

Cuadro 4
Comparación entre magnitudes
de vulnerabilidades para diversos poblados del país

	Número de viviendas	Vulnerabilidad estructural asociada con sismos	Vulnerabilidad estructural asociada con deslizamientos	Vulnerabilidad social asociada con personas en viviendas
Zona 7, ciudad capital	25,708	1,087,729	618,440	526,731
Zona 1, ciudad capital	11,228	556,481	315,686	241,572
Cabecera municipal de Villa Nueva	3,800	170,687	100,949	74,040
Cabecera municipal de Mixco	3,231	137,379	88,045	64,719
Cabecera departamental Chiquimula	3,924	259,233	154,020	82,027
Cabecera municipal Esquipulas	1,620	110,413	65,543	31,937
Cabecera municipal de Jocotán	680	40,431	25,821	13,787
Cabecera municipal de Jocotán	680	40,431	25,821	13,787
Cabecera municipal de San Juan Ermita	203	12,814	8,386	4,154

Reconociendo que la ciudad capital es el sitio donde las zonas tienen un mayor número de viviendas, se observa claramente una magnitud para las vulnerabilidades que es entre 50 y casi 100 veces mayor que las magnitudes de vulnerabilidades para municipios como San Juan Ermita y Camotán en Chiquimula.

Un estudio comparativo de vulnerabilidades en toda la República debe tomar en consideración estos aspectos para asignar rangos de vulnerabilidades para las tres clases: alta, media y baja. De acuerdo con lo anterior, se propone la siguiente clasificación:

Cuadro 5
Rangos propuestos para niveles de riesgo

Rango numérico de riesgo	Clasificación
0-20,000	Bajo
20,000-100,000	Medio
100,000 o mayor	Alto

Como se observa, en esta escala comunidades pequeñas como Camotán y San Juan Ermita, se clasificarán siempre con niveles bajos de vulnerabilidad. Sin embargo, este modelo permitirá en el futuro dimensionar y comparar vulnerabilidades de diversos tipos asociadas con diferentes amenazas para poblados de todo el país. Finalmente, un aspecto importante cuando se analizan vulnerabilidades y riesgos es el de la proporción de viviendas que están clasificadas en baja, alta o media vulnerabilidad o riesgo respecto al número total de viviendas de una población. Esta proporción se considera como muy importante y se discute en la siguiente sección.

2.7 Cómo comparar el nivel de riesgo de distintas poblaciones:

la normalización del riesgo

En la cuantificación del riesgo, un aspecto importante es la proporción de viviendas en alto riesgo con relación al número total de viviendas en una comunidad. Cuando esta proporción es pequeña, entonces es probable que la comunidad, con sus propios recursos, pueda implementar las medidas necesarias para reducir dichos riesgos, así como atender a los afectados en caso de que se manifieste un fenómeno. Sin embargo, cuando la proporción de riesgos es elevada, es probable que la comunidad no cuente con los recursos suficientes para reducir tales riesgos, ni para atender a los afectados si se manifiesta un fenómeno. En este caso se hablaría de un desastre. De ahí que sea necesario definir el riesgo normalizado como la fracción de viviendas en riesgo respecto al número total de viviendas de la comunidad, y de igual manera es factible definir una vulnerabilidad normalizada. La ventaja de utilizar el riesgo o la vulnerabilidad normalizada es que sobresalen aquellas comunidades que en proporción tienen un mayor riesgo o vulnerabilidad que las otras. Puesto de otra manera, aquellas comunidades que poseen un riesgo normalizado alto probablemente sufrirán desastres en el sentido propuesto por la CONRED: aquellas comunidades que no cuentan con suficientes recursos propios para atender las necesidades que se pueden presentar si la amenaza se materializa como fenómeno de alta intensidad. Al igual que en el caso de los riesgos o vulnerabilidades totales, es útil clasificar los valores normalizados en tres clases: alto, medio y bajo. Para el caso de estas cantidades normalizadas se presentan los siguientes rangos y niveles:

Cuadro 6
Rangos propuestos para niveles de vulnerabilidad normalizada

Rango numérico de vulnerabilidad normalizada	Clasificación
0-40	Bajo
41-70	Medio
71-100	Alto

Para ver cómo se modifican los riesgos, en el cuadro 7 se presentan los datos ofrecidos en el cuadro 4, con la particularidad de tomar en cuenta las vulnerabilidades normalizadas.

Cuadro 7
Comparación entre magnitudes de vulnerabilidades
normalizadas para diversos poblados

	Número de viviendas	Vulnerabilidad estructural asociada con sismos	Vulnerabilidad estructural asociada con deslizamientos	Vulnerabilidad social asociada con personas en viviendas
Zona 7, ciudad capital	25,708	39	22.1	18.9
Zona 1, ciudad capital	11,228	47.6	27.0	20.4
Cabecera municipal de Villa Nueva	3,800	41.1	24.3	17.8
Cabecera municipal de Mixco	3,231	38.4	24.6	18.1
Cabecera departamental Chiquimula	3,924	64.9	38.6	20.5
Cabecera municipal Esquipulas	1,620	68.0	40.4	19.7
Cabecera municipal de Jocotán	680	59.5	38.0	20.3
Cabecera municipal de Camotán	218	60.4	38.2	19.9
Cabecera municipal de San Juan Ermita	205	60.7	39.7	19.7

