis Sísmico Estático (Bazán y Meli, 2004) propone la siguiente fórmula para cálculo del periodo fundamental T_E de la vivienda:

$$T_E = 0.075H^{0.075} \quad (2.2)$$

donde H es la altura de edificio en metros. El coeficiente 0.075 fue propuesto para edificios a base de marcos de concreto. Para los edificios con altura entre 3 y 5 m, tenemos el valor de periodo fundamental de edificios T_E entre 0.2 y 0.3 s. Estas estimaciones son cercanas a los periodos fundamentales publicados en reglamentos y artículos.

Como esta mencionado en “Seismic Design Guide for Masonry Buildings” (Anderson, Brzev, 2009), muchos los edificios de mampostería de baja altura (entre 1 a 3 pisos) pueden tener un período fundamental del orden de 0.2 seg. Estudios de los periodos fundamentales de la vivienda de adobe de un piso en Chiapa de Corzo, Chiapas muestran un período fundamental de vibración del orden de 0.15 segundos (Escamiroso Montalvo et al., 2014).

Entonces, de acuerdo con la ecuación (2.1), para evitar los efectos destructivos de los sismos fuertes en el municipio de Comala, los edificios con los periodos fundamentales entre 0.2 y 0.3 s, tienen que ser construidos sobre los suelos con periodos dominantes fuera de los intervalos desaconsejables. Para los edificios con periodo fundamental de 0.2 s, el intervalo desaconsejable es entre 0.17 y 0.28 s; para los edificios con periodo fundamental de 0.3 s, el intervalo desaconsejable es entre 0.25 y 0.43 s. En general, el intervalo desaconsejable para los terrenos del municipio

de Comala para su vivienda típica es entre 0.17 y 0.43 s. El mapa de periodos dominantes de suelo construido con registro de microtemores nos permita identificar las zonas seguras y peligrosas para desarrollo urbano.

4.2.2 Caracterización general del suelo de municipio de Comala

Los terrenos del municipio de Comala tienen diferentes comportamientos dinámicos frente a las ondas sísmicas, los cuales afectan de forma directa a las estructuras cimentadas sobre ellos. Esta respuesta dinámica de los suelos está íntimamente ligada con la frecuencia natural de vibración de éste. Para llegar a conocer las frecuencias naturales de vibración de los suelos se usan los microtemores, que son vibraciones de muy baja amplitud, las cuales son causadas por el tráfico, el viento, la actividad volcánica, y en general toda la actividad natural del hombre que produzca energía y que esta sea absorbida a su vez por el subsuelo. Para este caso en particular el cálculo de las frecuencias incluyó el análisis de sismos y microtempidaciones, a partir de los cuales podemos llegar a calcular el período dominante de los suelos de una localidad.

En la superficie del municipio se puede distinguir tres áreas de terrenos con propiedades diferentes para desarrollo urbano (Figura 4.1). Entre ellos, la zona Central donde se concentran prácticamente todas las poblaciones incluyendo la cabecera del municipio población de Comala. En la zona Oeste, separada de la zona central por el Río Armería, se encuentran los terrenos más irregulares y accidentados con el Cerro Grande y la Sierra de Manantlán donde no tenemos las poblaciones. La zona Norte se caracteriza por la pendiente más abrupta por la cercanía del complejo volcánico de Colima donde también no encontramos las poblaciones significativas.

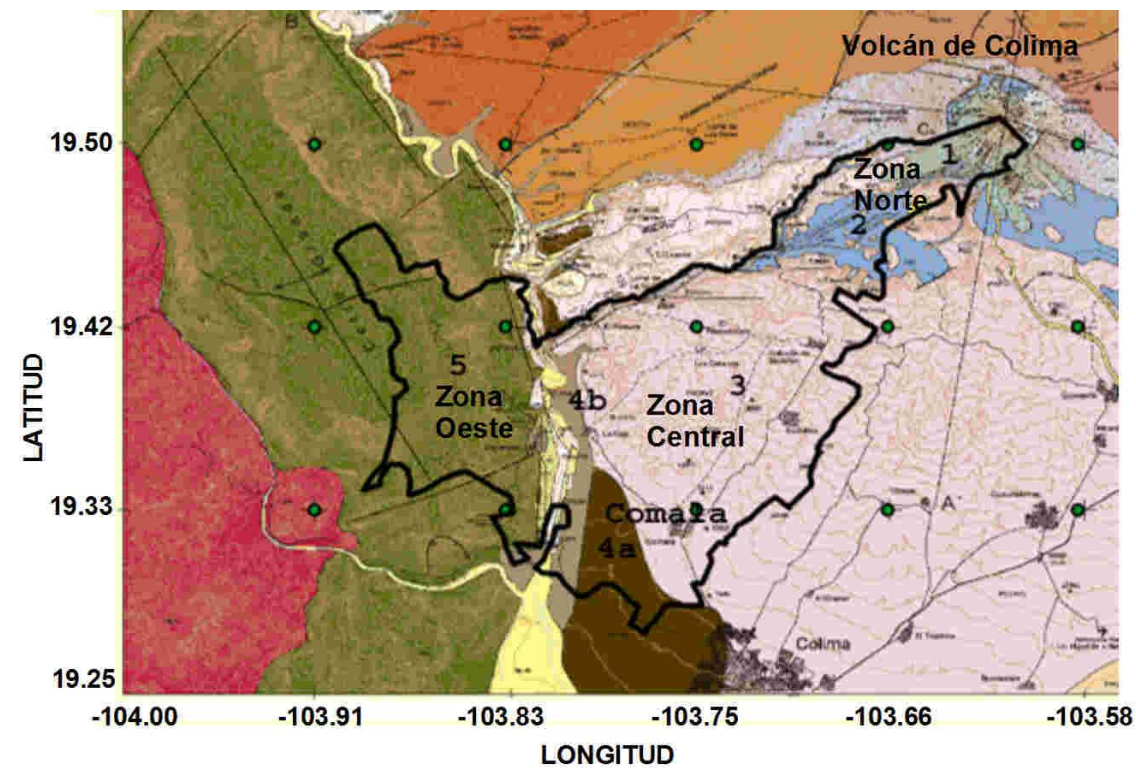


Figura 4.1. Mapa de depósitos geológicos del municipio de Comala con identificación de las tres zonas de terrenos, Oeste, Central y Norte. 1 a 5, números de zonas con depósitos de tipo diferente (ver texto). Un extracto del mapa publicado en (Cortés *et al.*, 2005).

En general, el territorio del municipio de Comala está cubierto con cinco tipos de depósitos geológicos presentados en el mapa geológico (Figura 4.1) tomado de (Cortés *et al.*, 2005). Los depósitos de zonas 1 y 2 al sur-oeste del Volcán de Colima (ó Volcán Fuego de Colima) están representados por lavas andesíticas prehistóricas e históricas y flujos piroclásticos del actual Volcán de Colima. Zona 3 representa los depósitos de una avalancha de escombros volcánicos prehistóricos producidos por el volcán Paleofuego hace unos 7 mil años. Esta zona representa la mayor



parte del territorio de municipio. En la frontera con la zona 2, el espesor de depósitos de avalancha es igual a 30 m. Con distancia del Volcán de Colima, el espesor de los depósitos de avalancha disminuya hasta unos 8 m en las fronteras con la Zona 4. La Zona 4, formada por los depósitos de lahares y fluviolahares (4a) y terrazas de lahares y fluviales (4b) está separada de Cerro Grande (Zona 5) a lo largo del río Armería. El Cerro Grande, con las alturas máximas hasta 2120 m (INEGI, Carta Topográfica Escala 1: 50 000, serie III), está conformado por calizas a manera de “horsts” que flanquean al graben de Colima en esta parte. Sus depósitos están formados por gruesos estratos de caliza masiva, el espesor de estas calizas es cercano a los mil metros.

4.2.3 Metodología de estudio

Para encontrar el periodo dominante de vibración de los suelos se aplica el método de Nakamura (1989). Nakamura (1989) propone que para la estimación de los periodos predominantes del suelo a partir de un registro de tres componentes en superficie, se puede determinar la función de transferencia de las capas de suelo desde el basamento rocoso a la superficie, mediante la relación entre el espectro de Fourier del componente horizontal y el del componente vertical. Se considera que los componentes horizontales y verticales de registros de sismos son similares en las bases rocosas pero diferentes en la superficie. La componente vertical del espectro de microtremor normalmente no está amplificada por el efecto de la capa superficial de poca velocidad pero sólo es la función del origen de vibración y su atenuación con distancia. Al contrario, el componente horizontal del espectro de microtremor va a ser amplificado por el efecto de la capa superficial de poca velocidad y también es la función del origen de vibración y su atenuación con distancia.

Siguiendo la metodología utilizada por Nakamura, la pseudo-función de transferencia de las capas superficiales se puede definir como el cociente H/V:

$$\frac{H}{V} = \frac{\sqrt{[NS(w)]^2 + [EW(w)]^2}}{V(w)} \quad (2.3)$$

donde NS(w), EW(w) y V(w) son los espectros de amplitud de Fourier de los componentes norte-sur, este-oeste y vertical del registro, respectivamente.

La división del espectro de componente horizontal entre el vertical (H/V) puede evitar los efectos de origen y el paso de ondas sísmicas y enseñar el efecto superficial, o recibir los cocientes de amplificación del suelo y los periodos dominantes.

4.2.4 Instrumentación

El registro de microtremores fue realizado por el instrumento triaxial de banda ancha modelo Metrozet TSA-100S (Figura 4.2) con sensor tipo acelerómetro de fuerza balanceada, escala completa de $\pm 4g$ y rango dinámico mayor a 155 dB.

Su digitalizador se caracteriza por:

- ☐ Convertidor Analógico/Digital Delta-Sigma de 24 bits.
- ☐ Rango Dinámico superior a 125dB a 100 muestras por segundo.
- ☐ Tasas de Muestreo: 50, 100, 200 & 500 muestras por segundo.
- ☐ Formato de Datos: SEED/miniSEED.
- ☐ El GPS, añadido al acelerógrafo, permite estimar las coordenadas del sitio de registro y su altitud.



Figura 4.2. Acelerógrafo Metrozet TSA-100S.

4.2.5 Procedimiento de los registros sísmicos

Los resultados de mediciones de los periodos dominantes y amplificación de la vibración ambiental de terrenos en el municipio de Comala están presentados en Anexo 3. Se realizaron mediciones en 291 puntos de zona Central (Figura 4.3). Las mediciones en las zonas Oeste (Cerro Grande) y Norte (Complejo volcánico de Colima) no fueron realizadas de acuerdo con las propiedades de los terrenos no adecuadas para construcciones de vivienda.

En cada punto, se analizaran registros sísmicos (velocidad de movimiento del terreno) de tres componentes, con una ventana de duración de 15 minutos (Figura 4.4). El aparato de registro muestreó la señal a razón de 100 muestras por segundo. Los periodos dominantes del terreno se obtuvieron mediante el procesamiento de los datos registrados en campo.

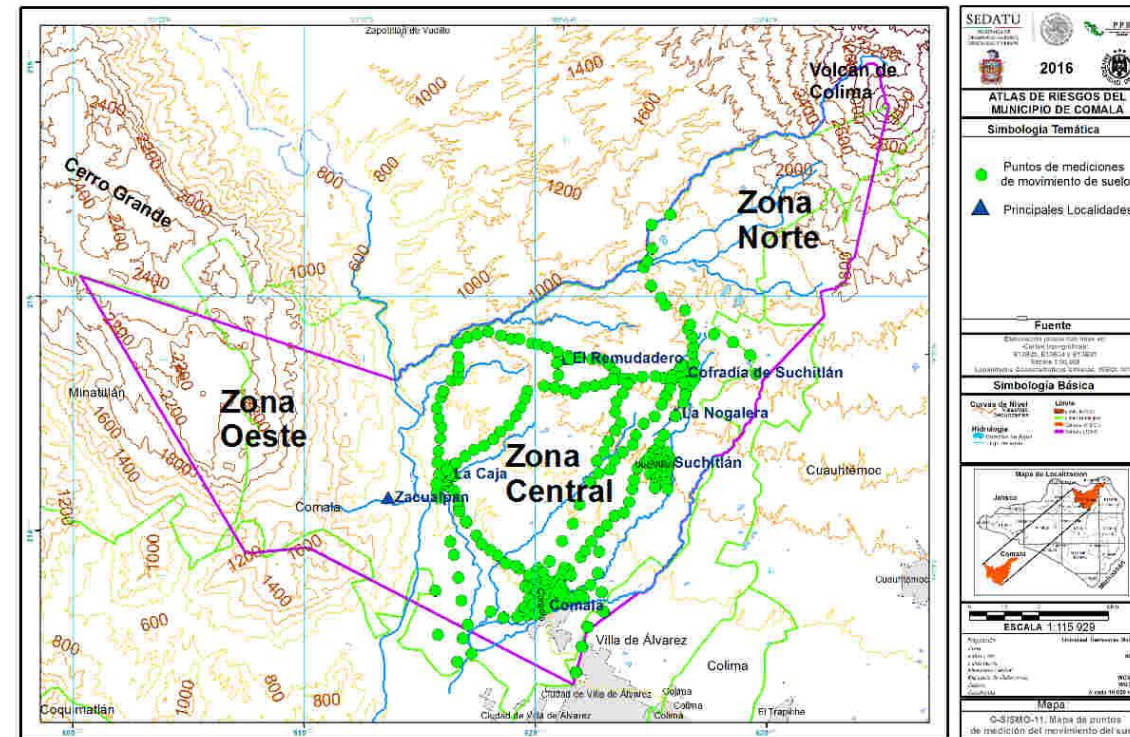


Figura 4.3. Distribución de los puntos de mediciones.

Figura 4.5 y Figura 4.6 ilustran procedimiento de los registros sísmicos. Para encontrar los periodos dominantes, fueron aplicados dos métodos para seleccionar el adecuado para nuestro análisis.

- Primero, se calculan espectros Fourier para cada una de las tres componentes, (Figura 4.5), se suman las componentes horizontales (H). Después, se calculan cocientes H/V de acuerdo con ecuación (2.3), para los registros completos de 15 minutos.
- Se obtienen espectros de Fourier para 10 ventanas con duración de 90 seg. cada una, se suman las componentes horizontales (H), se calcula el cociente H/V de cada una de las ventanas y se obtiene un promedio de las curvas del cociente H/V.

La Figura 4.6 muestra dos opciones de cálculo de cocientes H/V: La opción A representa vibraciones muy complicadas para estimar una frecuencia dominante. Por eso, la opción B de una curva de cociente promedio, obtenido usando las 10 ventanas, está más admisible. La curva alisada del cociente promedio fue calculada utilizando el Curve Fitting Toolbox (http://cda.psych.uiuc.edu/matlab_pdf/curvefit.pdf). Para el suavizado de curva fue aplicado el método LOESS (regresión lineal ponderada que utiliza un polinomio cuadrático) con un lapso de 0.3 (30% de cada conjunto de datos). La curva alisada está mostrada en Figura 4.6 (B) como una línea discontinua. Con esa curva, estimamos la frecuencia dominante $F_s = 5.4$ Hz (o el periodo dominante de vibración de suelo $T_s = 0.18$ s) con un cociente $H/V = 4.4$.

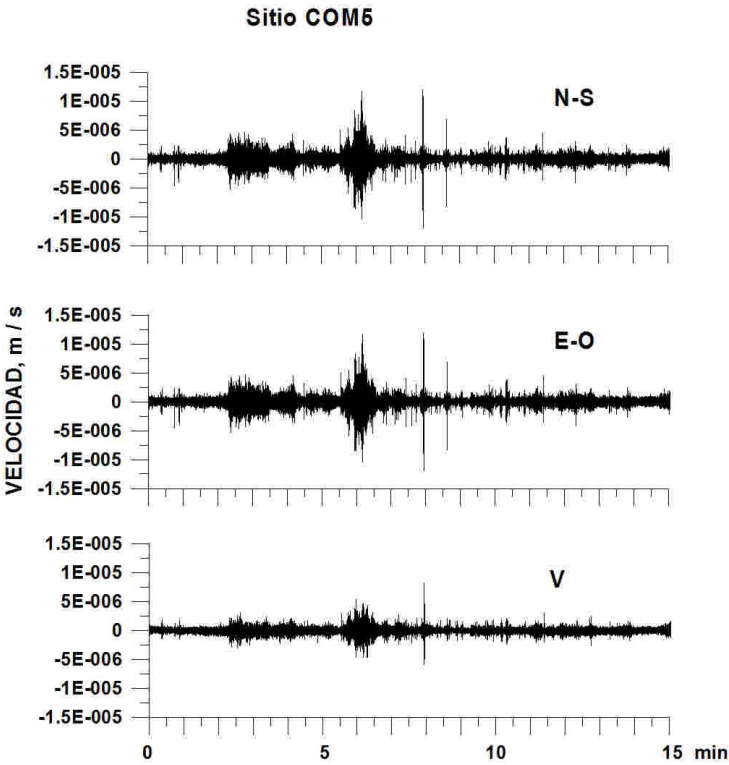


Figura 4.4. Registro sísmico de ruido ambiental, tres componentes (V, vertical; N-S y E-O, componentes horizontales).

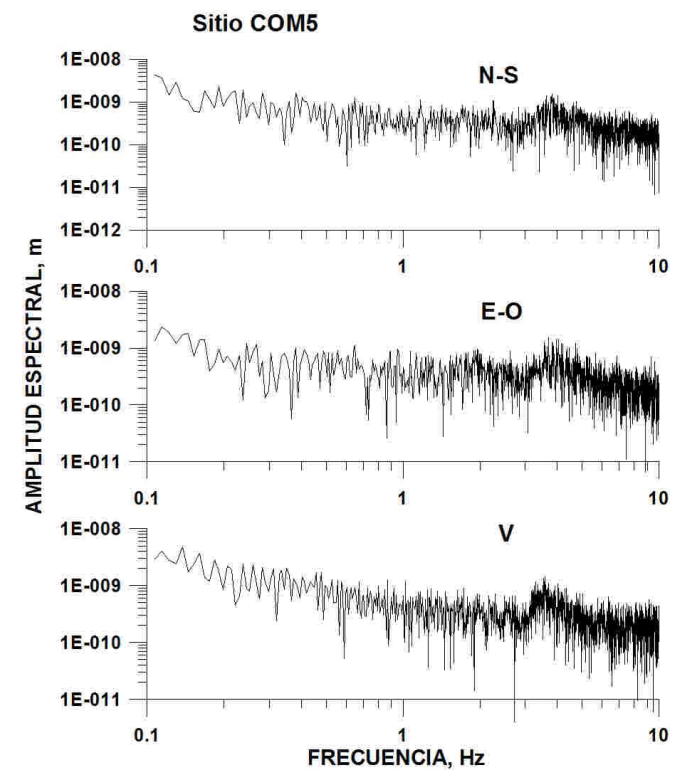


Figura 4.5 Los espectros Fourier de los tres componentes de registros sísmicos mostrados en la Figura 2.4.