Como se observa, ya las zonas de la ciudad de Guatemala no destacan tanto, y en cambio empiezan a sobresalir poblados de menor tamaño, incluyendo San Juan Ermita y Camotán. Por ejemplo, en el caso de las vulnerabilidades asociadas con sismos, todas las comunidades de Chiquimula presentan valores del orden de 60 o mayor, mientras que las zonas de Guatemala presentan valores del orden de 40 puntos. Aunque el análisis mediante riesgos normalizados brinda una mejor panorámica en torno a donde focalizar recursos para reducir el probable impacto de un fenómeno de gran intensidad, se ha encontrado la debilidad que en muchos casos sobresalen aquellas comunidades que poseen menos de diez viviendas. Esto porque en muchos casos tal vez una proporción elevada de estas diez viviendas están en alto riesgo. Aun así, ésta es una debilidad que se puede manejar fácilmente reconociendo este aspecto y haciendo una clasificación preliminar de comunidades en relación con su número de viviendas. En términos cuantitativos, la integración de las amenazas y las vulnerabilidades normalizadas se puede realizar de una manera similar a las expuestas anteriormente. Asumiendo las amenazas se pueden clasificar en tres niveles y que las vulnerabilidades también se pueden clasificar en tres niveles (alto, medio y bajo), se propone la siguiente cuantificación para los tres niveles de riesgos normalizados.

Cuadro 8
Rangos propuestos para niveles de riesgo normalizado*

Amenaza	Vulnerabilidad				
	Baja: 0-40		Media: 41-70		Alta: 71-100
Baja = 1	0-40		41-70		71-100
Media = 2	0-80		81-140		142-200
Alta = 3	0-80		81-120	123-160	161-210

Al analizar este último cuadro es importante reconocer algunos aspectos:

1. La combinación de una amenaza baja con una vulnerabilidad normalizada baja o media implica un riesgo normalizado bajo.
2. La combinación de una amenaza baja y una vulnerabilidad normalizada alta puede resultar en un riesgo normalizado bajo o medio, dependiendo de la magnitud particular de vulnerabilidad normalizada.
3. La combinación de una amenaza alta y una vulnerabilidad normalizada baja puede resultar en un riesgo normalizado de grado medio o alto, dependiendo de la magnitud de la vulnerabilidad normalizada.

En el cuadro anterior se han planteado los rangos propuestos para el riesgo normalizado de la siguiente manera:

Cuadro 9
Rangos propuestos para riesgo normalizado

Habiendo completado la discusión en torno a los modelos matemáticos a emplearse para evaluar cuantitativamente los riesgos, los siguientes capítulos presentan ejemplos de resultados obtenidos para municipios como San Juan Ermita y Camotán, y departamentos como Escuintla y Sacatepéquez, con relación a diversas amenazas. Dichos ejemplos presentan de manera detallada cada amenaza y cada vulnerabilidad analizada. En tal sentido, se recomienda analizarlos detenidamente para concretar un mejor entendimiento de los riesgos y de las posibles medidas a implementarse para su reducción.

Rango numérico de riesgo normalizado	Clasificación
0-80	Bajo
81-160	Medio
161-300	Alto

* Los distintos valores de las celdas, son fruto del respectivo producto de la columna de amenaza con la fila de vulnerabilidad según la fórmula de evaluación de riesgo

3. Riesgos asociados con diversas amenazas

3.1 Información en torno a vulnerabilidades

En el cuadro 10 se muestra un resumen de los indicadores de vulnerabilidad que se han deducido utilizando datos censales. Como es de esperarse, se ha tratado de identificar la naturaleza de las vulnerabilidades estructurales de acuerdo con cada tipo de fenómeno.

Cuadro 10
Indicadores de vulnerabilidades

Indicadores de vulnerabilidad	Parámetros
Vulnerabilidad estructural de las viviendas	Materiales de construcción para sus componentes: ● Piso ● Paredes ● Techo 
Vulnerabilidad habitacional demográfica	Sexo del jefe del hogar Edad del jefe del hogar Relación adultos/niños y ancianos (dependencia demográfica) 

En el caso de los sismos, por ejemplo, las paredes y los techos juegan un papel crucial, dado que si se desploman, los daños son catastróficos. En contraste, en el caso de las inundaciones, se debe poner énfasis en los pisos y paredes, pues los techos tienen poca relevancia en este caso. En forma paralela se ha incorporado una vulnerabilidad de carácter demográfico sobre la base de factores asociados con la población en las viviendas, tales como el sexo y la edad del jefe del hogar, así como una relación entre el número de adultos y de niños y ancianos.

A continuación se describen conceptualmente cada uno de estos indicadores de vulnerabilidades y la relevancia de los parámetros escogidos.

3.1.1 Indicador de vulnerabilidad estructural

Este indicador refleja lo propensas que están las viviendas de una comunidad o poblado a ser dañadas por un evento natural. Reconociendo los componentes típicos de las viviendas: pisos, paredes y techos, se ha considerado como base para la ponderación de cada uno de estos componentes el tipo de material con el cual están contruidos. Para la asignación numérica de los pesos se han tomado como referencia los daños observados en eventos catstróficos históricos y su impacto en cada uno de dichos componentes, así como su importancia relativa respecto a los demás.

En este caso los datos del INE especifican el número de viviendas que existe en cada poblado y los datos numéricos con relación al número de viviendas que utilizan diversos materiales de construcción en sus componentes estructurales. Los materiales de construcción que se han establecido por el INE se presentan a continuación:

Paredes:	Ladrillo, block, concreto, adobe, bajareque, madera, lepa, lámina y otros materiales.
Techos:	Concreto, lámina, asbesto/cemento, teja, paja y otros tipos.
Pisos:	Ladrillo de cemento, ladrillo de barro, torta de cemento, madera o tierra.

Tomando como base los diversos fenómenos naturales se han asignado pesos a los tres componentes (pisos, techos y paredes), así como a los materiales de construcción empleados para cada uno de éstos. La selección de los valores numéricos para estos pesos se realizó de manera participativa en talleres donde se convocó a expertos en ingeniería estructural, así como expertos en desastres de diversas instituciones del país.⁷ De esta manera se obtiene un factor numérico para el indicador de vulnerabilidad física-estructural de cada comunidad con referencia a cada tipo de amenaza.

3.1.2 Indicador de vulnerabilidad habitacional demográfica

A continuación se describen con mayor detalle los parámetros considerados en el estudio de las vulnerabilidades de tipo habitacional/demográfica.

Sexo del jefe del hogar	Se considera que cuando una mujer es jefe del hogar, dicho hogar es más vulnerable, sobre todo en aspectos de evacuación de dependientes y pertenencias durante el fenómeno natural que ocasiona el desastre.
-------------------------	---

Edad del jefe del hogar

En particular se asume que si el jefe del hogar es demasiado joven, no tendrá la experiencia necesaria para responder ante un desastre. De igual manera se asume que si el jefe del hogar es ya anciano se puede presentar un problema similar. Esto presupone que un jefe de hogar muy joven o anciano implica una condición de mayor vulnerabilidad respecto a un jefe de hogar adulto (20-60 años).



Relación adultos / niños y ancianos

Se ha tratado de poner particular importancia a los niños y ancianos, ya que niños y ancianos pueden ser un poco más vulnerables que los adultos, sobre todo durante un desastre si requieren de asistencia para su evacuación, y porque pueden ser más afectados físicamente si colapsan las viviendas.

En las siguientes secciones se ejemplifica cómo se evalúan los riesgos asociados con distintas amenazas.

3.2 Riesgos asociados con sismos

3.2.1 La amenaza sísmica

En este caso se cuenta con un registro de sismos provistos por varias bases de datos o catálogos entre los cuales figuran el del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) y el de United States Geological Survey USGS. Dichos catálogos han permitido la delimitación de fuentes sísmicas y de intensidades asociadas con sismos de gran magnitud que se han manifestado en el país.

Desde el punto de vista estructural, el modo más usual de representar la amenaza sísmica es en forma de mapas de isoaceleración esperada, dado que la aceleración es un parámetro que en ingeniería civil se puede asociar con fuerzas que pueden actuar sobre la infraestructura física y, por lo tanto, se considera como el parámetro conveniente para la representación de la amenaza.



Fotografía de un tramo de la cuenca del río Polochic, representativa de la falla del mismo nombre. De la misma manera, la cuenca del río Motagua es representativa de la falla del Motagua.

Los científicos del INSIVUMEH y de otras instituciones han indicado que la amenaza sísmica es sumamente compleja dado que se deben tomar en consideración los siguientes factores para caracterizarla de manera precisa:

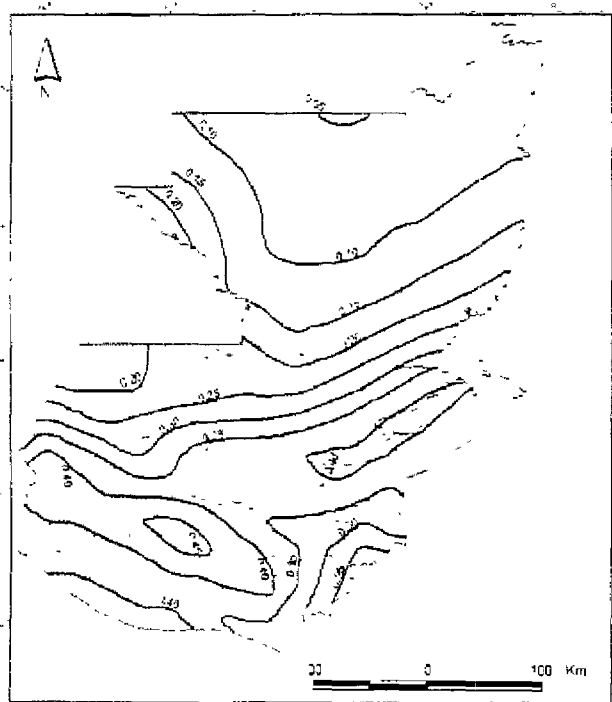
- Fuente sísmica.
- Propagación de las ondas sísmicas.
- Atenuación de las ondas en función de la distancia.
- Deformación tectónica:
 - Respuesta de sitio asociada con la geomorfología local.
 - Efectos conexos como deslizamientos y tsunamis (maremotos).
 - Tsunamis.

En general se conocen las fuentes sísmicas para Guatemala así como trabajos a nivel regional centroamericano donde se analizan las relaciones de atenuación para sismos. Sin embargo, la respuesta de cada lugar concreto depende de la geomorfología local, algo que apenas se está empezando a analizar para la ciudad capital y algunas otras importantes ciudades del país. Por tal motivo, se debe profundizar en este tipo de estudios para completar la información en torno a las amenazas.

Respecto a los tsunamis o maremotos, se reconoce que hasta los sismos extracontinentales tienen la capacidad de provocar dichos fenómenos costeros. Por lo tanto, sólo en zonas costeras debe tomarse en cuenta este efecto conexo.

En forma similar, E. L. Harp,⁸ del Servicio Geológico de los Estados Unidos de América comentó que el terremoto de 1976 provocó más de 10,000 deslizamientos en gran parte del territorio nacional, identificando características geológicas y tipos de suelos en los cuales se manifestaron muchos de estos deslizamientos. Así como en el caso de los maremotos, se debe analizar con más detalle este fenómeno asociado para describir en forma más precisa los sitios más probables para futuros deslizamientos ligados a sismos y, posteriormente, la generación de mapas de amenaza específicos.