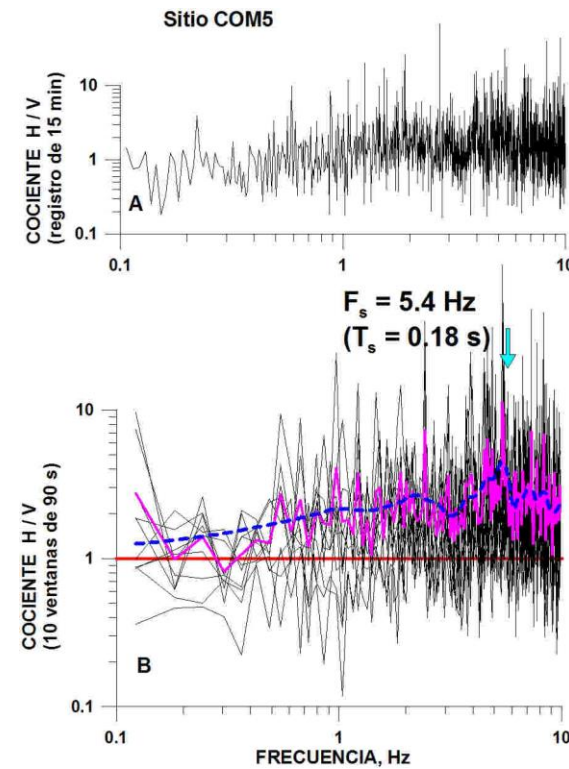


Figura 4.6. Relación de los espectros Fourier de los componentes horizontales (H) y vertical (V).

4.2.6 Zonificación de suelos en el municipio de Comala basada en la distribución espacial de los periodos dominantes en H/V.

La mayoría de los registros de ruido ambiental no produjeron un H/V útil para identificación del periodo dominante; las relaciones H/V resultantes no mostraron un pico claro. De los 291 sitios medidos, sólo 130 produjeron cocientes H/V donde un pico pudo ser identificado, y a partir de los cuales un valor de período dominante y máxima amplificación fueron determinados (Anexo 3). De éstos 130 registros, 22 se caracterizan con los periodos dominantes entre 1.0 y 4.1 s. Estos representan los efectos de movimiento de vehículos pesados y no pueden ser utilizados para análisis.

Los restantes 108 registros se usan para construir los contornos de periodos dominantes del ruido ambiental (Figura 2.7). Las zonas de contornos entre 0.2 y 0.4 s están mostrados con color naranja. Como fue mencionado anteriormente, las caracteriza el intervalo desaconsejable para los terrenos del municipio de Comala para su vivienda típica. Figura 2.7 muestra que las zonas de contornos entre 0.2 y 0.4 s representan el territorio ocupada por la mayoría de poblaciones de la zona Central del municipio.

Al mismo tiempo, los cocientes de amplificación H/V en 43 de 49 puntos de las zonas de contornos de periodos dominantes entre 0.2 y 0.4 s varían entre 1 y 5. Los restantes 6 puntos con las amplificaciones mayores que 5 están distribuidos sin alguna regularidad y claramente no son significativos. Esto muestra la ausencia de una impedancia clara como el origen de la amplificación local en zonas de peligro potencial.

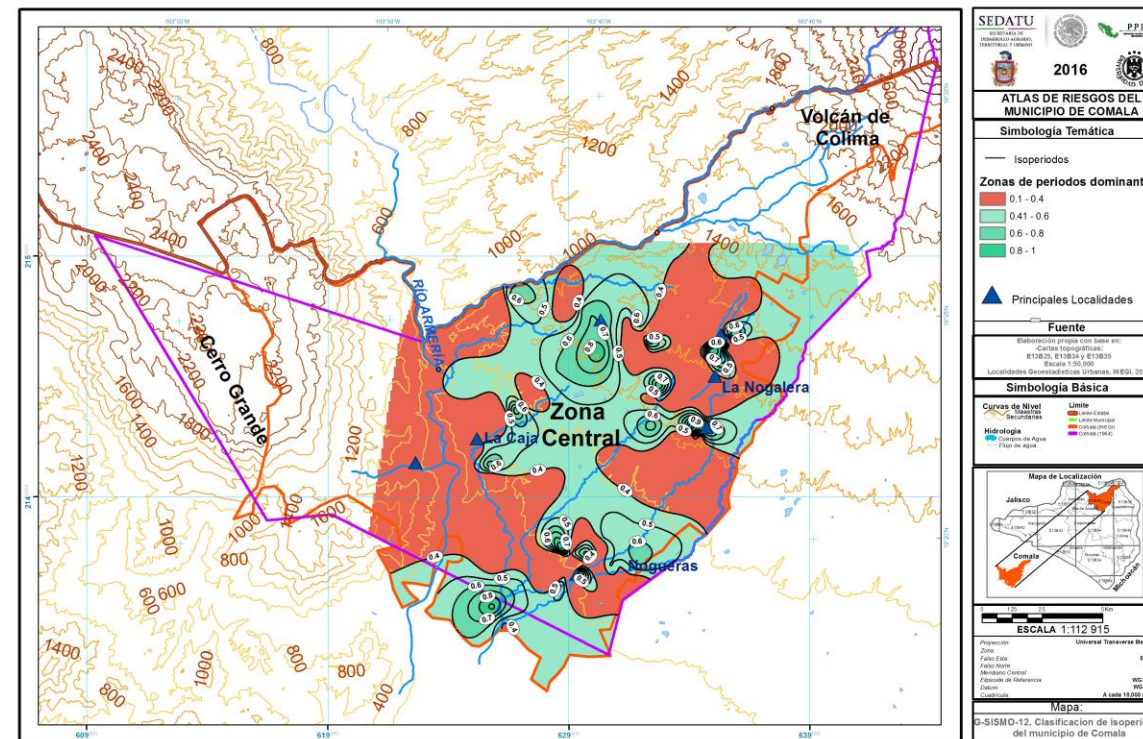


Figura 4.7. Mapa de contornos periodos dominantes de ruido ambiental en el municipio de Comala. Las zonas de color naranja (periodos entre 0.2 y 0.4 s) identifican los terrenos más peligrosos para la vivienda típica del municipio. Las zonas de color verde (periodos mayores a 0.4 hasta 1 s) identifican los terrenos menos peligrosos para la vivienda típica del municipio.

Como resultado, podemos concluir que las propiedades de suelos de la zona Central del municipio no representan un riesgo sísmico para vivienda típica del municipio. Las zonas de contornos de periodos dominantes potencialmente peligrosos para vivienda están caracterizadas por el nivel de amplificación sísmica bajo. Por eso, el efecto del periodo resonante entre las ondas sísmicas producidas por terremoto y las vibraciones propias de vivienda no tiene peligro real.

4.2.7 Microzonificación de riesgo sísmico asociado con vulnerabilidad sísmica de la vivienda residencial de poblaciones del municipio Comala

Esta sección se muestra la microzonificación de vulnerabilidad sísmica de la vivienda y riesgo sísmico asociado en municipio de Comala. Presentamos la característica general de la vivienda y la microzonificación de riesgo sísmico asociado con vulnerabilidad sísmica de vivienda para las localidades mayores del municipio con población mayor de 500 habitantes según los datos de INEGI (2010).

4.2.7.1 Característica general de la vulnerabilidad sísmica de la vivienda del municipio de Comala

La vulnerabilidad sísmica es el valor probabilístico de daño en la estructura para cada una de las intensidades posibles del movimiento del terreno. La metodología del estudio de vulnerabilidad sísmica consiste en tres etapas:

1. Clasificación de las edificaciones.
2. Inventario de las edificaciones.
3. Construcción de matrices de probabilidad de daños (MPD) producidos con un terremoto (Whitman, 1988). Las MPD pueden ser usadas para construcción de las curvas de vulnerabilidad sísmica de vivienda.



Clasificación de las edificaciones en el Estado de Colima.

Las edificaciones residenciales en los municipios del estado de Colima son construcciones de uno o dos pisos. Por eso, la clasificación de mampostería es simple y tiene sólo tres grados: tipo A (buena calidad), tipo B (intermedia calidad) y tipo C (mala calidad). A continuación se muestra su descripción desarrollada por Zobin y Ventura-Ramírez (2001). Sus fotografías se muestran en la Figura 4.8.

Tipo A, buena calidad: Tiene cimientos de mampostería de piedra, mínimo 70 cm. de ancho en la base, para terreno regular a bueno con cadenas o dalas de concreto armado de 15 cm. de ancho por 20 cm de alto, con castillos separados de 2.5 a 3 m como máximo, losa de 10 cm como mínimo de espesor de concreto armado, con muros de 15 cm de espesor como mínimo, con dos niveles de construcción comúnmente. Los materiales tienen un diseño adecuado para resistir fuerzas horizontales.

Tipo B, media calidad: Edificios reforzados, contruidos con diseños deficientes, materiales de media a buena calidad, muros de tabique de 15 cm comúnmente, techos de concreto elaborados con control deficiente en la supervisión y regular aplicación de los materiales utilizados tanto en los refuerzos como en los cementantes. No tiene un buen diseño sismorresistente. Todas las construcciones de interés social (INFONAVIT, ISSTE, etc) están incluidas en este tipo.

Tipo C, mala calidad: Generalmente son las construcciones viejas contruidas con adobe y las casas residenciales recientes contruidas en las colonias populares con bastante eficiencia en su calidad así como carentes de elementos estructurales como castillos, dalas de cerramientos con cubiertas de teja o laminas sin anclaje considerables.

Para la vivienda del municipio de Comala, aplicamos la misma clasificación de vivienda.



Figura 4.8. Fotografías de la vivienda de las localidades del Estado de Colima que ilustran tres tipos de mampostería (A, B y C).

4.2.7.1.1 Inventario de las edificaciones

El inventario de las edificaciones se realizó mediante inspección visual y con las entrevistas a sus propietarios. El formato del inventario se muestra en la Tabla 4.1



Tabla 4.1. Formato de evaluación de vivienda

Colonia o lote	Manzana	Calle, núm.	Tipo de material	Edad en años	Tipo de mampostería	Observaciones
Tapeixtles	1	Adolfo López Mateos 205	Ladrillos confinados	20-30	A	

4.2.7.1.2 Matriz probabilística de daños como un instrumento para estimar el riesgo sísmico de una localidad

Las matrices de daños, o funciones de la vulnerabilidad, caracterizan las probabilidades de daños materiales esperados para cada tipo de mampostería durante el terremoto en función de la intensidad y grados de daños. La escala de intensidades Mercalli Modificada MM de 12 grados y la escala de daños de 7 grados se presentan en la Tabla 4.2 y Tabla 4.3.

El método de aplicación de matrices de daños para pronóstico de efectos destructivos de estructuras es popular en las investigaciones de riesgo sísmico y microzonificación (Soares López y Acosta Chang, 1998; Whitman, 1988).

Tabla 4.2. Escala de intensidades Mercalli Modificada MM (para los grados de VII a IX).

Intensidad de Mercalli	Daños Esperados
Grado VII	Advertido por todos. La gente huye al exterior. Daños sin importancia en edificios de buen diseño y construcción. Daños ligeros en estructuras ordinarias bien construidas; daños considerables en las débiles o mal planeadas; rotura de algunas chimeneas. Es sentido por las personas conduciendo vehículos en movimiento.
Grado VIII	Daños ligeros en estructuras de diseño especialmente bueno; considerable en edificios ordinarios con derrumbe parcial; grande en estructuras débilmente construidas. Los muros salen de sus armaduras. Caída de chimeneas, pilas de productos en los almacenes de las fábricas, columnas, monumentos y muros. Los muebles pesados se vuelcan. Arena y lodo proyectados en pequeñas cantidades. Cambio en el nivel del agua de los pozos. Pérdida de control en las personas que guían vehículos motorizados.
Grado IX	Daño considerable en las estructuras de diseño bueno; las armaduras de las estructuras bien planeadas se desploman; grandes daños en los edificios sólidos, con derrumbe parcial. Los edificios salen de sus cimientos. El terreno se agrieta notablemente. Las tuberías subterráneas se rompen.

Tabla 4.3. La clasificación del estado de daños (Según Whitman, 1988).

Estado de daño	Grado de daño	Factor central de daño P_{1-7} (%)	Descripción
Ninguno	1	0	Sin daño
Menor	2	0.5	Daño que no necesita reparación
Ligero	3	5	Daños que requieren de una reparación simple.
Moderado	4	20	Daños que requieren de una reparación importante.



Estado de daño	Grado de daño	Factor central de daño P_{1-7} (%)	Descripción
Fuertes	5	45	Daños que requieren de una reparación costosa.
Mayores	6	80	Daños que requieren de un estudio de demolición y/o reparación.
Totales	7	100	Destrucción total de la mayoría de los elementos.
Nota. Factor central de daño P_{1-7} (%) es un costo promedio del daño expresado en porcentaje de costo actual antes del terremoto.			

Para la preparación de las matrices probabilísticas de daños (MPD) se usó el método del grupo de expertos. Los expertos llenaran los cuestionarios sobre probabilidades de daños para tres tipos de mampostería afectados por terremotos de intensidades MM VII a IX. Estos cuestionarios fueron preparados para los siete grados de daños. Después de un estudio estadístico, los valores promedios de probabilidades de daños de cada grado para mampostería diferente y las intensidades MM de VII a IX, constituyen la matriz de daños probables. En nuestro estudio usamos los resultados propuestos por el grupo de once expertos colimenses (arquitectos, ingenieros civiles e ingenieros estructurales) con gran experiencia de trabajo en ingeniería sísmica (de 11 a 35 años) y del terremoto de 2003. La matriz probabilística de daños para la vivienda de la ciudad de Colima MPD-2007 fue publicada en (Zobin et al., 2010) y está mostrada en la Tabla 3.4. La matriz MPD-2007 fue usada también para los estudios de vulnerabilidad de vivienda de todas las localidades del estado de Colima. Las curvas de vulnerabilidad sísmica de la vivienda del estado de Colima basadas en la MPD_2007 están mostradas en la Figura 4.9.

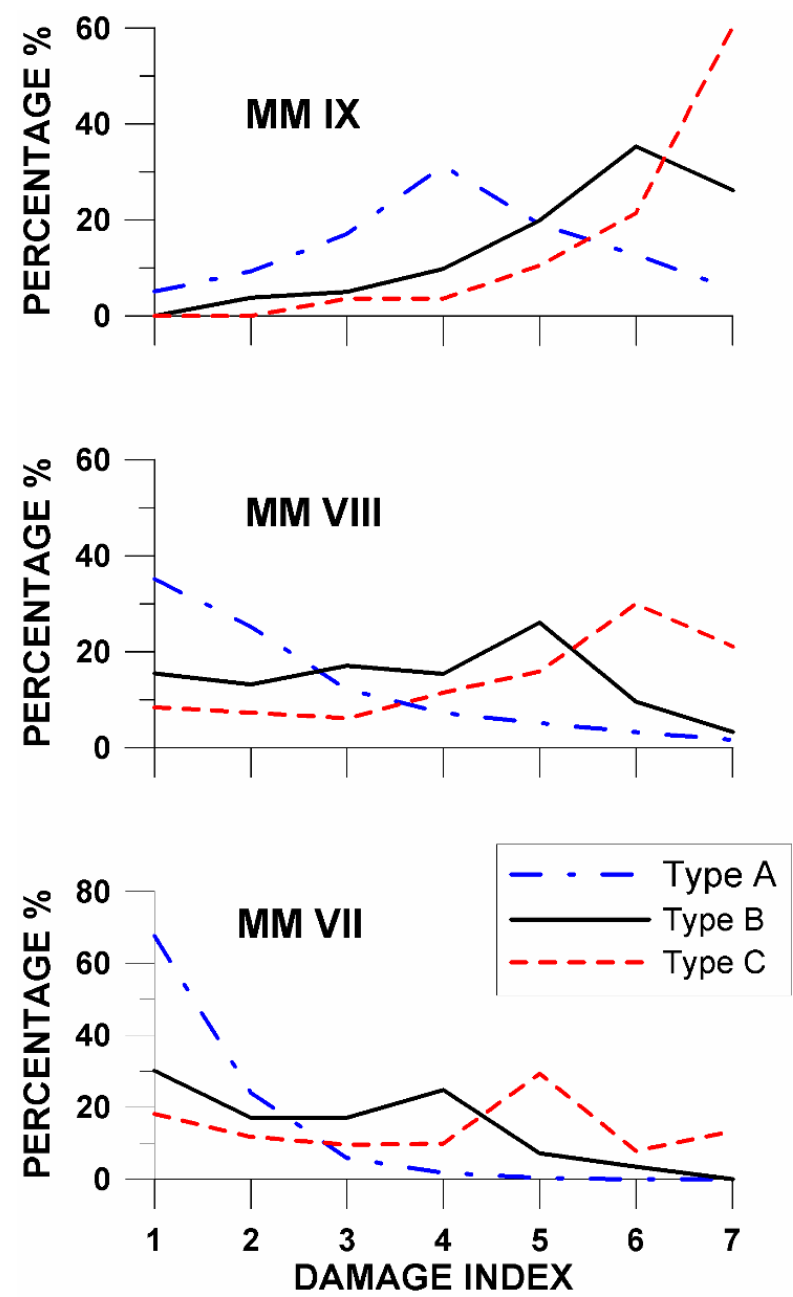


Figura 4.9. Las curvas de vulnerabilidad de tres tipos de vivienda en el estado de Colima construidas para los terremotos con intensidades de VII a IX, de acuerdo con la matriz probabilística de daños MPD_2007 (Ver Tabla 4.3.).



Tabla 4.4. Matriz probabilística de daños MPD-2007 (en %) para tres tipos de mampostería de la vivienda del estado de Colima (intensidad MM de VII a IX).

	Tipo A			Tipo B			Tipo C		
Grado de daño	VII	VIII	IX	VII	VIII	IX	VII	VIII	IX
1	68	46	5	30	15	0	18	8	0
2	24	30	9	17	13	4	12	7	0
3	6	14	17	17	17	5	10	6	4
4	2	5	31	25	15	10	10	11	4
5	0	3	19	7	26	20	29	16	11
6	0	2	13	4	10	35	8	30	21
7	0	0	6	0	4	26	13	21	60

La matriz probabilística de daños *MPD-2007* para la vivienda del estado de Colima junto con conocimiento sobre el peligro sísmico en el estado de Colima puede ser usada para microzonificación del riesgo sísmico de las localidades del estado de Colima.

Los estudios de la Fase 2 nos muestran que la intensidad máxima esperada para las poblaciones del municipio de Comala está estimada igual a VII MM (Tabla 4.4). Al mismo tiempo, los cálculos de los parámetros de riesgo sísmico durante los terremotos con intensidades VIII y IX MM para vivienda del municipio pueden servir para mejor conocimiento de los efectos esperados con los terremotos muy fuertes posibles en la zona de estudio.