Para el conjunto de Guatemala se dispone de un mapa de amenaza a escala 1:250,000, expresado con base en niveles de aceleraciones. Tal mapa caracteriza al país en varias regiones y se aplica a nivel departamental. Su interpolación al nivel municipal es imposible, pues no se cuenta con información detallada de todos los municipios para poder mejorar la precisión que es requerida.



Para municipios se pueden realizar estudios de amenaza empleando los métodos determinísticos y probabilísticos. En ambos casos se obtienen aceleraciones del orden de 0.05g a 0.40g. Esto significa que los sismos pueden llegar a producir aceleraciones que son del orden de 5% a 40% del valor de la aceleración de la gravedad. La expresión en términos de aceleración de la gravedad se usa comúnmente para tener una idea cuantitativa sobre la magnitud de estas aceleraciones. En la zona de Camotán las aceleraciones probables son bastante altas debido a la cercanía de la falla Jocotán Chamelecón.

Una forma distinta de representar la amenaza sísmica es mediante el uso de intensidades que se pueden sentir y sus impactos. La escala macrosísmica europea permite expresar la amenaza en términos más familiares, como se presenta en el cuadro 11:

Cuadro 11
Escala macrosísmica europea

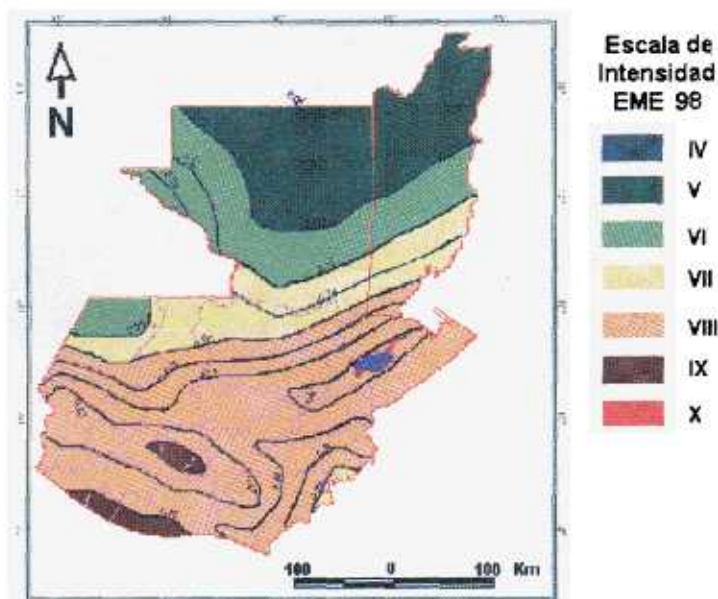
Intensidad EMS	Definición	Tipos de daños
I	No sensible	No sensible
II	Sensible levemente	Sensible solamente para poca gente personas en reposo en vivienda
III	Débil	Sensible adentro para poca gente. La gente en reposo siente una oscilación o temblor leve
IV	Observado ampliamente	Sensible por muchos adentro y pocos afuera de edificios. Pocas personas se despiertan. Las ventanas, puertas y platos se estremecen
V	Fuerte	Sensible por casi todos adentro y pocos afuera de edificios. Muchas personas se despiertan. Algunos se asustan. Los edificios tiemblan por doquier. Los objetos colgantes se mecen considerablemente. Pequeños objetos se desplazan. Las puertas y ventanas se abren y se cierran
VI	Causa daños leves	Mucha gente se asusta y corre hacia fuera. Algunos objetos se caen. Muchas viviendas sufren daños leves no estructurales, como grietas muy delgadas y la caída de piezas de repello
VII	Causa daños	Mucha gente se asusta y corre hacia fuera. Los muebles son desplazados y se caen muchos objetos de repisas. Muchos edificios ordinarios bien contruidos sufren daños moderados; pequeñas grietas en los muros, caída de repello, se caen partes de chimeneas; los edificios antiguos pueden mostrar grandes grietas en los muros y fallas en las paredes y tabiques
VIII	Causa Daños severos	A mucha gente le cuesta mantenerse de pie. Muchas viviendas muestran grietas grandes en los muros. Pocos edificios bien contruidos muestran daños serios en los muros, mientras que las estructuras antiguas pueden colapsar

IX	Destructivo	Pánico general. Muchas construcciones endebles colapsan. Incluso los edificios ordinarios bien contruidos muestran daños serios: fallas graves en los muros y falla estructural parcial
X	Muy destructivo	Muchos edificios ordinarios bien contruidos colapsan.
XI	Devastador	Casi todos los edificios ordinarios bien contruidos colapsan, incluso se destruyen algunos que tienen buen diseño sismorresistente
XII	Completamente devastador	Casi todos los edificios están destruidos

En los municipios de Camotán y San Juan Ermita, departamento de Chiquimula, la presencia de la falla Jocotán Chamelecón sugiere que se pueden esperar intensidades de grados

VIII y IX en casos extremos. En particular, estos resultados implican que si se manifiesta un terremoto de la magnitud indicada muchas de las viviendas de adobe y de bajareque experimentarán graves daños, en particular aquéllas con techos de teja. El mapa nacional de amenaza en función de intensidades se representa a la izquierda.

Como se observa, un alto porcentaje del altiplano y de la zona central del territorio se clasifican con una amenaza de intensidad de grado VIII (ocho). La zona norte y Petén se clasifican con intensidades entre V y VII, mientras que la región de Sololá, Sacatepéquez, y la costa sur pueden presentar intensidades de grado IX (nueve) como se indica. Éstas serían las regiones de mayor intensidad de acuerdo con el modelo empleado.



Curvas de Iso-Intensidad
10% de probabilidad de excedencia en 50 años

3.2.2 Indicadores de vulnerabilidad físico-estructural asociados a sismos

Tomando como experiencia los sismos recientes de Guatemala (1976) y El Salvador (2001), se reconoce que las viviendas de adobe o de bajareque con techo de teja son las más vulnerables, mientras que las viviendas con paredes de block, ladrillo y con techo de lámina o techo fundido, así como las viviendas de madera, son poco vulnerables. Por lo tanto, se ha procedido, a establecer un indicador asociado con la vulnerabilidad estructural de acuerdo con estos comportamientos observados. Además, el peso numérico que se ha asignado a las paredes de adobe en contraste al peso asignado a las paredes de block o de ladrillo, es indicativo de la mayor vulnerabilidad de las paredes de adobe o bajareque. Dentro de las mismas viviendas de adobe, los recientes terremotos demuestran que cuando la vivienda está construida con columnas y soleras de madera en las paredes, y en especial si la parte superior de las paredes (donde recae el peso del techo) es de madera, la vulnerabilidad se reduce considerablemente.

El procedimiento que se ha empleado para caracterizar este indicador se basa en factores de peso para los diversos componentes estructurales de la vivienda (piso, paredes y techos), así como pesos para los diversos materiales de construcción con los cuales está manufacturado cada componente.

Como criterios para la selección de los factores numéricos para los diversos pesos se ha propuesto lo siguiente:

- Respuesta de varios tipos de estructuras en caso de eventos históricos para diversos tipos de eventos (sismos, erupciones, deslizamientos e inundaciones).
- Importancia relativa de un componente de la vivienda respecto a los demás.



Fotografía de una vivienda tradicional con paredes de bajareque y techo de teja, con alta vulnerabilidad a terremotos.

El cuadro 12 presenta indicadores de vulnerabilidad para cada tipo de susceptibilidad con sus pesos específicos para los componentes y las diversas opciones que se presentan en relación con los materiales de construcción. Como se observa, se asigna un peso de 7 al componente paredes, dado que si colapsan, el techo cae encima de la vivienda y causaría serios problemas. En contraste, se asigna 3 de peso al componente techo. Adicionalmente, se puede observar que las viviendas de adobe o bajareque son las más vulnerables, lo que se ha confirmado plenamente en sismos tales como los de 1917/18 y el de 1976. En contraste, las viviendas de madera, palma o lepa son de baja vulnerabilidad, como es de esperarse para este tipo de estructuras.

En la fotografía se muestra una vivienda tradicional de la región ch'orti; paredes de bajareque y techo de palma

Cuadro 12
Pesos numéricos para estimar la vulnerabilidad
físico-estructural para sismos

Vulnerabilidad	Variables	Peso comp.	Peso opción
Vulnerabilidad estructural de las viviendas	Materiales de construcción para los componentes:		
	Paredes	7	
	adobe o bajareque		10
	block, concreto o ladrillo		5
	madera, lepa, palo o caña		3
	lámina metálica u otro material		4
	Techo	3	
	concreto		2
	lámina metálica, duralita		2
	paja, palma o similar		1
	teja		10

Para calcular la vulnerabilidad (V) de una vivienda se realiza la siguiente operación:

$$V = 7 \times \text{Peso Pared} + 3 \times \text{Peso Techo}$$

Por ejemplo, para una vivienda con pared de block (peso asignado, 5) y techo de lámina (peso asignado, 2), el cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$V = 7 \times 5 + 3 \times 2 = 35 + 6 = 41$$

De manera similar, a una casa con paredes de madera (3) y techo de paja (1) se le asigna la siguiente vulnerabilidad:

$$V = 7 \times 3 + 3 \times 1 = 21 + 3 = 24$$

Con estas simples operaciones podemos concluir que la primera casa es más vulnerable que la segunda casa, porque esta última es mucho más liviana.

El siguiente cuadro presenta indicadores de vulnerabilidad asociados con diversos tipos de viviendas:

Cuadro 13
Estimación de indicadores de vulnerabilidad
para varios tipos de viviendas

Tipo de vivienda	Características específicas (paredes, techos)	Estimación numérica del indicador de vulnerabilidad
Vivienda de paredes de ladrillo con techo de lámina	Pared: ladrillo Techo: lámina	41
Vivienda de block con techo fundido de concreto	Pared: block Techo: concreto	41
Vivienda de madera con techo de lámina	Pared: madera Techo: lámina	27
Vivienda de lepa con techo de palma	Pared: lepa Techo: palma	24
Vivienda de adobe o bajareque con techo de lámina	Pared: adobe Techo: lámina	76
Vivienda de adobe o bajareque con techo de teja	Pared: adobe Techo: teja	100

Como se observa, de acuerdo con la ponderación propuesta, la vivienda más vulnerable es una de adobe con techo de teja. En contraste, la menos vulnerable es un rancho de lepa o madera con techo de paja, palma o similar. Esto concuerda con los datos que se tienen de daños observados en varios terremotos, tanto de Guatemala como de otros países de la región.

Respecto a los techos, se ha considerado que un techo de teja es mucho más vulnerable que un techo de casi cualquier otro material. El factor de peso más bajo se asigna a los techos de paja, palma o similares, en vista que rara vez colapsan por su poco peso y, aunque colapsen, no se espera que causen fatalidades por la misma razón.