4.2.7.2 Microzonificación de riesgo sísmico asociado con vulnerabilidad sísmica de vivienda para las localidades mayores del municipio de Comala

4.2.7.2.1 Metodología de estudio

Microzonificación de riesgo sísmico incluye los pronósticos probabilísticas de los daños en vivienda y los costos de pérdidas en vivienda para las zonas de riesgo bajo, intermedio y alto. Para el estudio de riesgo sísmico, como la unidad de una localidad se toma una manzana. El procedimiento consiste en evaluación de la vivienda de una localidad, estimación de las características promedios de los daños en vivienda y los costos de pérdidas en vivienda para las manzanas típicas de cada zona de riesgo y zonificación del territorio de localidad de acuerdo con los resultados obtenidos.

Para cada localidad presentamos los datos siguientes:

1. Característica socio-geográfica del sitio de la localidad;
2. Descripción de la vivienda típica de la localidad;
3. Clasificación en tres tipos de las manzanas que constituyen la localidad: de riesgo alto, intermedio y bajo;
4. Matriz probabilística de daños esperados en las manzanas tipo de localidad para los terremotos con intensidad de VII a IX grados MM;
5. Las curvas de vulnerabilidad sísmica de la vivienda de localidad para los terremotos con intensidad de VII a IX grados MM;
6. Mapa de microzonificación de riesgo sísmico para vivienda residencial para la localidad;
7. Matriz probabilística de costos de pérdidas en la vivienda de la localidad para los terremotos con intensidad de VII a IX grados MM.

La microzonificación de las manzanas residenciales está elaborada para un periodo específico de exposición, que podemos definir como un intervalo entre dos terremotos destructivos. Se puede esperar que un sismo destructivo nuevo cambie el nivel de riesgo sísmico como lo fue observado después del sismo de 2003. Entonces, estimamos el tiempo de exposición como un intervalo promedio entre los terremotos destructivos en el estado de Colima. Tenemos una secuencia de eventos destructivos ocurridos en el estado de Colima en los años 1900, 1932, 1941, 1973 y 2003. El intervalo promedio entre ellos es igual a alrededor de 26 años. Entonces, nuestro pronóstico de riesgo sísmico para las localidades del estado de Colima puede ser válido para el periodo hasta alrededor del año 2030.



4.2.7.2.1.1 Elaboración de las características de daños en vivienda para las manzanas

Clasificación de las manzanas en tres tipos para cada localidad se realizan de acuerdo con la evaluación de la vivienda de esa localidad y se presenta en formato propuesto en la Tabla 3.5.

Tabla 4.5. Formato de evaluación de las manzanas.

Núm. De manzana	Tipo A núm.	Tipo B núm.	Tipo C núm.	Número total	Tipo A %	Tipo B %	Tipo C %	Tipo de manzana
34	6	2	0	8	75	25	0	1

Con los datos del formato de la Tabla 4.5 calculamos número promedio de cada tipo de la vivienda para cada tipo de las manzanas de dicha localidad. Estos datos promedios usamos para el cálculo de matriz probabilística de daños en una manzana MPD_man para los tres tipos de manzanas.

Después de elaborar el inventario de las edificaciones de una localidad, definimos tres tipos de manzanas como base para microzonificación de riesgo sísmico de las localidades:

- Tipo 1 (riesgo sísmico bajo) con el porcentaje de la mampostería de tipo A mayor que 50%.
- Tipo 2 (riesgo sísmico intermedio) con el porcentaje de la mampostería de tipo B mayor que 50%.
- Tipo 3 (riesgo sísmico alto) con el porcentaje de la mampostería de tipo C mayor que 25%.

El cálculo de las MPD_man para los tres tipos de manzanas puede ser realizado con el siguiente procedimiento usando sus características promedios y la matriz probabilística de la vivienda en el estado de Colima MPD-2007. Construimos las formulas:

$$P = k(A)p(A) + k(B)p(B) + k(C)p(C) \tag{1}$$

$$k(A) = \frac{N(A)}{N(A + B + C)} \tag{2}$$

$$k(B) = \frac{N(B)}{N(A + B + C)} \tag{3}$$

$$k(C) = \frac{N(C)}{N(A + B + C)} \tag{4}$$

Donde
P es la probabilidad de daños en vivienda en función del estado de daños durante un terremoto con una intensidad MM;
p(A, B, C) es la probabilidad del estado de daños de la mampostería tipo A, B o C para esa intensidad de acuerdo con MPD-2007;
k (A, B, C) es el coeficiente de peso para cada tipo de mampostería en una manzana típica con el número de edificaciones N (A+B+C) de mampostería tipo A, B, y C.
Como resultado, obtenemos las tres MPD_man para las manzanas de tipos 1, 2 y 3 con riesgo sísmico bajo, intermedio y alto, respectivamente. Las MPD_man nos dan porcentaje de la vivienda dentro de una manzana con los daños de 7 tipos de acuerdo con la escala de daños. Representación de las manzanas de tipo 1, 2 y 3 en el mapa de la localidad muestra microzonificación de riesgo sísmico para esa localidad.



4.2.7.2.1.2 Cálculo de la matriz probabilística de los costos de pérdidas

Las *MPD_man* pueden ser usadas para el cálculo de la matriz probabilística de los costos de pérdidas *MPD_cos*, la que danos conocimiento sobre las pérdidas probabilísticas en precio de la vivienda de las manzanas de tres tipos durante los terremotos con intensidad MM VII a IX. Para estimar la *MPD_cos* tenemos que multiplicar *MPD_man* por la matriz que consiste de los valores de los factores centrales de daño para cada grado de daños P_{1-7} . Como se puede ver de la Tabla 4.3 de la sección anterior, los valores de P_{1-7} corresponden a porcentaje de las pérdidas en costos comparando con el precio de la vivienda antes del terremoto. Entonces, P_7 corresponde a 100% de las pérdidas comparando con el precio de la vivienda, P_6 corresponde a 80% de las pérdidas comparando con el precio de la vivienda, P_5 corresponde a 45% de las pérdidas comparando con el precio de la vivienda, P_4 corresponde a 20% de las pérdidas comparando con el precio de la vivienda, P_3 corresponde a 5% de las pérdidas comparando con el precio de la vivienda, P_2 corresponde a 0.5% de las pérdidas comparando con el precio de la vivienda, y P_1 corresponde a las casas sin daño dentro de cada tipo de manzana durante los terremotos con intensidades de VII a IX. Por eso tenemos:

$$MPD_{cos} = MPD_{man} \times P_{1-7} \quad (5).$$

La *MPD_cos* va a tener la forma mostrada en la Tabla 4.6

Tabla 4.6. Formato de la *MPD_cos* en % de la pérdida de la costa inicial de la vivienda de tres tipos de las manzanas durante los terremotos con intensidad de VII a IX.

Intensidad \ Tipo de manzana	Manzana tipo 1	Manzana tipo 2	Manzana tipo 3
VII	%	%	%
VIII	%	%	%
IX	%	%	%

Las matrices *MPD_man* y *MPD_cos* nos dan una descripción probabilística de riesgo sísmica para la vivienda de una localidad en sus tres zonas de riesgo bajo, intermedio y alto.

4.2.7.2.2 Microzonificación de las localidades

En las sub-secciones siguientes está realizada microzonificación de riesgo sísmico de vivienda para las cuatro poblaciones mayores del municipio de Comala con población mayor de 500 habitantes según los datos de INEGI (2010): Comala (9,442), Suchitlan (4,450), Cofradía de Suchitlan (1,746) y La Caja (717). La evaluación de la vivienda en cada localidad y características de sus manzanas están presentadas en Anexo 4.

La vivienda de la localidad de Zacualpan (1,905) no fue evaluada considerando que la comunidad atraviesa por conflictos de carácter social y se quiso evitar la incidencia de algún conflicto entre los pobladores y los evaluadores.

4.2.7.2.2.1 Comala

Característica socio-geográfica del sitio de la población

La población de Comala es la cabecera municipal del municipio de Comala del estado de Colima, su población es de 9,442 hab. y tiene un área de 5 kilómetros cuadrados (INEGI, 2010). Se encuentra situada entre las coordenadas 103°45.297' longitud oeste y de 19°19.627' de latitud norte, con altura de 615 metros en el centro de la población. Comala se encuentra a 6 km de la capital del estado Ciudad de Colima, limita al Norte con el municipio de Zapotitlán (perteneciente al estado de Jalisco), al Este con los municipios de Villa de Álvarez y Cuauhtémoc y al Oeste con el municipio de Minatitlán.



Vivienda típica de la población de Comala

La población de Comala tiene viviendas en su mayoría de calidad intermedia a baja: la parte más antigua constituye centro de la población, las partes más recientes se extienden en las partes aledañas, principalmente hacia el Norte, Oeste y Sur de la población. Las casas residenciales en su mayoría son de uno o dos pisos. Las fotografías de casas características de tres tipos de mampostería (A, B y C) se muestran en la Figura 4.10.

Tipo A



Tipo B



Tipo C



Figura 4.10. Fotografías de casas residenciales de tres tipos en la población de Comala.



Clasificación en tres tipos de las manzanas que constituyen la población: de riesgo alto, intermedio y bajo.

La evaluación de vivienda de la población de Comala fue realizada para 136 manzanas residenciales de la población. De ellas 14 manzanas (10%) son de tipo 1. Se encontraron 42 manzanas (31%) son de tipo 2 y 80 manzanas (59%) son de tipo 3. Las fotografías de las calles de manzanas de tres tipos se muestran en la Figura 3.4. La distribución promedio de la vivienda de tres tipos dentro de cada tipo de manzanas está presentada en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7. Características estadísticas de las manzanas de la localidad de Comala.

Tipo de manzanas	Numero de manzanas de cada tipo	Numero promedio de la vivienda tipo A	Numero promedio de la vivienda tipo B	Numero promedio de la vivienda tipo C	% de tipo A	% de tipo B	% de tipo C
Tipo1	14	4.4	0.7	0.1	84	14	3
Tipo2	42	2	7	1	24	71	6
Tipo3	80	2	9	10	9	42	49



Tipo 1



Tipo 2



Tipo 3



Figura 4.11. Fotografías de calles que representan dos tipos de manzanas en la población de Comala.

Matriz probabilística de daños esperados en las manzanas tipo de la población para los terremotos con intensidad de VII a IX grados MM

Matriz probabilística de daños esperados en las manzanas de tres tipos en la población de Comala para los terremotos con intensidad de VII a IX grados MM (*MPD_man*) con las características promedios está presentada en la Tabla 4.8.



Tabla 4.8. Matriz probabilística de daños para la vivienda de la población de Comala (en %) para los terremotos con intensidad de VII a IX grados MM.

Grado de daño	VII			VIII			IX		
	Manz.	Manz.	Manz.	Manz.	Manz.	Manz.	Manz.	Manz.	Manz.
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
1	61	38	28	41	22	14	4	1	0
2	23	18	15	27	17	12	8	5	3
3	8	14	13	14	16	11	15	8	6
4	5	19	16	7	12	13	27	15	9
5	2	7	17	7	20	19	19	19	16
6	1	3	6	4	9	19	16	29	26
7	0	1	6	1	4	12	10	23	41

La Tabla 4.8 nos indica que en las viviendas, que pertenecen a las manzanas tipo 1, podemos esperar 1% de probabilidad de grados de daño 6 y 7 en caso de terremotos con intensidad VII, 5% en caso de terremoto con intensidad VIII y 26% en caso de terremoto con intensidad IX. Se puede esperar una probabilidad de 4% para los grados de daño 6 y 7 en viviendas que pertenecen a las manzanas tipo 2 en caso de terremoto con intensidad VII, 13% en caso de terremoto con intensidad VIII y 52% en caso de terremoto con intensidad IX. Para las manzanas tipo 3, se puede esperar una probabilidad de 12% en los grados de daño 6 y 7 en las viviendas en caso de un terremoto con intensidad VII, 31% en caso de terremoto con intensidad VIII y 67% en caso de terremoto con intensidad IX.

Las curvas de vulnerabilidad sísmica de la vivienda de la población de Comala para los terremotos con intensidad de VII a IX grados MM.

En base de las *MPD_man*, mostradas en la Tabla 4.8, están construidas las curvas probabilísticas de vulnerabilidad sísmica de la vivienda de la localidad para los terremotos con intensidad de VII a IX grados MM (Figura 4.12).

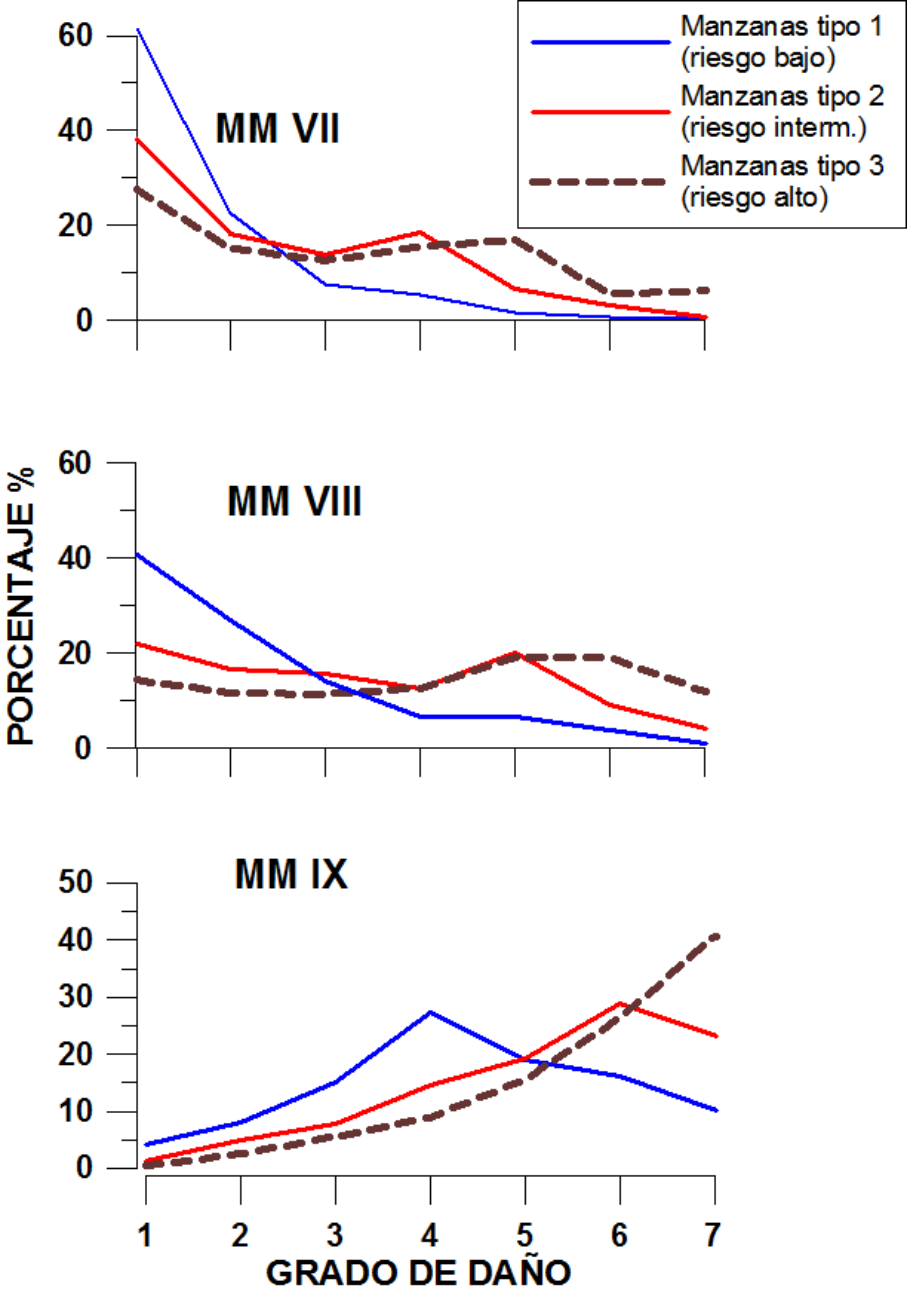


Figura 4.12. Las curvas probabilísticas de vulnerabilidad sísmica de la vivienda construidas para los tres tipos de manzanas de la población de Comala.



Mapa de microzonificación de riesgo sísmico para la población de Comala

El mapa construido en base de la clasificación de las manzanas presentada en la Tabla 4.7 está mostrado en la Figura 4.13.

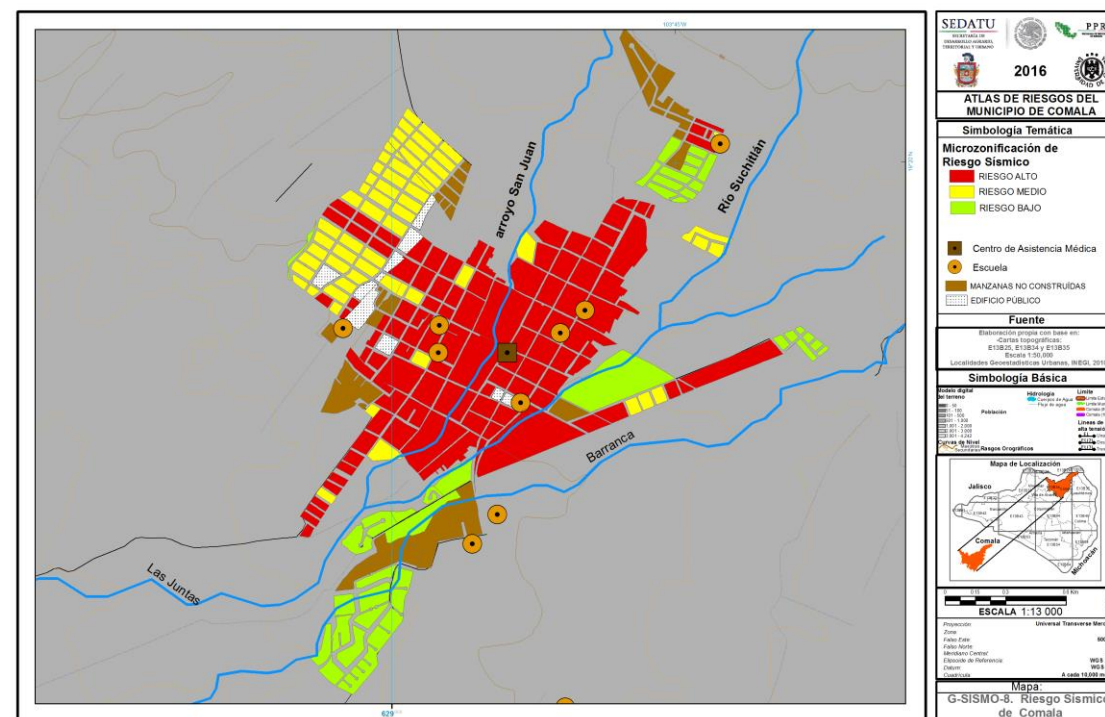


Figura 4.13. Mapa de microzonificación de riesgo sísmico de la población de Comala basado en la vulnerabilidad sísmica de la vivienda.

Los diferentes tipos de manzana tienen una distribución definida. Las manzanas de tipo 1 se localizan en la parte nueva de la población de Comala en la parte norte y sur de la población. Las manzanas de tipo 2 están distribuidas al oeste de la población y son casas de interés social y algunas casas son construidas sin proyecto. Las manzanas de tipo 3 están constituidas en la parte centro de la población y son casas antiguas construidas de adobe.

Matriz probabilística de costos de pérdidas en vivienda en la población de Comala para los terremotos con intensidad de VII a IX grados MM.

Conocimiento de la *MPD_man* nos permite construir la *MPD_cos* de los costos de perdidas en vivienda en la población de Comala. Para eso, multiplicamos la matriz probabilística de daños para los tres tipos de manzanas *MPD_man* por la matriz que consiste de los valores de los factores centrales de daño para cada grado de daños P_{1-7} . Los resultados se representan en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9. Matriz probabilística de costos de pérdidas en vivienda en la población de Comala para los tres tipos de manzanas durante los terremotos con intensidad MM de VII a IX (en % de pérdidas comparando con el precio de la vivienda antes del terremoto).

Intensidad/Tipo de Manzana	Manzana tipo 1	Manzana tipo 2	Manzana tipo 3
VII	3	11	22
VIII	9	24	39
IX	38	58	71



El costo de las pérdidas puede ser estimado con conocimiento del costo promedio de toda la vivienda de tres tipos que constituye las manzanas de cada tipo de manzana al momento de terremoto C_{man} multiplicado por el número de manzanas de este tipo N_{man} y sumado para toda la localidad.

4.2.7.2.2 Suchitlán

Característica socio-geográfica del sitio de la población

Localidad de Suchitlán se ubica en el municipio Comala en el estado de Colima en las coordenadas geográficas de latitud 19.375556 y longitud -103.708611 a una mediana altura de 960 metros sobre el nivel del mar (msnm).

Según datos de INEGI (2010), Suchitlán contaba con 4,450 habitantes, de estos 2,297 hombres y 2,153 mujeres. Para ese año se tenían registradas 1,351 viviendas de las cuales había 1,123 habitadas. Según datos de características de la vivienda, había 139 casas con piso de tierra (alrededor del 12.41% de toda vivienda de población), 58 viviendas sin drenaje, 52 viviendas sin luz eléctrica, 47 viviendas sin agua entubada, y 107 viviendas sin sanitario.

La localidad está asentada sobre una capa delgada (alrededor de 800 m) de los depósitos de avalanchas y lahares volcánicos con edad aproximada de 2,500 años, producidos por la actividad de los volcanes andesíticos del Complejo Volcánico de Colima situados a una distancia de 17 Km al norte de la localidad. Suchitlán está situada a distancia aproximada de 80 Km. de la zona de subducción Mexicana y coloca a esta localidad en la zona D de peligro sísmico máximo según el mapa de regionalización sísmica de México.

Vivienda típica de la población de Suchitlán

La localidad de Suchitlán representa una localidad rural donde las casas fueron construidas por los mismos pobladores y carecen de diseño y calidad en los materiales de construcción. Las casas en esta localidad son de calidad media y baja. La clasificación de la vivienda tiene dos grados: tipo B (intermedia calidad) y tipo C (mala calidad).

Las fotografías de casas de dos tipos de mampostería se muestran en la Figura 4.14.



Figura 4.14. Fotografías de tipos de casas de la localidad de Suchitlán en el municipio de Comala.

Clasificación de las manzanas que constituyen la población: de riesgo alto, intermedio y bajo.

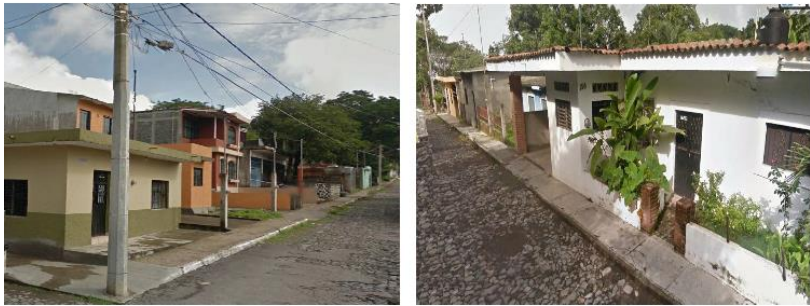
La evaluación de vivienda de la localidad de Suchitlán fue realizada durante 2017 para las 49 manzanas de la comunidad. De estas, 33 manzanas (67%) son de tipo 2 riesgo intermedio), y 16 (33%) son de tipo 3 (riesgo alto) y no hay manzanas tipo 1. Las fotografías de las calles de manzanas de los dos tipos se muestran en la Figura 4.15. La distribución promedio de la vivienda de tipo B y C para cada tipo de manzanas está presentada en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10. Estadísticas de las manzanas de la localidad de Suchitlán, Comala.

Tipo de manzanas	Num. de manzanas	Tipo num B,	Tipo num C,	Tipo B, %	Tipo C, %
Tipo 2	33	17	9	65.6	34.4
Tipo 3	16	19	3	91.1	8.9



Tipo 2



Tipo 3



Figura 4.15. Fotografías de calles que representan los tipos de manzanas en la localidad de Suchitlán en el municipio de Comala.

Matriz probabilística de daños esperados en las manzanas tipo de la población para los terremotos con intensidad de VII a IX grados MM

Matriz probabilística de daños esperados en las manzanas de la localidad de Suchitlán para los terremotos con intensidad de VII a IX grados MM (MPD_man) está presentada en la Tabla 4.11.

Tabla 4.11. Matriz probabilística de daños para viviendas de la localidad de Suchitlán (en %) para los terremotos con intensidad de VII a IX grados MM.

Grado de daño	VII		VIII		IX	
	Manz.	Manz.	Manz.	Manz.	Manz.	Manz.
	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 2	Tipo 3
1	26	28	13	14	0	0
2	15	16	11	12	3	3
3	15	16	13	16	5	5
4	20	23	14	14	8	9
5	15	10	23	25	17	19
6	7	5	26	13	18	33
7	5	2	10	6	38	31



La Tabla 3.11 nos indica que se puede esperar 12% de los daños de grados 6 y 7 en vivienda para manzanas tipo 2 en caso de terremoto con intensidad VII, 36% en caso de terremoto con intensidad VIII y 56% en caso de terremoto con intensidad IX. Para las manzanas tipo 3, se puede esperar 7% de los danos de grados 6 y 7 en vivienda en caso de terremoto con intensidad VII, 19% en caso de terremoto con intensidad VIII y 64% en caso de terremoto con intensidad IX.

Las curvas de vulnerabilidad sísmica de la vivienda de la población de Suchitlan para los terremotos con intensidad de VII a IX grados MM.

En base de las *MPD_man*, mostrada en la Tabla 4.11, están construidas las curvas probabilísticas de vulnerabilidad sísmica de la vivienda de la localidad de Suchitlán para los terremotos con intensidad de VII a IX grados MM (Figura 4.16).

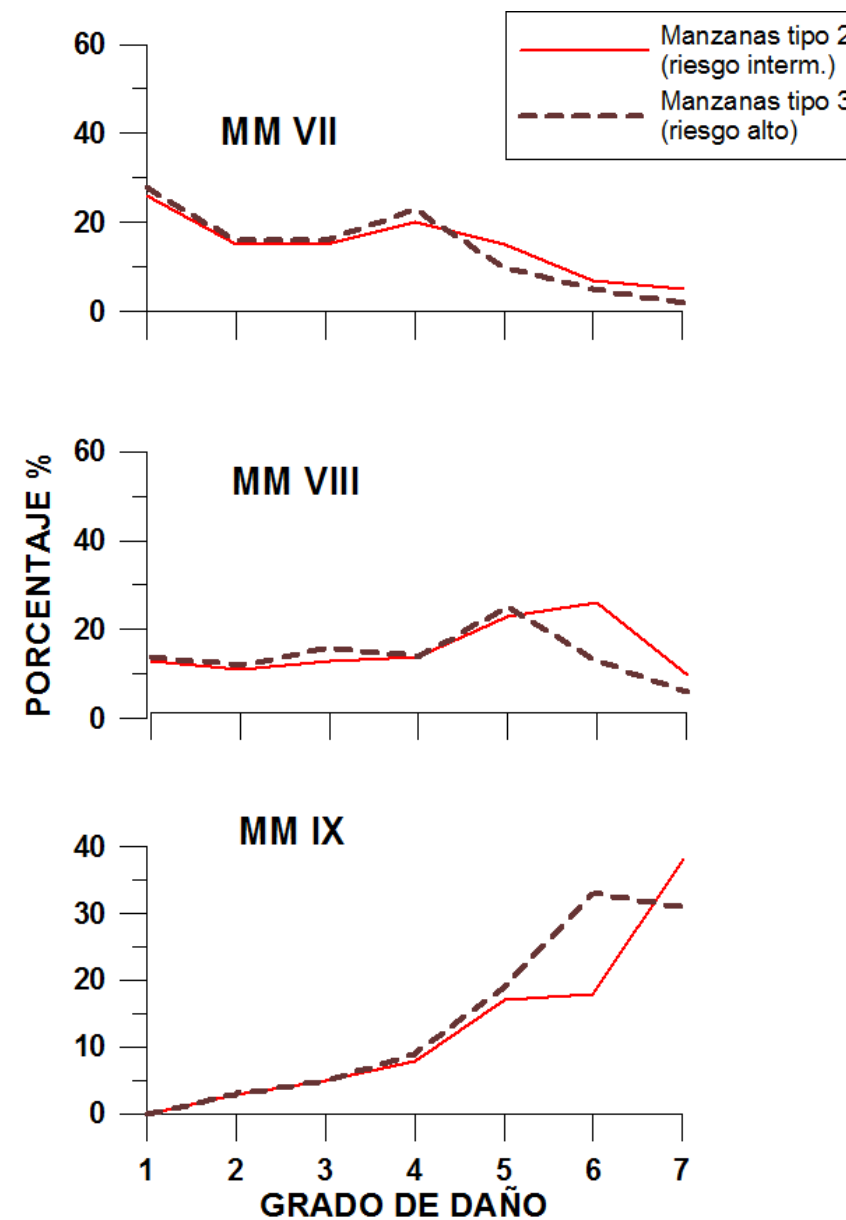


Figura 4.16. Las curvas probabilísticas de vulnerabilidad sísmica de la vivienda construidas para los tipos de manzanas de la localidad de Suchitlán en el municipio de Comala.

Mapa de microzonificación de riesgo sísmico para la población de Suchitlán

El mapa construido en base de la clasificación de las manzanas presentada en la Tabla 3.11 está mostrado en la Figura 3.10.

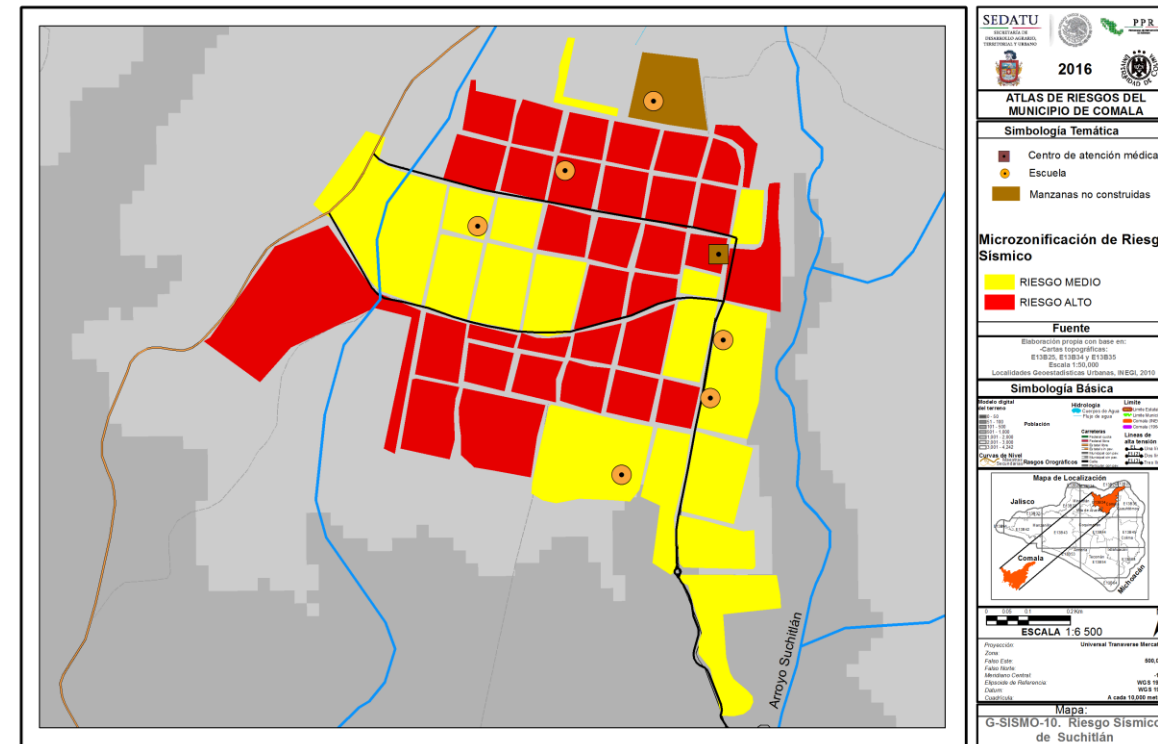


Figura 4.17. Mapa de microzonificación de riesgo sísmico de la localidad de Suchitlán basado en la vulnerabilidad sísmica de la vivienda.

En la localidad de Suchitlán no existen manzanas tipo 1, solo las manzanas tipo 2 y tipo 3. Las manzanas tipo 3 están localizadas en la parte Oeste y a bordo de Carretera en la parte Este de Suchitlán.

La mayoría de la vivienda, asentada en depósitos fluviales no consolidados, está susceptible a sufrir licuefacción durante un terremoto. En la localidad de Suchitlán existen el arroyo El Mamey que cruza por el centro de la comunidad, en la parte Oeste existe otro arroyo pequeño sin nombre y en la parte Este existe el arroyo de Suchitlán. Las viviendas en esa zona podrían sufrir efectos más destructivos durante un terremoto por el efecto de licuefacción.

Matriz probabilística de costos de pérdidas en vivienda en la población de Suchitlán para los terremotos con intensidad de VII a IX grados MM.

Conocimiento de la *MPD_man* nos permite construir la *MPD_cos* de los costos de perdidas en vivienda en la localidad de Suchitlán. Para eso, multiplicamos la matriz probabilística de danos para los 2 tipos de manzanas *MPD_man* por la matriz que consiste de los valores de los factores centrales de daño para cada grado de daños P_{1-7} . Los resultados se representan en la Tabla 4.12.



Tabla 4.12. Matriz probabilística de costos de pérdidas en vivienda en la localidad de Suchitlán para los dos tipos de manzanas durante los terremotos con intensidad MM de VII a IX (en % de pérdidas comparando con el precio de la vivienda antes del terremoto).

Intensidad \ Tipo de manzana	Manzana tipo 2	Manzana tipo 3
VII	22.2	16
VIII	44.7	31.3
IX	61.9	68

El costo de las pérdidas puede ser estimado con conocimiento del costo promedio de la vivienda para cada tipo de manzana al momento de terremoto C_{man} multiplicado por el número de manzanas de este tipo N_{man} y sumado para toda la localidad.

4.2.7.2.2.3 Cofradía de Suchitlán

Característica socio-geográfica del sitio de la población

Cofradía de Suchitlán es una localidad del municipio de Comala que para el año 2010 contaba con 1, 746 habitantes. La localidad está situada al norte de la cabecera municipal a una distancia de aproximadamente 11 Km. Cofradía de Suchitlán está localizada en 19.410278 N latitud, -103.7025 longitud a las altitudes hasta 1,308 m.s.n.m.

Según datos de INEGI (2010), Cofradía de Suchitlán contaba con 570 viviendas particulares habitadas, de las cuales 5 viviendas no disponían de agua entubada y 4 no contaban con servicio de drenaje, 7 viviendas no tenía energía eléctrica y 13 viviendas tenían piso de tierra. Las carencias de servicios básicos en esta localidad colocan a Cofradía de Suchitlán en un grado de marginación bajo.

Vivienda típica de la población de Cofradía de Suchitlán

La localidad está asentada sobre una capa delgada (alrededor de 800 m) de los depósitos de avalanchas y lahares volcánicos con edad entre 1,800 y 2,500 años producidos por la actividad de los volcanes andesíticos del Complejo Volcánico de Colima situados a una distancia de 14 Km al norte de la localidad. Cofradía de Suchitlán está situada a distancia de unos 88 Km. de la zona de subducción Mexicana y coloca a esta localidad en la zona D de peligro sísmico máximo según el mapa de regionalización sísmica de México (Ver Figura 1.2).

La localidad de Cofradía de Suchitlán representa una localidad rural donde las casas fueron construidas por los mismos pobladores y carecen de diseño y calidad en los materiales de construcción. Las casas de población son de calidad media (tipo B) y baja (Tipo C).

Las fotografías de casas de dos tipos de mampostería se muestran en la Figura 4.18.



Tipo B



Tipo C



Figura 4.18. Fotografías de tipos de casas de la localidad de Cofradía de Suchitlán en el municipio de Comala.

Clasificación de las manzanas que constituyen la población: de riesgo alto, intermedio y bajo.

La evaluación de vivienda de la localidad de Cofradía de Suchitlán fue realizada durante 2017 para las 37 manzanas de la comunidad. De estas, 25 manzanas (68%) son de tipo 2 riesgo intermedio), 12 manzanas (32%) son de tipo 3 (riesgo alto) y no hay manzanas tipo 1. Las fotografías de las calles de manzanas de los dos tipos se muestran en la Figura 4.19. La distribución promedio de la vivienda de tipo B y C para cada tipo de manzanas está presentada en la Tabla 4.13.

Tabla 4.13. Estadísticas de las manzanas de la localidad de Cofradía de Suchitlán, Comala.

Tipo de manzanas	Num. de manzanas	Tipo num B,	Tipo num C,	Tipo B, %	Tipo C, %
Tipo 2	14	13	1	93.54	5.68
Tipo 3	21	14	7	66.8	33.2



Tipo 2



Tipo 3



Figura 4.19. Fotografías de calles que representan los dos tipos de manzanas en la localidad de Cofradía de Suchitlán en el municipio de Comala.

Matriz probabilística de daños esperados en las manzanas tipo de la población para los terremotos con intensidad de VII a IX grados MM

Matriz probabilística de daños esperados en las manzanas de la localidad de Cofradía de Suchitlán para los terremotos con intensidad de VII a IX grados MM (MPD_man) está presentada en la Tabla 4.14.

Tabla 4.14. Matriz probabilística de daños para viviendas de la localidad de Cofradía de Suchitlán (en %) para los terremotos con intensidad de VII a IX grados MM.

Grado de daño	VII		VIII		IX	
	Manz.	Manz.	Manz.	Manz.	Manz.	Manz.
	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 2	Tipo 3
1	29	26	15	13	0	0
2	17	15	13	11	4	3
3	17	15	16	13	5	5
4	24	20	15	14	10	8
5	9	14	25	23	19	17
6	5	5	20	17	14	30
7	1	4	5	10	28	37

La Tabla 4.14 nos indica que se puede esperar 7% de los daños de grados 6 y 7 en vivienda para manzanas tipo 2 en caso de terremoto con intensidad VII, 25% en caso de terremoto con intensidad VIII y 42% en caso de terremoto con intensidad IX. Para las manzanas tipo 3, se puede esperar 9% de los danos de grados 6 y 7 en vivienda en caso de terremoto con intensidad VII, 27% en caso de terremoto con intensidad VIII y 67% en caso de terremoto con intensidad IX.