3.2.3 Indicadores de vulnerabilidad habitacional

Los indicadores habitacionales son iguales para las diferentes amenazas que puedan presentarse (terremotos, inundaciones, erupciones volcánicas, etcétera). Como se mencionó con anterioridad, en este estudio se maneja la vulnerabilidad habitacional, que se asocia con parámetros demográficos tales como el sexo del jefe del hogar, edad del jefe del hogar y dependencia familiar. Tomando como base el tipo de datos disponibles para su estimación, se concluye que las expresiones que se pueden deducir para dichas vulnerabilidades son prácticamente independientes de las amenazas. En el cuadro 14 se presentan los parámetros que se usan para caracterizar la vulnerabilidad.

Cuadro 14
Pesos numéricos para estimar el indicador
de vulnerabilidad habitacional

Vulnerabilidad	Variables	Peso comp.	Peso opción
Población en el hogar	Sexo del jefe del hogar	3	
	Hombre		3
	Mujer		5
	Edad del jefe del hogar	4	
	Adolescente (menor de 20 años)		3
	Adulto (20- 55 años)		1
	Anciano (mayor de 55 años)		5
	Relación adultos/ niños y ancianos	5	
	1 adulto por cada niño o ancianos		1
	1 adulto por cada 2 niños o ancianos		3
	1 adulto por cada 3 o más niños o ancianos		5

Se han asignado diversos pesos a los tres componentes de esta vulnerabilidad: se propone una mayor vulnerabilidad cuando el jefe del hogar es una mujer, cuando el jefe del hogar es anciano o muy joven, y cuando hay muchos niños y ancianos con relación a adultos en las viviendas.

Para calcular la vulnerabilidad demográfica, al igual que en el caso de la vulnerabilidad estructural se combinan los pesos de los componentes y los pesos de las opciones mediante simples multiplicaciones. Consideremos, por ejemplo el caso de una vivienda donde la mujer es la jefe del hogar (por ejemplo, alguien que ha enviudado), de 23 años de edad, y que tiene a su cargo tres hijos. En este caso el cálculo se haría de la siguiente manera:

$$V = 3 \times \text{Peso Sexo} + 4 \times \text{Peso Edad} + 5 \times \text{Peso Rel. Adultos/niños y ancianos}$$

$$V = 3 \times 5 + 4 \times 1 + 5 \times 5 = 15 + 4 + 25 = 44$$

A continuación se presentan algunos ejemplos:

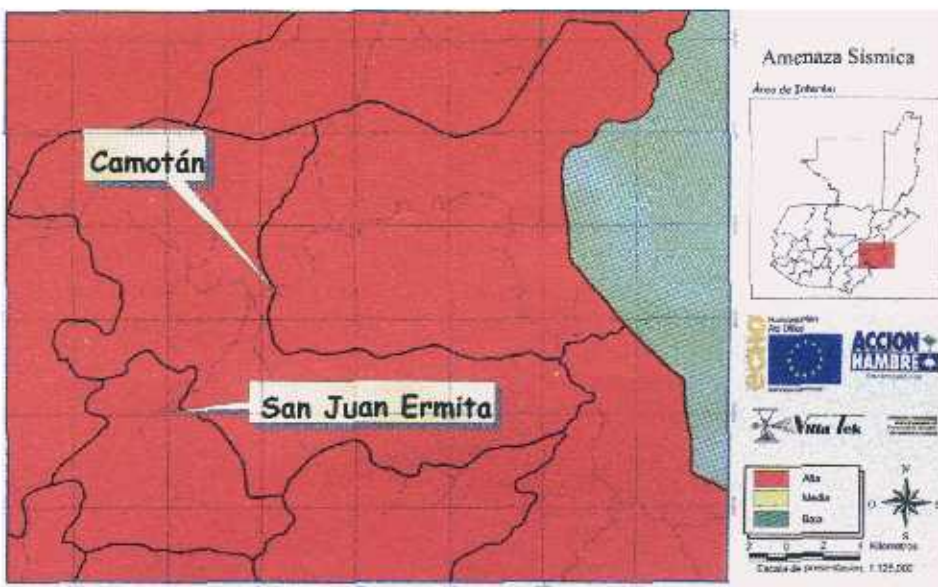
4. Ejemplos de evaluación de riesgos asociados con diversas amenazas

4.1 Sismos en Camotán y San Juan Ermita, Chiquimula

La amenaza sísmica para los municipios de Camotán y San Juan Ermita se origina debido a las diversas fuentes sísmicas de la región, en particular la falla Jorotán Chamelecón, que es parte del complejo de fallas que surgen de la interacción entre la placa tectónica de Norteamérica y la placa tectónica del Caribe. Entre los parámetros empleados para caracterizar la amenaza están las fuentes sísmicas, los factores de atenuación y la recurrencia de eventos.

Los resultados del estudio respectivo realizado por A. Pérez⁹ indican que la amenaza es prácticamente la misma para los dos municipios, dada su cercanía relativa con relación a las fuentes sísmicas. El siguiente mapa representa la amenaza sísmica para la región, la cual se puede clasificar como alta en el contexto guatemalteco.