Las curvas de vulnerabilidad sísmica de la vivienda de la población de Cofradía de Suchitlan para los terremotos con intensidad de VII a IX grados MM.

En base de las *MPD_man*, mostrada en la Tabla 4.14, están construidas las curvas probabilísticas de vulnerabilidad sísmica de la vivienda de la localidad de Cofradía de Suchitlán para los terremotos con intensidad de VII a IX grados MM (Figura 4.20).

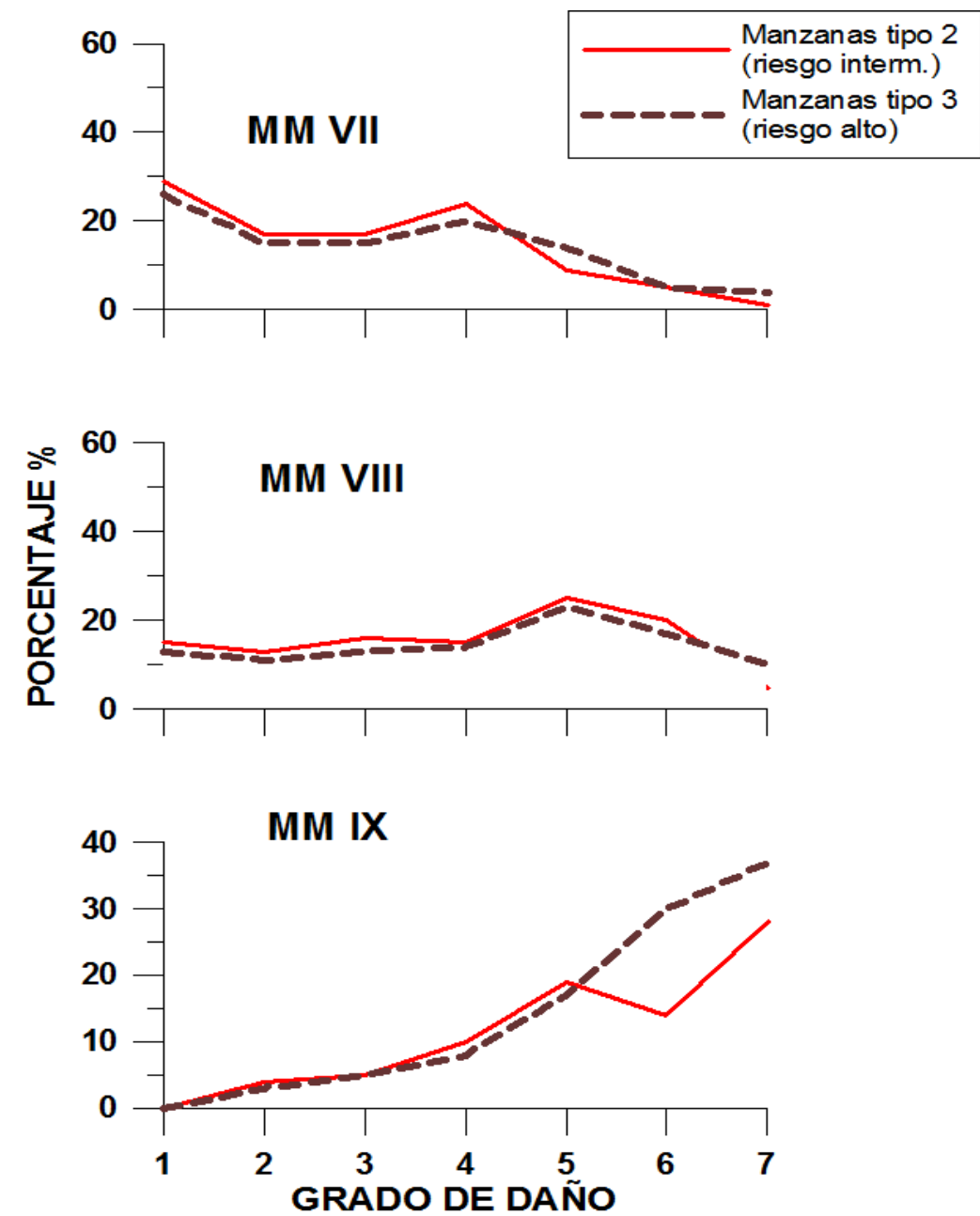


Figura 4.20. Las curvas probabilísticas de vulnerabilidad sísmica de la vivienda construidas para los tipos de manzanas de la localidad de Cofradía de Suchitlán en el municipio de Comala.

Mapa de microzonificación de riesgo sísmico para la población de Cofradía de Suchitlán

El mapa, construido en base de la clasificación de las manzanas, presentada en la Tabla 4.14, está mostrado en la Figura 4.21.

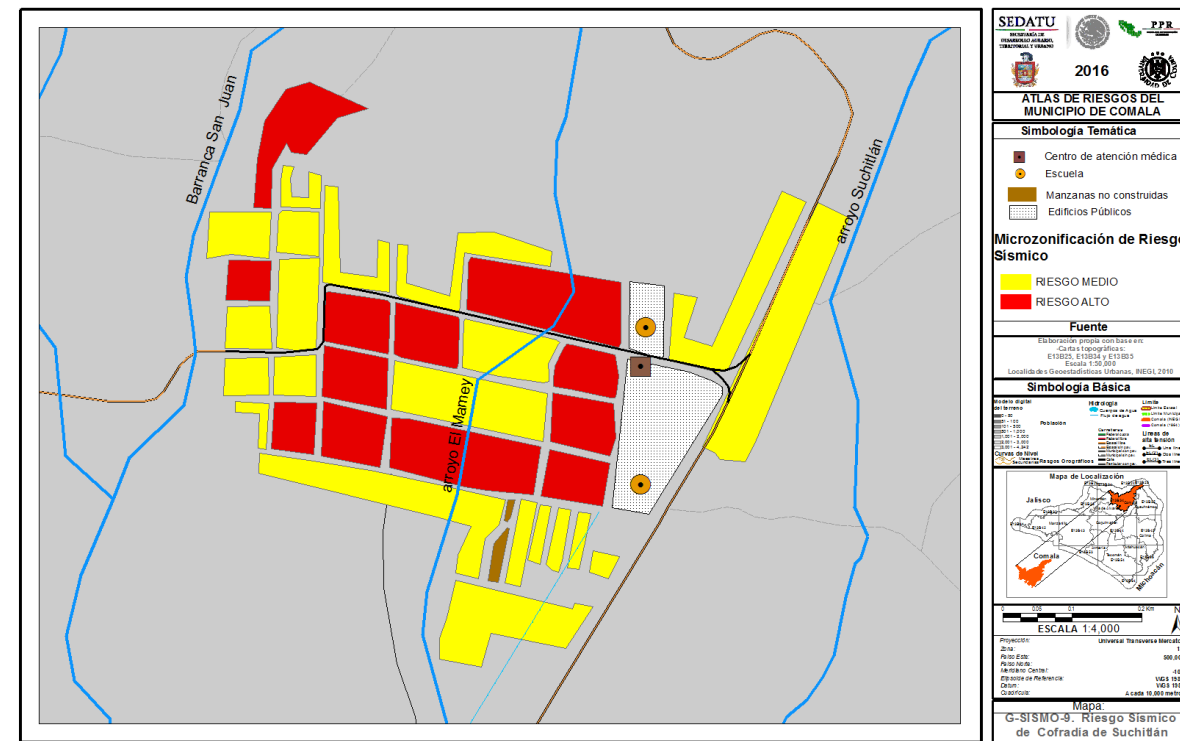


Figura 4.21. Mapa de microzonificación de riesgo sísmico de la localidad de Cofradía Suchitlán basado en la vulnerabilidad sísmica de la vivienda.

En la localidad de Suchitlán no existen manzanas Tipo 1; las manzanas Tipo 2 predominan en la comunidad. Entre las manzanas tipo 2, las 9 manzanas están localizadas en la parte este, 2 en la parte oeste a bordo de carretera, 7 localizadas al sur y 2 localizadas en el centro. Las manzanas tipo 3 están localizadas en su mayoría en el centro de la localidad y 2 manzanas en la parte noreste.

La mayoría de la vivienda está asentada en depósitos fluviales no consolidados y son susceptibles a sufrir licuefacción durante un terremoto. En la localidad Cofradía de Suchitlán existen tres arroyos: el arroyo El Mamey que cruza por el centro de la comunidad, arroyo Barranca San Juan situado en la parte este y el arroyo de Suchitlán en la parte oeste. Las viviendas en esa zona podrían sufrir efectos más destructivos durante un terremoto por el efecto de licuefacción.

Matriz probabilística de costos de pérdidas en vivienda en la población de Cofradía de Suchitlán para los terremotos con intensidad de VII a IX grados MM.

Conocimiento de la *MPD_man* nos permite construir la *MPD_cos* de los costos de perdidas en vivienda en la localidad de Cofradía de Suchitlán. Para eso, multiplicamos la matriz probabilística de danos para los 2 tipos de manzanas *MPD_man* por la matriz que consiste de los valores de los factores centrales de daño para cada grado de daños P_{1-7} . Los resultados se representan en la Tabla 4.15.



Tabla 4.15. Matriz probabilística de costos de pérdidas en vivienda en la localidad de Cofradía de Suchitlán para los dos tipos de manzanas durante los terremotos con intensidad MM de VII a IX (en % de pérdidas comparando con el precio de la vivienda antes del terremoto).

Intensidad \ Tipo de manzana	Manzana tipo 2	Manzana tipo 3
VII	14.8	19.1
VIII	36.1	37.5
IX	50	70.5

El costo de las pérdidas puede ser estimado con conocimiento del costo promedio de la vivienda para cada tipo de manzana al momento de terremoto C_{man} multiplicado por el número de manzanas de este tipo N_{man} y sumado para toda la localidad.

4.2.7.2.2.4 La Caja

Característica socio-geográfica del sitio de la población

La Caja es una localidad del municipio de Comala que para el año 2010 contaba con 717 habitantes. La localidad está situada al oeste de la cabecera municipal a una distancia de 6 Km aproximadamente. La Caja está localizada en 19°22'15.88"N de latitud, 103°47'53.04" de longitud y a las alturas hasta 656 m.s.n.m.

Según datos de INEGI (2010), La Caja contaba con 208 viviendas particulares habitadas, de las cuales 8 viviendas no disponían de agua entubada y 12 no contaban con servicio de drenaje. Totalmente 11 viviendas no tenían servicio de energía eléctrica y 3 viviendas tenían piso de tierra. Las carencias de servicios básicos en esta localidad colocan a La Caja en un grado de marginación medio.

La localidad está asentada sobre una capa delgada (alrededor de 800 m) de los depósitos de avalanchas y lahares volcánicos con edad entre 1,800 y 2,500 años producidos por la actividad de los volcanes andesíticos del Complejo Volcánico de Colima situados a una distancia de 24 Km al norte de la localidad. La Caja está situada a distancia de unos 78 Km. de la zona de subducción Mexicana y coloca a esta localidad en la zona D de peligro sísmico máximo según el mapa de regionalización sísmica de México (Ver Figura 1.2)

Vivienda típica de la población de La Caja

La localidad de La Caja representa una localidad rural donde las casas fueron construidas por los mismos pobladores y carecen de diseño y calidad en los materiales de construcción. Las casas de población son de calidad media (tipo B) y baja (tipo C). Las fotografías de casas de dos tipos de mampostería se muestran en la Figura 4.22.



Tipo B



Tipo C



Figura 4.22. Fotografías de casas residenciales de la localidad de La Caja en el municipio de Comala.

Clasificación de las manzanas que constituyen la población: de riesgo alto, intermedio y bajo.

La evaluación de vivienda de la localidad de La Caja fue realizada durante 2017 para las 18 manzanas de la comunidad. De estas, 6 manzanas (33.33%) son de tipo 2, y 12 (66.66%) son de tipo 3 y no hay manzanas tipo1. Las fotografías de las calles de manzanas de los dos tipos se muestran en la Figura 4.23. La distribución promedio de la vivienda de tipo A, B o C para cada tipo de manzanas está presentada en la Tabla 4.16.

Tabla 4.16. Estadísticas de las manzanas de la localidad de La Caja, Comala.

Tipo de manzanas	Numero de manzanas de cada tipo	Numero promedio de la vivienda tipo B	Numero promedio de la vivienda tipo C	% de tipo B	% de tipo C
Tipo 2	17	14	3	85	15
Tipo 3	18	12	6	65	35



Tipo 2



Tipo 3



Figura 4.23. Fotografías de calles que representan los tipos de manzanas en la localidad de La Caja en el municipio de Comala.

Matriz probabilística de daños esperados en las manzanas tipo de la población para los terremotos con intensidad de VII a IX grados MM

Matriz probabilística de daños esperados en las manzanas en la población de Comala para los terremotos con intensidad de VII a IX grados MM (*MPD_man*) con las características promedios está presentada en la Tabla 4.17.

Tabla 4.17. Matriz probabilística de daños para viviendas de la localidad de La Caja (en %) para los terremotos con intensidad de VII a IX grados MM.

Grado de daño	VII		VIII		IX	
	Manz.	Manz.	Manz.	Manz.	Manz.	Manz.
	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 2	Tipo 3	Tipo 2	Tipo 3
1	28	26	14	13	0	0
2	16	15	12	11	3	3
3	16	15	15	13	5	5
4	22	20	14	14	9	8
5	11	14	24	23	18	17
6	5	5	20	17	14	30
7	2	4	7	10	32	37



La Tabla 4.17 nos indica que para las manzanas tipo 2 se puede esperar en caso de terremoto con intensidad VII hasta 7% danos en vivienda de grados 6 y 7, en caso de terremoto con intensidad VIII hasta 27% y en caso de terremoto con intensidad IX hasta 46%. Para las manzanas tipo 3, se puede esperar 9% de los danos de grados 6 y 7 en vivienda en caso de terremoto con intensidad VII, 27% en caso de terremoto con intensidad VIII y 67% en caso de terremoto con intensidad IX.

Las curvas de vulnerabilidad sísmica de la vivienda de la población de La Caja para los terremotos con intensidad de VII a IX grados MM.

En base de las *MPD_man*, mostrada en la Tabla 4.17, están construidas las curvas probabilísticas de vulnerabilidad sísmica de la vivienda de la localidad de La Caja para los terremotos con intensidad de VII a IX grados MM (Figura 4.24).

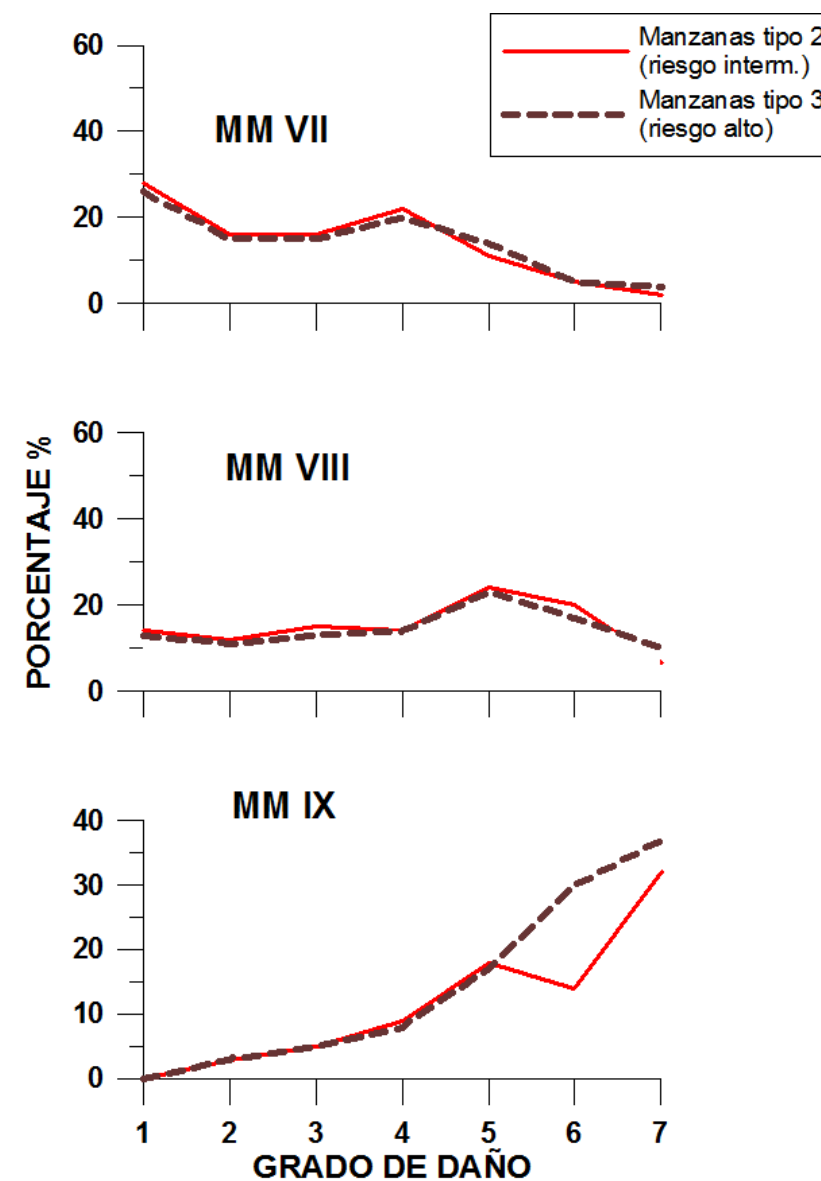


Figura 4.24. Las curvas probabilísticas de vulnerabilidad sísmica de la vivienda construidas para los tipos de manzanas de la localidad de La Caja en el municipio de Comala.



Se puede ver que tenemos la diferencia significativa en vulnerabilidad sísmica de edificaciones solo para el caso del terremoto con intensidad IX. Para terremotos con intensidades de VII y VIII la vulnerabilidad de vivienda en La Caja es prácticamente igual.

Mapa de microzonificación de riesgo sísmico para la población de Comala

El mapa construido en base de la clasificación de las manzanas presentada en la Tabla 4.17 está mostrado en la Figura 4.25.

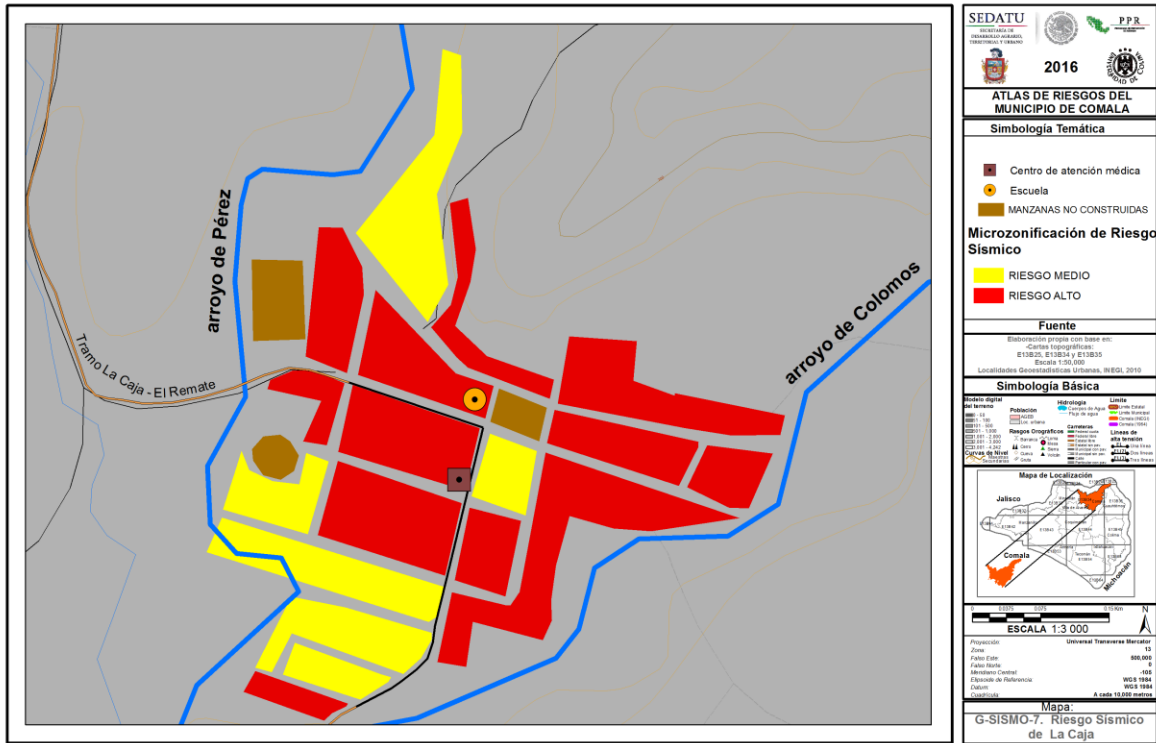


Figura 4.25. Mapa de microzonificación de riesgo sísmico de la localidad de La Caja basado en la vulnerabilidad sísmica de la vivienda.

En la localidad de La Caja no existen manzanas Tipo 1, las manzanas Tipo 3 predominan en la comunidad y en la parte norte y sur están distribuidas las manzanas Tipo 2. La mayoría de las poblaciones, asentadas en depósitos fluviales, no consolidados, son susceptibles a sufrir licuefacción durante un terremoto. En la localidad de La Caja existen el arroyo de Peréz en la parte oeste y el arroyo de Colomos en la parte oeste, las viviendas en esa zona podrían sufrir efectos más destructivos durante un terremoto por el efecto de licuefacción.

Matriz probabilística de costos de pérdidas en vivienda en la población de Comala para los terremotos con intensidad de VII a IX grados MM.

Conocimiento de la *MPD_man* nos permite construir la *MPD_cos* de los costos de perdidas en vivienda en la localidad de La Caja. Para eso, multiplicamos la matriz probabilística de danos para los 2 tipos de manzanas *MPD_man* por la matriz que consiste de los valores de los factores centrales de daño para cado grado de danos *P₁₋₇*. Los resultados se representan en la Tabla 4.18.



Tabla 4.18. Matriz probabilística de costos de pérdidas en vivienda en la localidad de La Caja para los dos tipos de manzanas durante los terremotos con intensidad MM de VII a IX (en % de pérdidas comparando con el precio de la vivienda antes del terremoto).

Intensidad \ Tipo de manzana	Manzana tipo 2	Manzana tipo 3
VII	16.23	19.125
VIII	37.41	37.455
IX	53.365	70.515

El costo de las pérdidas puede ser estimado con conocimiento del costo promedio de la vivienda para cada tipo de manzana al momento de terremoto C_{man} multiplicado por el número de manzanas de este tipo N_{man} y sumado para toda la localidad.



REFERENCIAS

Anderson, D., Brzev, S., 2009. Seismic Design Guide for Masonry Buildings. Canadian Concrete Masonry Producers Association, 317 p.

Bazán, E., y Meli, R., 2004. Diseño sísmico de edificios. Primera edición, D.F.: LIMUSA, 317 p.

Cortés, A., Garduño, V.H., Navarro-Ochoa, C., Komorowski, J.C., Saucedo, R., Macías, J.L., and Gavilanes, J.C., 2005. Carta Geológica del Complejo Volcánico de Colima, con Geología del Complejo Volcánico de Colima: Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Cartas Geológicas y Mineras, v. 10, scale 1:100,000, 1 sheet, 37 text.

Escamirosa, M. L., M. L. Ocampo G., Arroyo M., 2014. Reforzamiento estructural en vivienda tradicional de adobe de Chiapa de Corzo, Chiapas. Espacio I+D, Innovación más Desarrollo, 3, 6, 31-50.

Nakamura, Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface: Quarterly Report of the Railway Technical Research Institute (RTRI), 30 (1), 25-33.



FASE 4. RIESGO / EXPOSICIÓN

4.3 CICLONES TROPICALES

Riesgo

Desde el punto de vista de pérdida, el riesgo puede verse como la combinación de tres factores importantes: el costo o valor de los bienes expuestos a un evento, por su nivel de vulnerabilidad o daño ante el evento en acción, por la probabilidad de que el evento ocurra. De lo anterior, es posible expresar al riesgo como:

$$R = C P V$$

Donde C = Valor de los bienes expuestos, P = Peligro, y V = Vulnerabilidad

5) Fórmula para el cálculo del riesgo

$$R_p = C \sum_{i=1}^n P(i)V(i)$$

Donde:

R_p= Riesgo calculado para ciclón tropical

C = Costo que para nuestro caso es 1

P(i) = Peligro por cada categoría de ciclón

V(i) = Vulnerabilidad

Para calcular el riesgo por ciclones tropicales se toma en cuenta cada una de las categorías previamente descritas con base a la escala de saffir-simpson. Para nuestro caso retomando los valores de peligro que previamente calculamos y aplicamos la formula descrita en este apartado.

Para determinar el riesgo por ciclón tropical tomaremos la metodología “evaluación de la vulnerabilidad de la vivienda ante sismo y vientos” que propone Flores *et al.*, (2006), cuya finalidad es estimar de manera cualitativa la susceptibilidad de daño de la vivienda ante la acción de viento. Dicho índice permite identificar las zonas con mayor susceptibilidad al daño y nos permite, por el momento, llevar a cabo un análisis de riesgo; por ejemplo, estimar pérdidas ante eventos postulados o bien asociados a un periodo de retorno determinado.

En esta sección se describe un índice que permitió evaluar la susceptibilidad de daño de la vivienda cuando es sometida a la acción del viento. Se inició planteando la evaluación del índice de susceptibilidad de daño (ISD) propuesto a municipio, y en seguida se plantea la evaluación del índice a nivel lote.

Para la determinación del ISD, se partirá de la definición del evento o agente perturbador (Clasificación Saffir-Simpson). Con base en el valor de la velocidad máxima de viento alcanzada por cada categoría, y tomando en cuenta los resultados obtenidos a partir de las “Funciones de Vulnerabilidad” generadas específicamente para estos casos (Flores *et al.*, 2006), valores que se muestran para las diferentes tipologías de estructuras y elementos estructurales que se consideraron en el estudio, el ISD para cada elemento de la muestra de viviendas se maneja en una forma simplificada, como el valor asociado dentro de la tabla. Estos valores resultan entre cero, que significa daño nulo en la edificación o elemento de la misma, y uno, que significaría daño total o falla total de la edificación o elemento de la misma.



Índice de susceptibilidad de daño (ISD)

Como ya se mencionó en párrafos anteriores, el ISD será un valor acotado entre cero y uno. Si bien el índice toma valores en el intervalo mencionado, sólo representa una medida cualitativa de la evaluación del riesgo. Es decir, es un indicativo que detecta las zonas que pueden tener mayor susceptibilidad de daño por la acción de viento. Si el índice, se acerca a un valor de uno, sólo significa que la vivienda, o conjunto de viviendas, analizada es la que presenta la mayor susceptibilidad de daño, y el nivel de destrucción esperado es alto (Flores *et al.*, 2006).

Estimación de la parte del índice que tiene en cuenta la vulnerabilidad física

Para tener en cuenta la vulnerabilidad física de la vivienda, como se mencionó antes, se usaron las funciones de vulnerabilidad propuestas para edificación de vivienda y sus componentes ante la incidencia de viento. La Unidad-Habitación estará compuesta por dos elementos básicos EC y BC, conociendo el valor de la velocidad (peligro) de interés, se obtiene el ISD correspondiente a cada elemento, a partir de lo cual el ISD toma la forma (Flores *et al.*, 2006):

Donde:

ISDUH: representa el índice que mide la vulnerabilidad física de la Unidad-Habitación ante el nivel de intensidad seleccionado

$$ISD_{UH} = \frac{ISD_{EC} + ISD_{BC}}{2}$$

ISDEC: representa el índice que mide la vulnerabilidad física de la vivienda (la casa) ante el nivel de intensidad seleccionado

ISDBC: representa el índice que mide la vulnerabilidad física de la barda de colindancia (si existe) ante el nivel de intensidad seleccionado. Si no existe este elemento, entonces se considerará $ISD_{EC} = ISD_{BC}$, por lo que resultaría $ISD_{UH} = ISD_{EC}$

Para determinar el índice de vulnerabilidad física de la vivienda, se deberá tomar en cuenta el número de niveles de la misma, y el valor de ISDEC se obtendrá con las siguientes expresiones:

Para vivienda con techo flexible:

$$ISD_{EC} = \frac{ISD_{TECHO} + ISD_{MURO}}{2 * N_N}$$

donde:

ISD_{TECHO}: representa el índice que mide la vulnerabilidad física del techo de la casa ante el nivel de intensidad seleccionado

ISD_{MURO}: representa el índice que mide la vulnerabilidad física de los muros ante el nivel de intensidad seleccionado

N_N: es el número de niveles que tiene la edificación (la casa); en este caso lo que se conoce coloquialmente como planta baja, será el nivel 1.

Para vivienda con techo rígido:

$$ISD_{EC} = \frac{ISD_{VIVIENDA}}{N_N}$$

donde:

ISD_{VIVIENDA}: representa el índice que mide la vulnerabilidad física de las edificaciones con techo rígido que está trabajando conjuntamente con los muros



Niveles de peligro por viento

Para fines de ingeniería, la regionalización de peligro por viento que se usa, como ya se mencionó en párrafos anteriores, la velocidad máxima del ciclón según la clasificación Saffir-Simpson.

Estimación de la vulnerabilidad social en el índice

Según Flores *et al.*, (2006) la experiencia en la evaluación de los desastres en México ha mostrado que las zonas socialmente más desprotegidas, también resultan ser las más afectadas por la acción de los fenómenos naturales o bien antropogénicos. En el caso de viento se ha estimado que el aspecto socioeconómico (factor social) tiene influencia en al menos un 20 por ciento. En este trabajo la influencia del factor social se considera como indicador de la calidad de los materiales de construcción. Así, en dos zonas en estudio (localidades o municipios) en que resulte un valor igual del índice que estima la vulnerabilidad física, la probabilidad de pérdida será mayor en aquella en que la población se encuentre socialmente más desprotegida.

En este trabajo, para tener en cuenta el factor social se hace uso del grado de vulnerabilidad social ante desastres. Asimismo, el grado de vulnerabilidad social ante desastres, se le identificará como, IM y podrá tomar los valores señalados en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Valores del grado de vulnerabilidad social ante desastres.

Tipo	Características de la vivienda	Grado de Vulnerabilidad
1	Muros de mampostería con techos rígidos.	Muy Baja
2	Muros de mampostería con techos flexibles.	Baja
3	Muros de adobe con techo rígidos.	Media
4	Muros de adobe con techos flexibles.	Alta
5	Muros de materiales débiles con techos flexibles.	Muy Alta

Índice para estimar la susceptibilidad de daño de la vivienda de bajo costo

Integrando la vulnerabilidad física y la social (ISD_{VF-VS}) se propone el siguiente índice, como se menciona anteriormente en este mismo documento:

$$ISD_{VF-VS} = ISD_{UH}(0.8 + \frac{IM}{25})$$

Es claro que el primer factor está relacionado con la vulnerabilidad física y el segundo con la vulnerabilidad social. Esta última tiene un peso, según se menciona en párrafos anteriores de un 20 por ciento.

Evaluación del índice de susceptibilidad de daño para una manzana, localidad o municipio

En una localidad se puede calcular un índice de susceptibilidad de daño de manera individual o para un grupo de viviendas asociado a un área geográfica que puede ser una manzana o una AGEB. Cuando se elija evaluar el ISD_{VF-VS} para cada una de las viviendas, se debe aplicar lo descrito en la sección anterior.

Para este caso, el índice de susceptibilidad de daño para la manzana, AGEB o localidad se obtendrá haciendo un promedio pesado del ISD_{VF-VS} asociado a cada tipo de vivienda, esto significa que:

Donde:



N_{Tj} : es el número de viviendas con el j-ésimo tipo de construcción

N_T : es el número total de construcciones consideradas en el análisis, igual a la suma de todas las N_{Ti}

$(ISD_{VF-VS})_j$: Índice de susceptibilidad de daño de la Unidad-Habitación con la j-ésima propiedad

$$ISD_G = \frac{\sum_{j=1}^{N_T} (ISD_{VF-VS})_j}{N_T}$$

Criterio para estimar el índice de riesgo de forma cualitativa

Una vez que se evalúa el índice de susceptibilidad de daño global, a través del índice ISDG, para una vivienda en forma individual, o bien para un grupo de ellas, o para una localidad o municipio, es posible establecer, según el valor de dicho índice, un “nivel de riesgo” totalmente cualitativo que permitiría a la autoridad establecer criterios de semaforización para tomar acciones preventivas de emergencia, inmediatas o paulatinas. Para ello se proponen, de forma arbitraria, los cinco niveles que se presentan en la Tabla 4.2.

Tabla 4.2. Niveles de Riesgo.

Valor del índice ISDG	Nivel de riesgo
$0.0 \leq ISD_G < 0.2$	Muy Bajo
$0.2 \leq ISD_G < 0.4$	Bajo
$0.4 \leq ISD_G < 0.6$	Medio
$0.6 \leq ISD_G < 0.8$	Alto
$0.8 \leq ISD_G \leq 1.0$	Muy Alto

Calculo del Riesgo

Para calcular el índice de susceptibilidad de daño en la vivienda se utilizaron las tablas que se encuentran en el “Apéndice 1.B” del volumen “evaluación de la vulnerabilidad física y social” de la metodología “guía básica para la elaboración de atlas estatales y municipales de peligros y riesgos”.

En la Tabla 4.3 se muestran los valores utilizados para calcular el índice de susceptibilidad de daño en la vivienda causado por el fenómeno depresión tropical, para este caso se utilizó una velocidad de viento de 62 km/h, la cual según la clasificación saffir-simpson es la máxima alcanzada por este ciclón.

Tabla 4.3. Valores para calcular el ISD para Depresión Tropical.

Original	ISD_{UH}	ISD_{EC}	ISD_{BC}	ISD_{TECHO}	ISD_{MURO}	N	$ISD_{VIVIENDA}$	I_M	ISD_{VF-VS}
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1	0.0000	2	0.0000
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1	0.0000	2	0.0000
3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1	0.0000	2	0.0000



Original	ISD _{UH}	ISD _{EC}	ISD _{BC}	ISD _{TECHO}	ISD _{MURO}	N	ISD _{VIVIENDA}	I _M	ISD _{VF-VS}
4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1	0.0000	2	0.0000
5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1	0.0000	2	0.0000

En la Tabla 4.4 se muestran los valores utilizados para calcular el índice de susceptibilidad de daño en la vivienda causado por el fenómeno tormenta tropical, para este caso se utilizó una velocidad de viento de 117 km/h, la cual según la clasificación saffir-simpson es la máxima alcanzada por este ciclón.

Tabla 4.4. Valores para calcular el ISD para Tormenta Tropical.

Original	ISD _{UH}	ISD _{EC}	ISD _{BC}	ISD _{TECHO}	ISD _{MURO}	N	ISD _{VIVIENDA}	I _M	ISD _{VF-VS}
1	0.0008	0.0015	0.0001	0.0000	0.0001	1	0.0015	2	0.0007
2	0.1373	0.0000	0.2746	0.0020	0.2746	1	0.0000	2	0.1208
3	0.0002	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	1	0.0004	2	0.0002
4	0.0001	0.0000	0.0001	0.0020	0.0001	1	0.0000	2	0.0000
5	0.0118	0.0000	0.0235	0.0020	0.0235	1	0.0000	2	0.0103

En la Tabla 4.4 se muestran los valores utilizados para calcular el índice de susceptibilidad de daño en la vivienda causado por un huracán categoría 1, para este caso se utilizó una velocidad de viento de 153 km/h, la cual según la clasificación saffir-simpson es la máxima alcanzada por este ciclón.

Tabla 4.5. Valores para calcular el ISD para Huracán Categoría 1.

Original	ISD _{UH}	ISD _{EC}	ISD _{BC}	ISD _{TECHO}	ISD _{MURO}	N	ISD _{VIVIENDA}	I _M	ISD _{VF-VS}
1	0.0030	0.0057	0.0002	0.0001	0.0002	1	0.0057	2	0.0026
2	0.4988	0.0005	0.9971	0.0113	0.9971	1	0.0005	2	0.4389
3	0.0013	0.0026	0.0000	0.0001	0.0000	1	0.0026	2	0.0011
4	0.0125	0.0000	0.0249	0.0113	0.0249	1	0.0000	2	0.0110
5	0.5003	0.0005	1.0000	0.0113	1.0000	1	0.0005	2	0.4402

En la Tabla 4.6 se muestran los valores utilizados para calcular el índice de susceptibilidad de daño en la vivienda causado por un huracán categoría 2, para este caso se utilizó una velocidad de viento de 177 km/h, la cual según la clasificación saffir-simpson es la máxima alcanzada por este ciclón.

Tabla 4.6. Valores para calcular el ISD para Huracán Categoría 2.

Original	ISD _{UH}	ISD _{EC}	ISD _{BC}	ISD _{TECHO}	ISD _{MURO}	N	ISD _{VIVIENDA}	I _M	ISD _{VF-VS}
1	0.0088	0.0169	0.0006	0.0003	0.0006	1	0.0169	2	0.0077
2	0.5028	0.0056	1.0000	0.0451	1.0000	1	0.0056	2	0.4425
3	0.0055	0.0110	0.0000	0.0003	0.0000	1	0.0110	2	0.0048
4	0.4551	0.0001	0.9101	0.0451	0.9101	1	0.0001	2	0.4005
5	0.5028	0.0056	1.0000	0.0451	1.0000	1	0.0056	2	0.4425



En la Tabla 4.7 se muestran los valores utilizados para calcular el índice de susceptibilidad de daño en la vivienda causado por un huracán categoría 3, para este caso se utilizó una velocidad de viento de 209 km/h, la cual según la clasificación saffir-simpson es la máxima alcanzada por este ciclón.