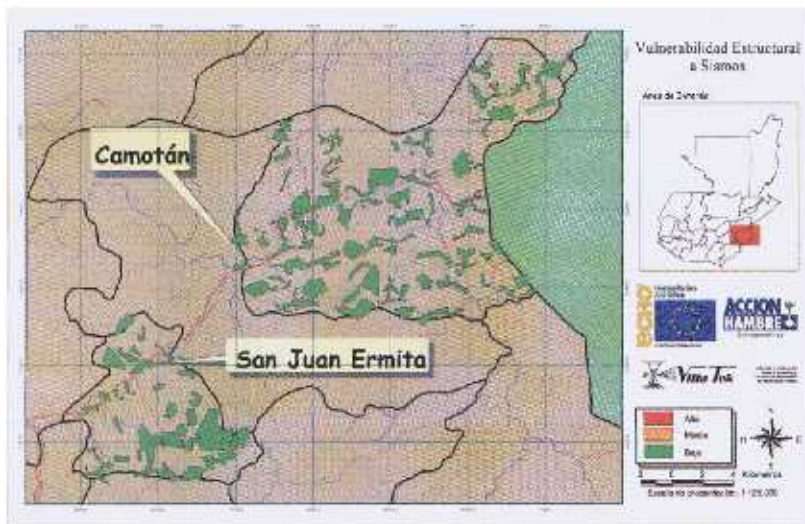
En este sentido, se debe comprender que aunque la amenaza es alta, su periodo de retorno es amplio. Esto significa que no se espera que se produzcan con frecuencia sismos de gran intensidad, como sucede en la costa sur, sino más espaciados en el tiempo.



4.1.1 Vulnerabilidad estructural con respecto a sismos

La vulnerabilidad estructural a nivel de poblados se evaluó con base en datos del censo de 1994 que realizó el INE para toda la República. La caracterización de la vulnerabilidad se realizó mediante un análisis de los materiales de construcción para las paredes y techos. El siguiente mapa representa la vulnerabilidad obtenida gracias a este análisis.

⁹ A. Pérez. Estudio de amenaza sísmica para San Juan Ermita y Camotán. Documento elaborado para el proyecto Gestión

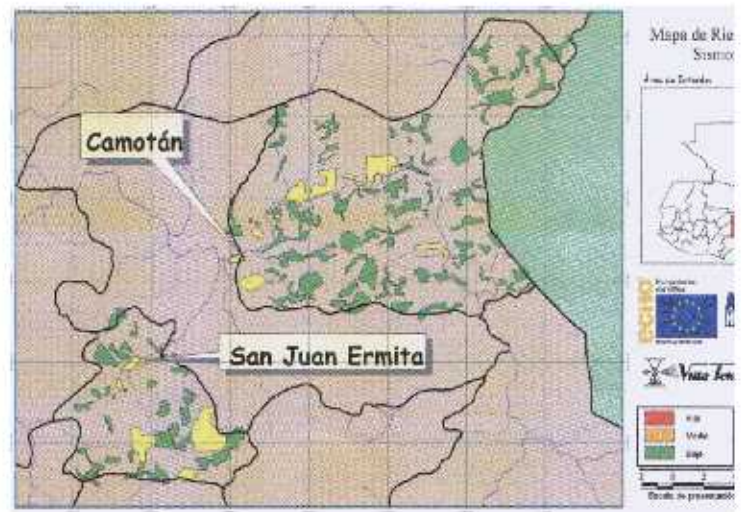


Numéricamente, los diversos poblados presentan vulnerabilidades estructurales respecto a sismos que oscilan entre 144 unidades y 13,367, el valor máximo correspondiente a la ciudad de Camotán. Estos valores se clasifican con un rango de baja vulnerabilidad con relación a poblados de todo el país (por debajo de 20,000 unidades).

4.1.2 Cuantificación del riesgo estructural respecto a sismos

Para realizar la integración numérica en este caso se asignó un valor numérico de 3 unidades a la amenaza (siendo 1 el mínimo valor para zonas de baja amenaza, 2 para zonas de amenaza media y 3 para regiones de alta amenaza).

Se realizó la multiplicación de la amenaza y las vulnerabilidades, y se obtuvieron valores para todas las comunidades de ambos municipios, que se han clasificado en niveles de bajo, medio y alto riesgo de acuerdo con el cuadro 5. A continuación se presenta el mapa de riesgo, donde se han integrado la amenaza y la vulnerabilidad.



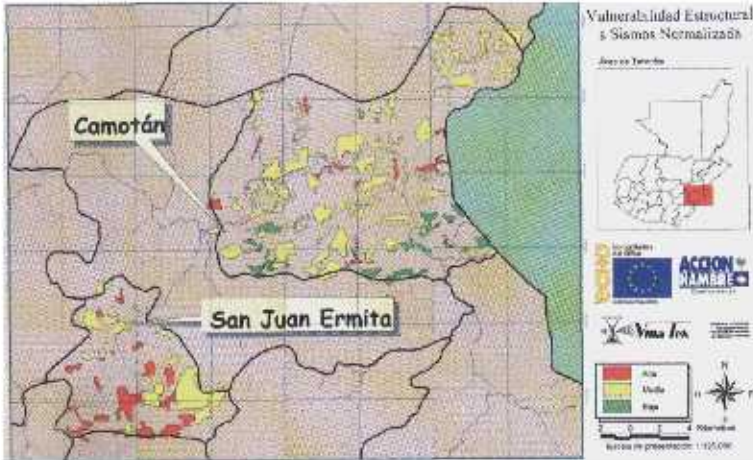
Con relación a los poblados, el siguiente cuadro presenta las magnitudes de los indicadores de riesgos de mayor magnitud para los dos municipios:

Cuadro 21
Riesgos por sismos para comunidades de San Juan Ermita y Camotán

Municipio	Nombre	Riesgo sísmico
Camotán	Camotán	41,001
San Juan Ermita	San Juan Ermita	38,442
San Juan Ermita	Taxarja	36,564
Camotán	Lela Obraje	33,369
Camotán	Lantiquín	30,108
Camotán	Pajco	27,516
Camotán	Shupa	25,911
Camotán	Cajón del Río	22,350
San Juan Ermita	Chispan Jaral	21,585
San Juan Ermita	Los Planes	20,982
San Juan Ermita	San Antonio Lajas	20,001
San Juan Ermita	Salitrón	19,869
Camotán	Caparja	19,245
Camotán	Morola	18,915
Camotán	Tesoro	18,768
Camotán	Rodeo	18,675
Camotán	Tular	17,772
Camotán	Tisamarte	17,379
Camotán	Guior	16,938
Camotán	Lela Chanco o Plan del Morro	16,812

Se puede observar como los poblados de mayor dimensión son los que presentan el mayor riesgo total y, en este caso, hay varios poblados que se deben clasificar con un riesgo de clase media.