Tabla 4.7. Valores para calcular el ISD para Huracán Categoría 3.

Original	ISD _{UH}	ISD _{EC}	ISD _{BC}	ISD _{TECHO}	ISD _{MURO}	N	ISD _{VIVIENDA}	I _M	ISD _{VF-VS}
1	0.0219	0.0420	0.0018	0.0009	0.0018	1	0.0420	2	0.0193
2	0.5219	0.0438	1.0000	0.1405	1.0000	1	0.0438	2	0.4593
3	0.0186	0.0371	0.0000	0.0009	0.0000	1	0.0371	2	0.0163
4	0.5008	0.0015	1.0000	0.1405	1.0000	1	0.0015	2	0.4407
5	0.5219	0.0438	1.0000	0.1405	1.0000	1	0.0438	2	0.4593

En la Tabla 4.8 se muestran los valores utilizados para calcular el índice de susceptibilidad de daño en la vivienda causado por un huracán categoría 4, para este caso se utilizó una velocidad de viento de 249 km/h, la cual según la clasificación saffir-simpson es la máxima alcanzada por este ciclón.

Tabla 4.8. Valores para calcular el ISD para Huracán Categoría 4.

Original	ISD _{UH}	ISD _{EC}	ISD _{BC}	ISD _{TECHO}	ISD _{MURO}	N	ISD _{VIVIENDA}	I _M	ISD _{VF-VS}
1	0.0605	0.1149	0.0061	0.0032	0.0061	1	0.1149	2	0.0532
2	0.6879	0.3758	1.0000	0.4399	1.0000	1	0.3758	2	0.6054
3	0.0710	0.1415	0.0004	0.0032	0.0004	1	0.1415	2	0.0624
4	0.5074	0.0148	1.0000	0.4399	1.0000	1	0.0148	2	0.4465
5	0.6879	0.3758	1.0000	0.4399	1.0000	1	0.3758	2	0.6054

En la Tabla 4.9 se muestran los valores utilizados para calcular el índice de susceptibilidad de daño en la vivienda causado por un huracán categoría 5, para este caso se utilizó una velocidad de viento de 280 km/h, la cual según la clasificación saffir-simpson es la máxima alcanzada por este ciclón.

Tabla 4.9. Valores para calcular el ISD para Huracán Categoría 5.

Original	ISD _{UH}	ISD _{EC}	ISD _{BC}	ISD _{TECHO}	ISD _{MURO}	N	ISD _{VIVIENDA}	I _M	ISD _{VF-VS}
1	0.0756	0.1431	0.0080	0.0043	0.0080	1	0.1431	2	0.0665
2	0.7754	0.5507	1.0000	0.5434	1.0000	1	0.5507	2	0.6823
3	0.0945	0.1885	0.0005	0.0043	0.0005	1	0.1885	2	0.0832
4	0.5123	0.0245	1.0000	0.5434	1.0000	1	0.0245	2	0.4508
5	0.7754	0.5507	1.0000	0.5434	1.0000	1	0.5507	2	0.6823

Aplicando las formulas a los datos anteriores obtenemos como resultado los valores que se muestran en la Tabla 4.10. En esta tabla se muestra cual es la susceptibilidad de daño por cada una de las cinco tipo de viviendas según el tipo de ciclón tropical.

Tabla 4.10. Susceptibilidad de daño por tipo de viendo en cada localidad.



Localidad	Tipo Vivienda	Vulnerabilidad Social (I _M)	Susceptibilidad de daño de la vivienda						
			DT	TT	H1	H2	H3	H4	H5
Comala	1	1	0.0000	0.0007	0.0025	0.0074	0.0184	0.0508	0.0635
	2	1	0.0000	0.1153	0.4190	0.4224	0.4384	0.5778	0.6513
	3	1	0.0000	0.0002	0.0011	0.0046	0.0156	0.0596	0.0794
	4	1	0.0000	0.0000	0.0105	0.3823	0.4206	0.4262	0.4303
	5	1	0.0000	0.0099	0.4202	0.4224	0.4384	0.5778	0.6513
Suchitlán	1	1	0.0000	0.0007	0.0025	0.0074	0.0184	0.0508	0.0635
	2	1	0.0000	0.1153	0.4190	0.4224	0.4384	0.5778	0.6513
	3	1	0.0000	0.0002	0.0011	0.0046	0.0156	0.0596	0.0794
	4	1	0.0000	0.0000	0.0105	0.3823	0.4206	0.4262	0.4303
	5	1	0.0000	0.0099	0.4202	0.4224	0.4384	0.5778	0.6513
Cofradía de Suchitlán	1	2	0.0000	0.0007	0.0026	0.0077	0.0193	0.0532	0.0665
	2	2	0.0000	0.1208	0.4389	0.4425	0.4593	0.6054	0.6823
	3	2	0.0000	0.0002	0.0011	0.0048	0.0163	0.0624	0.0832
	4	2	0.0000	0.0000	0.0110	0.4005	0.4407	0.4465	0.4508
	5	2	0.0000	0.0103	0.4402	0.4425	0.4593	0.6054	0.6823
La Caja	1	1	0.0000	0.0007	0.0025	0.0074	0.0184	0.0508	0.0635
	2	1	0.0000	0.1153	0.4190	0.4224	0.4384	0.5778	0.6513
	3	1	0.0000	0.0002	0.0011	0.0046	0.0156	0.0596	0.0794
	4	1	0.0000	0.0000	0.0105	0.3823	0.4206	0.4262	0.4303
	5	1	0.0000	0.0099	0.4202	0.4224	0.4384	0.5778	0.6513

En la Tabla 4.11 podemos apreciar que el peligro al que se enfrenta las personas del municipio de Comala es Bajo (Mayor a 0.20 y menor a 0.40) en cualquier localidad ante el impacto de una Depresión Tropical o tormenta tropical, para los huracanes categoría 1 al 5 el peligro es muy bajo (Menor a 0.20).

Tabla 4.11. Valores de peligro por localidad y tipo de ciclón.

Municipio	DT	TT	H1	H2	H3	H4	H5
Comala	0.3500	0.3800	0.1600	0.0080	0.0600	0.0100	0.0000
Suchitlán	0.3800	0.3700	0.1500	0.0080	0.0600	0.0100	0.0000
Cofradía de Suchitlán	0.3800	0.3700	0.1400	0.0080	0.0600	0.0100	0.0000
La Caja	0.3600	0.3800	0.1500	0.0080	0.0600	0.0100	0.0000

Al aplicar el peligro al índice de susceptibilidad no da el riesgo igualmente por tipo de vivienda. En la Tabla 4.12 y se muestra que el riesgo es muy bajo para cualquier tipo de vivienda en las localidades a las que se le aplicó la formula.

Tabla 4.12. Valores riesgo por tipo de vivienda.



Municipio	Tipo Vivienda	Grado de vulnerabilidad	Vulnerabilidad X Peligro							Riesgo							
			DT	TT	H1	H2	H3	H4	H5	Próximo Evento	DT	TT	H1	H2	H3	H4	H5
Comala	1	Muy Bajo	0.0E+00	2.6E-04	4.0E-04	5.9E-05	1.1E-03	5.1E-04	0.0E+00	2.3E-03	8.1E-04	3.1E-04	4.9E-05	4.0E-07	2.4E-08	2.4E-10	0.0E+00
	2	Bajo	0.0E+00	4.4E-02	6.7E-02	3.4E-03	2.6E-02	5.8E-03	0.0E+00	1.5E-01	5.1E-02	1.9E-02	3.1E-03	2.5E-05	1.5E-06	1.5E-08	0.0E+00
	3	Medio	0.0E+00	6.4E-05	1.7E-04	3.7E-05	9.3E-04	6.0E-04	0.0E+00	1.8E-03	6.3E-04	2.4E-04	3.8E-05	3.1E-07	1.8E-08	1.8E-10	0.0E+00
	4	Alto	0.0E+00	1.6E-05	1.7E-03	3.1E-03	2.5E-02	4.3E-03	0.0E+00	3.4E-02	1.2E-02	4.6E-03	7.3E-04	5.8E-06	3.5E-07	3.5E-09	0.0E+00
	5	Muy Alto	0.0E+00	3.8E-03	6.7E-02	3.4E-03	2.6E-02	5.8E-03	0.0E+00	1.1E-01	3.7E-02	1.4E-02	2.3E-03	1.8E-05	1.1E-06	1.1E-08	0.0E+00
Suchitlán	1	Muy Bajo	0.0E+00	2.5E-04	3.7E-04	5.9E-05	1.1E-03	5.1E-04	0.0E+00	2.3E-03	8.7E-04	3.2E-04	4.8E-05	3.9E-07	2.3E-08	2.3E-10	0.0E+00
	2	Bajo	0.0E+00	4.3E-02	6.3E-02	3.4E-03	2.6E-02	5.8E-03	0.0E+00	1.4E-01	5.4E-02	2.0E-02	3.0E-03	2.4E-05	1.4E-06	1.4E-08	0.0E+00
	3	Medio	0.0E+00	6.2E-05	1.6E-04	3.7E-05	9.3E-04	6.0E-04	0.0E+00	1.8E-03	6.8E-04	2.5E-04	3.8E-05	3.0E-07	1.8E-08	1.8E-10	0.0E+00
	4	Alto	0.0E+00	1.6E-05	1.6E-03	3.1E-03	2.5E-02	4.3E-03	0.0E+00	3.4E-02	1.3E-02	4.8E-03	7.2E-04	5.8E-06	3.5E-07	3.5E-09	0.0E+00
	5	Muy Alto	0.0E+00	3.7E-03	6.3E-02	3.4E-03	2.6E-02	5.8E-03	0.0E+00	1.0E-01	3.9E-02	1.4E-02	2.2E-03	1.7E-05	1.0E-06	1.0E-08	0.0E+00
Cofradía de Suchitlán	1	Muy Bajo	0.0E+00	2.6E-04	3.6E-04	6.2E-05	1.2E-03	5.3E-04	0.0E+00	2.4E-03	9.0E-04	3.3E-04	4.7E-05	3.7E-07	2.2E-08	2.2E-10	0.0E+00
	2	Bajo	0.0E+00	4.5E-02	6.1E-02	3.5E-03	2.8E-02	6.1E-03	0.0E+00	1.4E-01	5.4E-02	2.0E-02	2.8E-03	2.3E-05	1.4E-06	1.4E-08	0.0E+00
	3	Medio	0.0E+00	6.5E-05	1.6E-04	3.9E-05	9.8E-04	6.2E-04	0.0E+00	1.9E-03	7.1E-04	2.6E-04	3.7E-05	2.9E-07	1.8E-08	1.8E-10	0.0E+00
	4	Alto	0.0E+00	1.6E-05	1.5E-03	3.2E-03	2.6E-02	4.5E-03	0.0E+00	3.6E-02	1.4E-02	5.0E-03	7.0E-04	5.6E-06	3.4E-07	3.4E-09	0.0E+00
	5	Muy Alto	0.0E+00	3.8E-03	6.2E-02	3.5E-03	2.8E-02	6.1E-03	0.0E+00	1.0E-01	3.9E-02	1.4E-02	2.0E-03	1.6E-05	9.7E-07	9.7E-09	0.0E+00
La Caja	1	Muy Bajo	0.0E+00	2.6E-04	3.7E-04	5.9E-05	1.1E-03	5.1E-04	0.0E+00	2.3E-03	8.3E-04	3.1E-04	4.7E-05	3.8E-07	2.3E-08	2.3E-10	0.0E+00
	2	Bajo	0.0E+00	4.4E-02	6.3E-02	3.4E-03	2.6E-02	5.8E-03	0.0E+00	1.4E-01	5.1E-02	1.9E-02	2.9E-03	2.3E-05	1.4E-06	1.4E-08	0.0E+00
	3	Medio	0.0E+00	6.4E-05	1.6E-04	3.7E-05	9.3E-04	6.0E-04	0.0E+00	1.8E-03	6.5E-04	2.5E-04	3.7E-05	2.9E-07	1.8E-08	1.8E-10	0.0E+00
	4	Alto	0.0E+00	1.6E-05	1.6E-03	3.1E-03	2.5E-02	4.3E-03	0.0E+00	3.4E-02	1.2E-02	4.7E-03	7.0E-04	5.6E-06	3.4E-07	3.4E-09	0.0E+00
	5	Muy Alto	0.0E+00	3.8E-03	6.3E-02	3.4E-03	2.6E-02	5.8E-03	0.0E+00	1.0E-01	3.7E-02	1.4E-02	2.1E-03	1.7E-05	1.0E-06	1.0E-08	0.0E+00

Análisis de resultados de riesgo

El peligro al que se enfrentan los habitantes del municipio de Comala en cualquier localidad es bajo para depresión tropical y tormenta tropical y muy bajo para huracán categoría 1, 2, 3,4 y 5 (Figura 4.1).

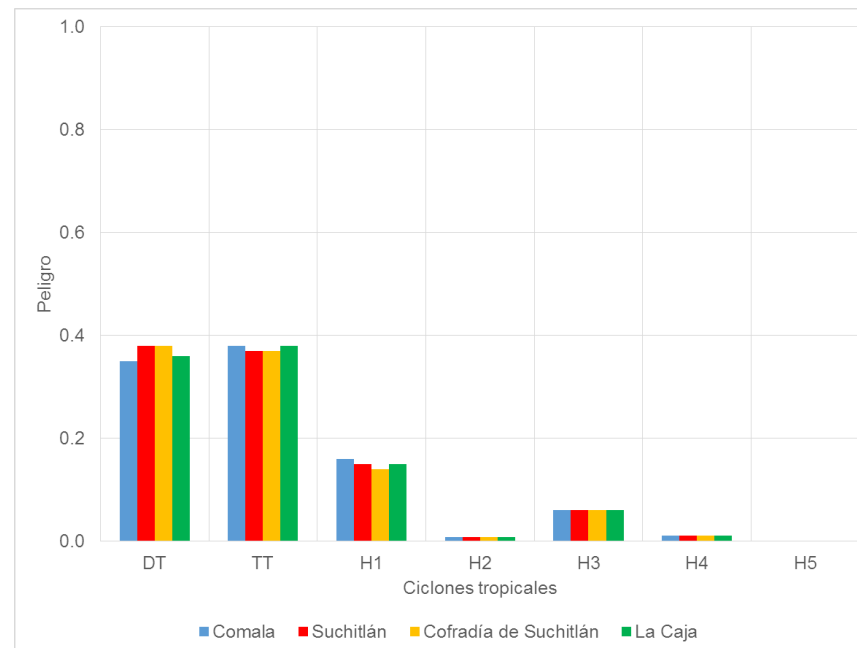


Figura 4.1. Nivel de peligro por localidad tipo de ciclón en las localidades del municipio de Comala.

En Comala hay 4,373 predios de los cuales 2,878 son casas habitaciones; mientras que la segunda localidad más grande Suchitlán hay 1,400 predios de los cuales 1,203 son viviendas habitadas; en Cofradía de Suchitlán hay 551 predios y 521 viviendas habitadas y La Caja tiene 360 predios de los cuales 321 son viviendas habitadas (Figura 4.2).

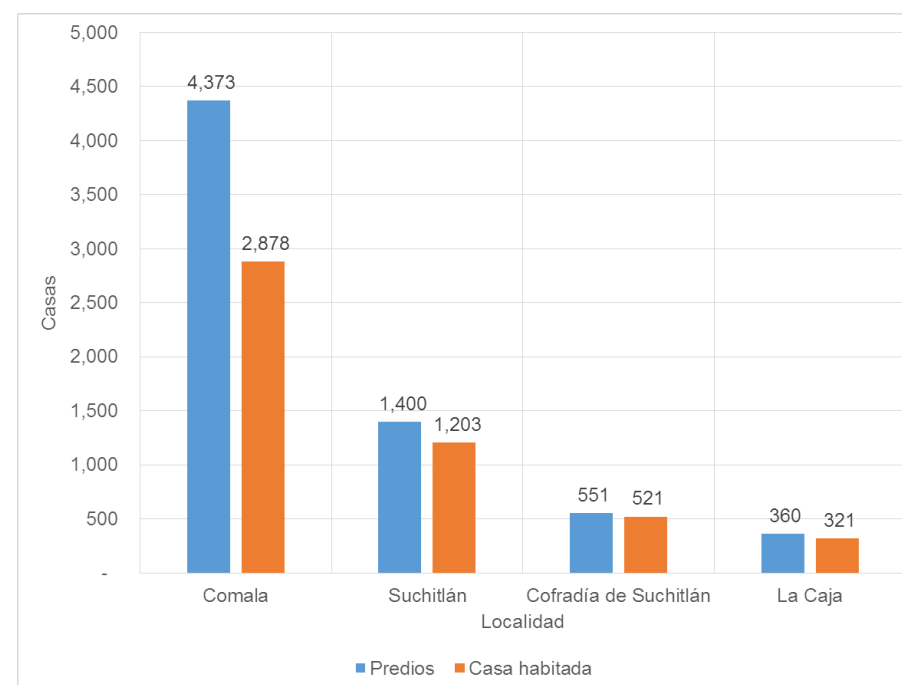


Figura 4.2. Número de viviendas por localidad.



En las Tabla 4.13 y Tabla 4.14 se puede apreciar el número de viviendas por localidad según el grado de vulnerabilidad y en la tabla 3 el porcentaje por grado de vulnerabilidad. En las figuras 2 y 3 se puede ver las gráficas correspondientes los datos de las tablas.

Tabla 4.13. Número de viviendas por grado de vulnerabilidad

Localidad	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Comala	1876	991	4	0	7
Suchitlán	504	653	2	7	37
Cofradía de Suchitlán	213	300	0	0	8
La Caja	200	120	0	0	1

Tabla 4.14. Porcentaje de viviendas por grado de vulnerabilidad

Localidad	Muy Baja	Baja	Media	Alta	Muy Alta
Comala	65.2%	34.4%	0.1%	0.0%	0.2%
Suchitlán	41.9%	54.3%	0.2%	0.6%	3.1%
Cofradía de Suchitlán	40.9%	57.6%	0.0%	0.0%	1.5%
La Caja	62.3%	37.4%	0.0%	0.0%	0.3%

En la gráfica podemos apreciar que en Comala de las 2,878 viviendas habitadas, 1,876 tiene una vulnerabilidad muy baja lo que representa el 65.2%, 991 con vulnerabilidad baja el cual representa el 34.4%, 4 viviendas con vulnerabilidad media el cual representa el 0.1% y finalmente 7 viviendas con vulnerabilidad muy alta lo que representa el 0.2%.

En la localidad de Suchitlán hay 1,203 viviendas habitadas de las cuales 504 tienen una vulnerabilidad muy baja, 653 vulnerabilidad baja, 2 vulnerabilidad media, 7 vulnerabilidad alta y 37 casas con vulnerabilidad muy alta, lo anterior representa el 41.9% de viviendas con muy baja vulnerabilidad y 54.3% con vulnerabilidad baja, ambas representan el 96.2% de viviendas con poca vulnerabilidad.

Cofradía de Suchitlán tiene 521 viviendas habitadas de las cuales 213 tienen vulnerabilidad muy baja lo que representa un 40.9%, 300 viviendas con vulnerabilidad baja lo cual es 57.6%, cero viviendas con vulnerabilidad media y alta; 8 viviendas tiene una vulnerabilidad muy alta lo que representa un 1.5%.

En la localidad de la caja hay 321 viviendas habitadas de la cuales 200 tiene una vulnerabilidad muy baja y 120 vulnerabilidad baja lo que representa un 62.3% y 37.4% respectivamente y sólo una vivienda tiene vulnerabilidad muy alta y cero viviendas con vulnerabilidad media y alta.

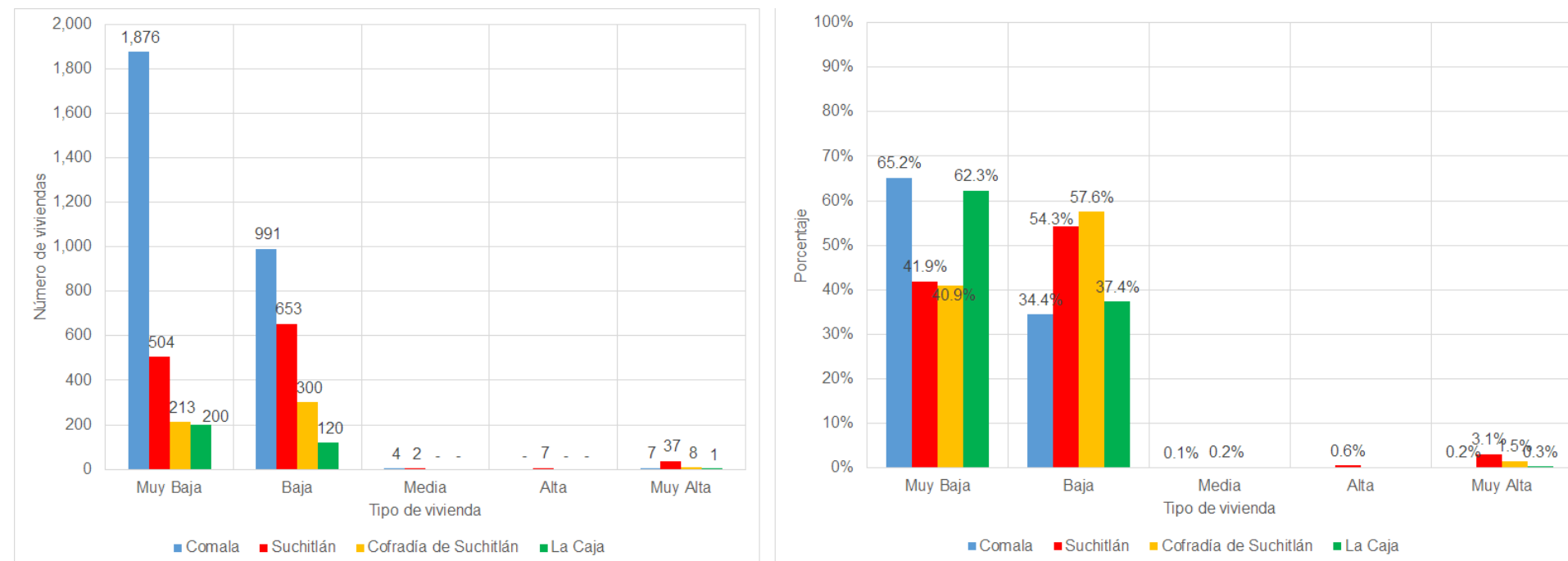


Figura 4.3. Número de viviendas por vulnerabilidad en cada localidad.

De lo anterior podemos ver que la vulnerabilidad física de las viviendas en las localidades donde se aplicó el estudio es muy baja y baja, lo que nos indica que aproximadamente el 96% de las viviendas no son muy vulnerables antes los efectos de los ciclones tropicales y a esto le sumamos que el peligro (previamente descrito) también es bajo y muy bajo nos da como resultado un riesgo muy bajo como se muestra en la Tabla 4.12.

Como se mostró en la Tabla 4.2 el índice de riesgo es de 0 a 1 y se divide en 5 categorías, 0.2 cada una de ellas. En la Tabla 4.12 podemos apreciar que ningún valor excede 0.2 por lo tanto el riesgo es muy bajo de acuerdo a la metodología previamente descrita. En la gráfica de la Figura 4.4 es más fácil apreciar el resultado del índice de riesgo por cada tipo de vivienda de acuerdo al impacto de un ciclón tropical. En ella se puede ver que el nivel de riesgo al que se enfrenta todos los tipos de viviendas (1, 2, 3, 4 y 5) es muy bajo, ya que el valor más alto es 0.05. Las depresiones tropicales y tormentas tropicales son las que representan un mayor índice de riesgo sobre todo para los tipos de vivienda 2, 4 y 5. El índice de riesgo para huracanes categoría 1 es tan bajo que apenas se aprecia en la gráfica, mientras que para huracanes categoría 2, 3, 4 y 5 el índice de riesgo es casi nulo.

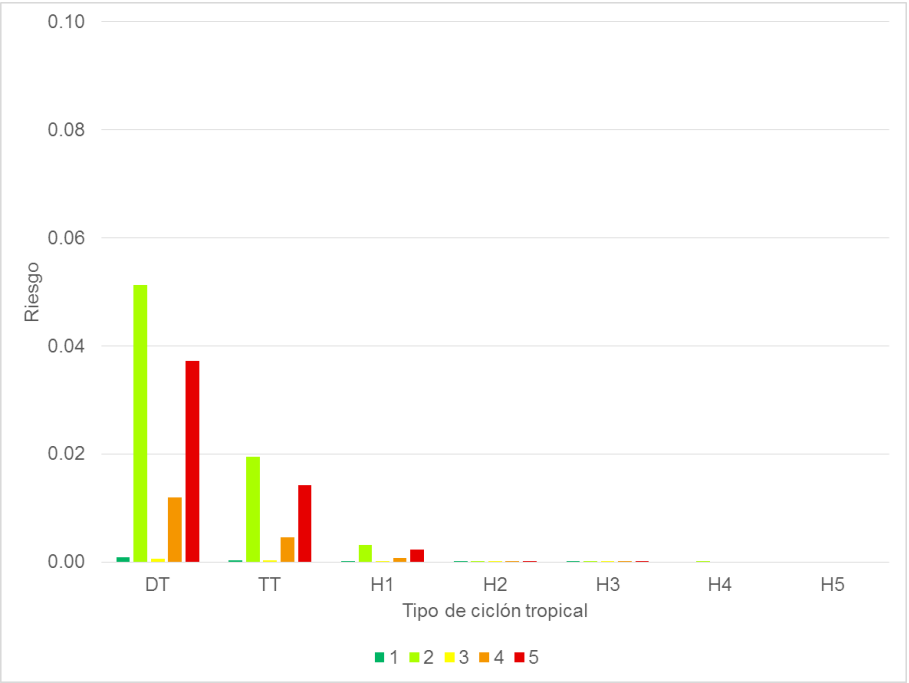


Figura 4.4. Gráfica de resultados de riesgo por tipo de vivienda.

Mapas de riesgo

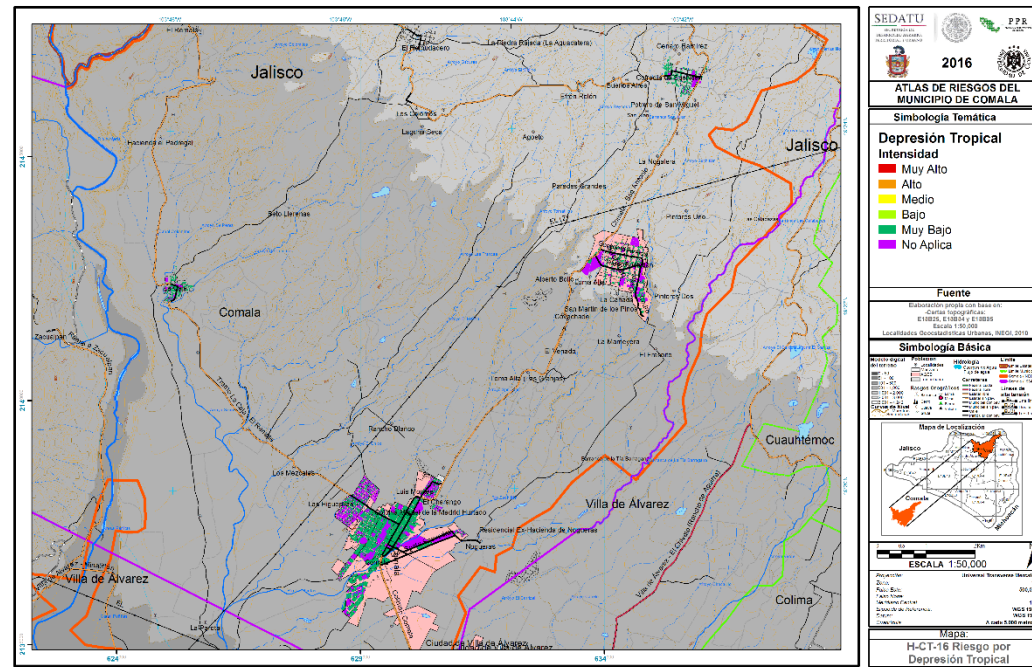


Figura 4.5. Mapa de riesgo por impacto de depresión tropical en las localidades de Comala, Suchitlán, Cofradía de Suchitlán y La Caja.

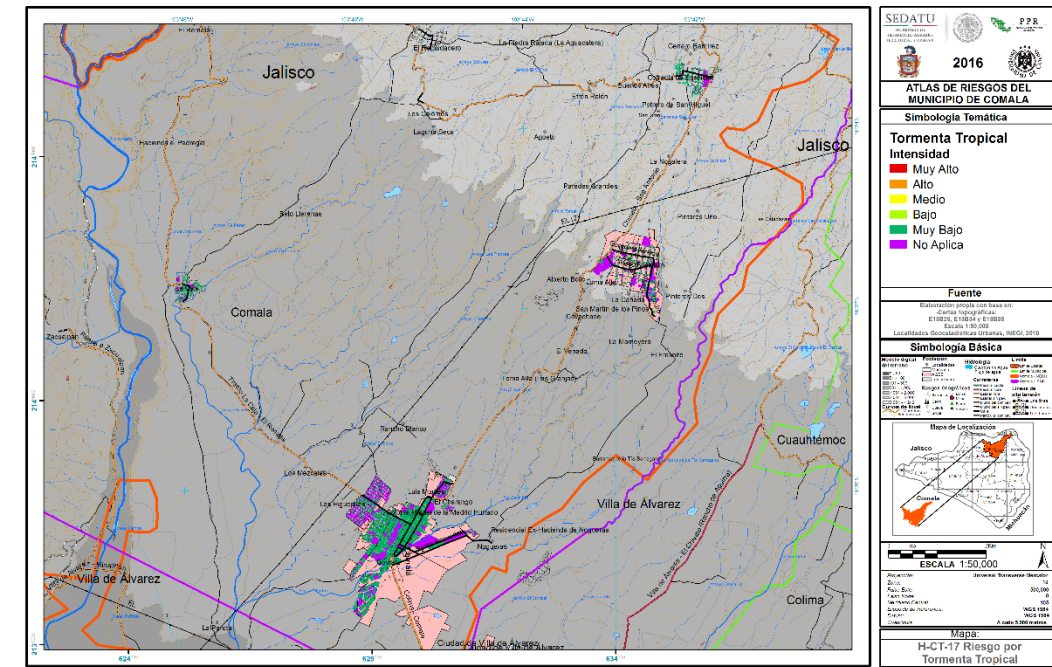


Figura 4.6. Mapa de riesgo por impacto de tormenta tropical en las localidades de Comala, Suchitlán, Cofradía de Suchitlán y La Caja.

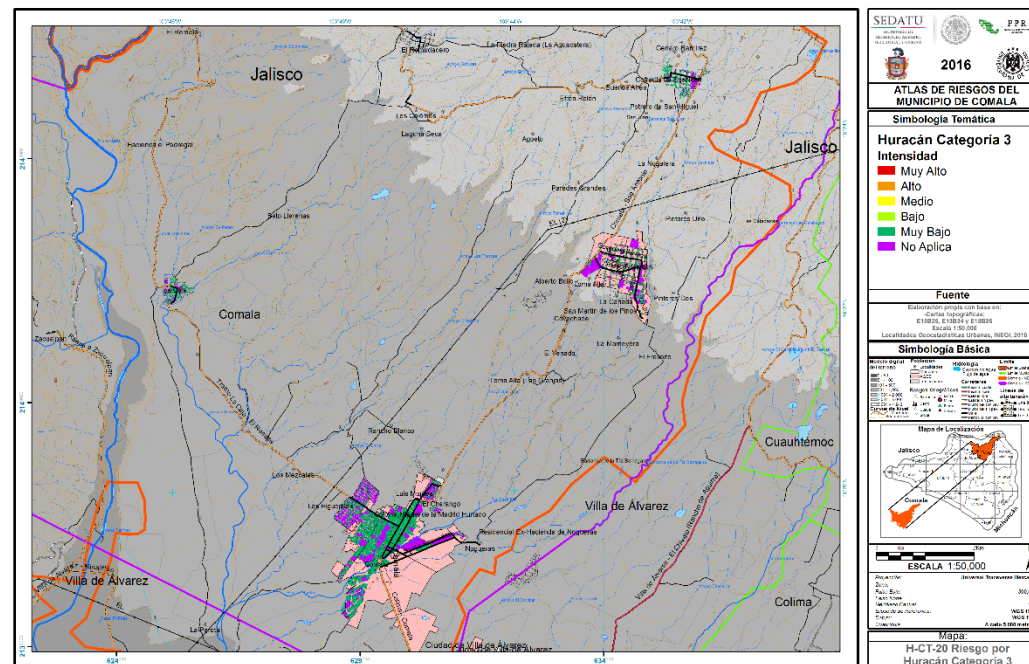


Figura 4.9. Mapa de riesgo por impacto de un huracán categoría 3 en las localidades de Comala, Suchitlán, Cofradía de Suchitlán y La Caja.

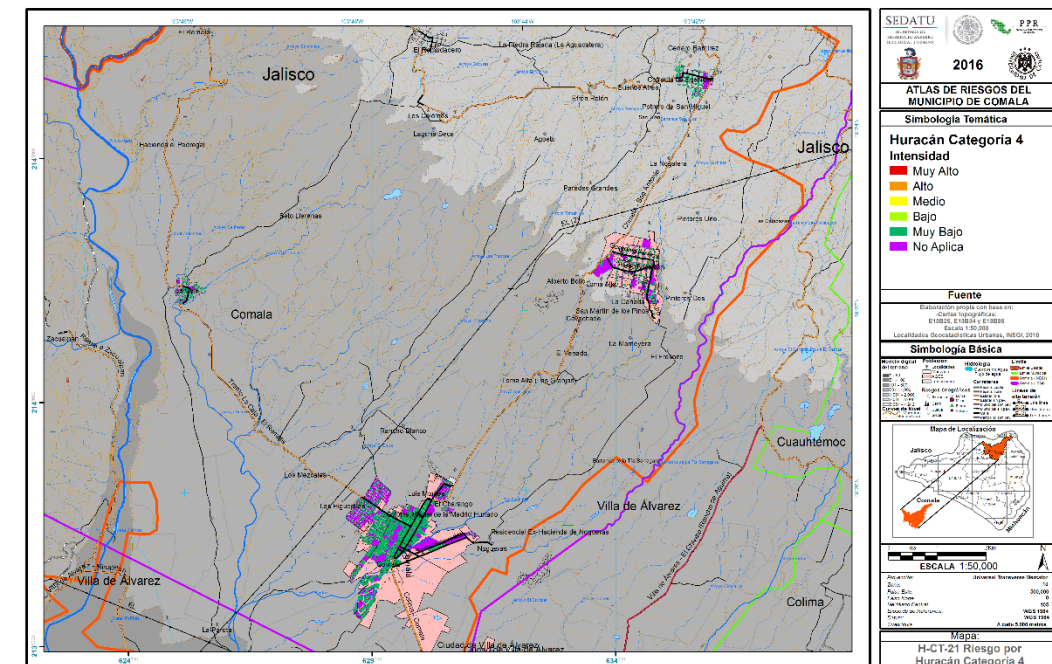


Figura 4.10. Mapa de riesgo por impacto de un huracán categoría 4 en las localidades de Comala, Suchitlán, Cofradía de Suchitlán y La Caja.

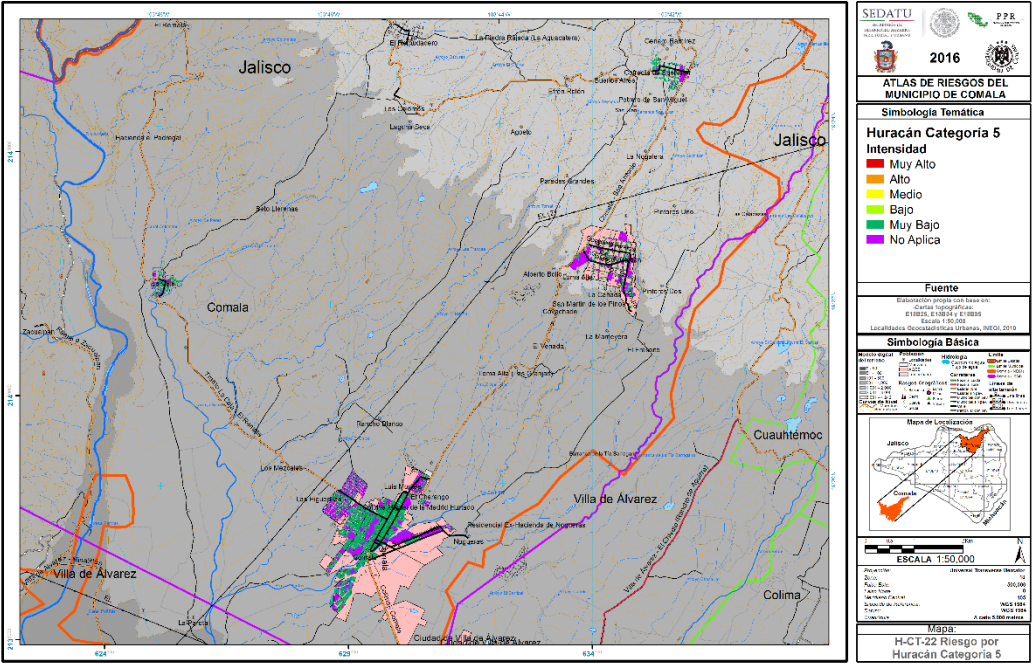


Figura 4.11. Mapa de riesgo por impacto de un huracán categoría 3 en las localidades de Comala, Suchitlán, Cofradía de Suchitlán y La Caja.