4.1.3 Vulnerabilidad estructural normalizada respecto a sismos



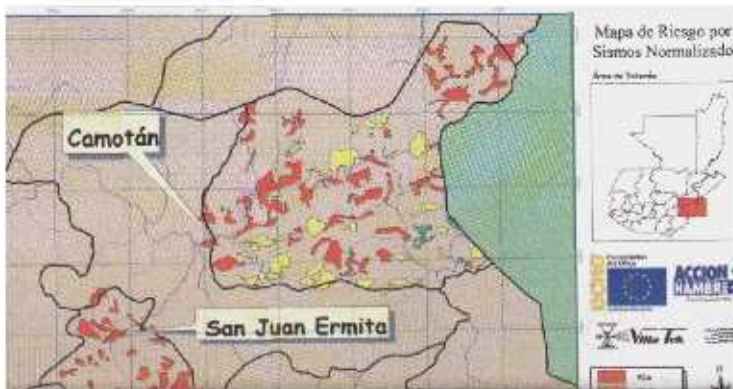
Como se indicó con anterioridad, la vulnerabilidad estructural normalizada se evaluó dividiendo el riesgo total dentro del número de viviendas para cada poblado. En el siguiente mapa se muestran los resultados obtenidos. En este caso, las magnitudes de las vulnerabilidades normalizadas para todos los poblados de los dos municipios oscilan entre 24 y 83 unidades de un máximo posible de 100 unidades.

Tomando como referencia los rangos planteados en el cuadro 6 del capítulo 2, se evidencia que en los tres rangos pueden clasificarse las comunidades. Además, se nota una región en San Juan Ermita donde las vulnerabilidades son elevadas, algo que se debe analizar con más detalle. De manera similar se observa

una región de baja vulnerabilidad en la porción sur del municipio de Camotán.

4.1.4 Cuantificación de riesgo normalizado de tipo estructural respecto a sismos

En este caso se integraron la vulnerabilidad normalizada de tipo estructural y la amenaza para generar un mapa que representa los riesgos normalizados respecto a sismos. A la amenaza, como se indicó anteriormente, se le asignó un valor 3 para la realización de los cálculos numéricos. El mapa a la izquierda muestra los resultados:

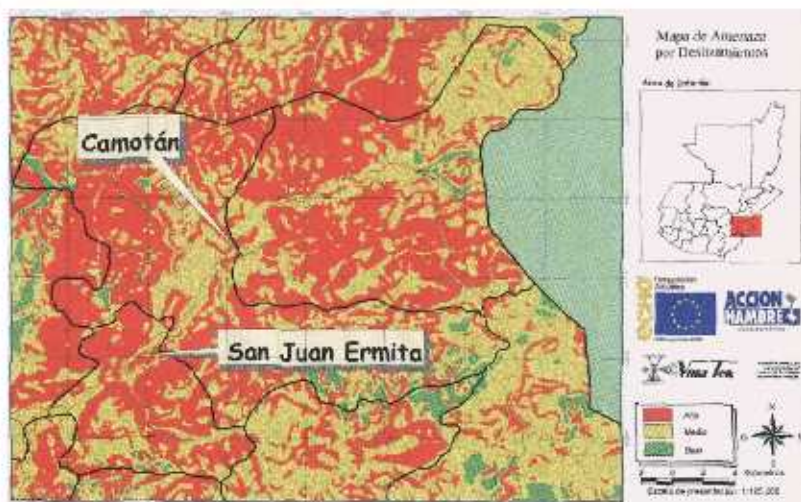


En contraste con el caso del riesgo total, es importante notar que en este caso del riesgo normalizado muchas comunidades pueden clasificarse como de alto riesgo, sobre todo las de San Juan Ermita. Esto se debe a la combinación de una alta amenaza y vulnerabilidades normalizadas de nivel medio o alto. Dicho resultado implica que se debe poner particular atención a este riesgo por los graves daños que se pueden esperar si ocurre un sismo de la intensidad de grado VIII que se manifieste en el área. Los valores de riesgo normalizado oscilan entre 72 y 249 unidades para todas las comunidades de los dos municipios, lo que abarca los tres niveles de riesgo (alto, medio y bajo).

4.2 Deslizamientos en Camotán y San Juan Ermita

La amenaza por deslizamiento se calculó según diversos factores tales como la pendiente, la geología, el aspecto, cobertura boscosa, uso de suelo, elevación y el grado de fracturamiento. El mapa de amenaza elaborado para esta zona se presenta a la derecha:

Como se observa, hay zonas que se caracterizan como de alta amenaza, zonas de amenaza media y unos pocos enclaves en los que se manifiesta una baja amenaza en ambos municipios. Como zonas particulares propensas a deslizamiento se mencionan el segmento noroeste y sureste de Camotán, donde se conoce de casos de deslizamientos activos.



4.2.1 Vulnerabilidad estructural respecto a deslizamientos

La vulnerabilidad se calculó según los tres parámetros indicados anteriormente: pisos, paredes y techos. Los valores numéricos obtenidos para esta vulnerabilidad oscilan entre 104 y 9,138, lo que permite clasificar a los poblados bajo una clase baja de vulnerabilidad.

