

3 ELABORACION DE MODELOS DE SUSCEPTIBILIDAD, INDICADORES DE VULNERABILIDAD Y DE FACTORES GENERADORES DE RIESGO

Como se mencionó en el capítulo anterior, se ha procedido a utilizar un modelo basado en susceptibilidades e indicadores de vulnerabilidad que permite la identificación preliminar de los indicadores de riesgo respectivos. En este sentido se debe reconocer este esfuerzo como un intento preliminar sistemático por parte de SEGEPLAN en la caracterización temática de riesgos en base a susceptibilidades y los indicadores de vulnerabilidad respectivas. En esta sección se describe en forma detallada los modelos empleados para la caracterización de estos componentes de los riesgos y la forma en la cual se han evaluado cualitativa y cuantitativamente.

3.1 Susceptibilidades

A continuación se presenta información con respecto a las susceptibilidades empleadas en este estudio.

Tabla III: Fuentes de información para susceptibilidad en los cuatro departamentos

SUSCEPTIBILIDAD	DEPARTAMENTOS	FUENTE	COMENTARIO
Sismos	Sacatepéquez, Guatemala	A. Pérez, CONRED	Basado en modelos de distribución de Poisson.
Deslizamientos	Guatemala, Sololá	PED-MAGA, CONRED	A nivel municipal, basado en registro histórico de periódicos.
Erupciones	Escuintla, Sacatepéquez	USGS	Escala 1:50,000, debe ajustarse al formato SIG para delimitar municipios
Inundaciones	Escuintla	PED-MAGA, CONRED	A nivel municipal, basado en registro histórico de inundaciones y complementado con información geográfica.

Es importante recalcar que hacen falta estudios de campo para verificar la precisión y la exactitud geográfica de los mapas en torno a las diversas susceptibilidades. En particular, no se puede tomar las susceptibilidades nunca como elementos que se pueden ordenar en base a la distribución político-administrativa del país. De igual manera hacen falta levantamientos más precisos de información utilizando información satelital de alta resolución y visitas de campo para deducir la extensión geográfica de cada susceptibilidad, como lo han efectuado los científicos del USGS para el caso de los volcanes Agua, Acatenango, Fuego y Pacaya.

A continuación se presenta una discusión temática en torno a cada susceptibilidad, que ha servido de base para la caracterización de los mapas de susceptibilidad que se han empleado para este estudio.

3.1.1 Sismos

Se cuenta con un registro de sismos provistos por varias bases de datos o catálogos entre los cuales figuran el del INSIVUMEH y el de USGS. Dichos catálogos han permitido la delimitación de fuentes sísmicas y de intensidades asociadas a sismos de gran magnitud que se han manifestado en el país.

Desde el punto de vista estructural, la forma más tradicional de representar la susceptibilidad es en forma de mapas de iso-aceleración esperada, dado que la aceleración es un parámetro que en ingeniería civil se puede asociar a fuerzas que pueden actuar sobre la infraestructura física y por lo tanto se considera como el parámetro conveniente para la representación de la susceptibilidad.

Los científicos del INSIVUMEH y de otras instituciones han indicado que la amenaza sísmica es más compleja, por lo cual se deben tomar en consideración los siguientes factores para la generación de los mapas de amenaza:

- *Fuente sísmica*
- *Propagación de las ondas sísmicas*
- *Atenuación de las ondas en función de la distancia*
- *Deformación tectónica:*
 - *respuesta de sitio asociada a la geomorfología local*
 - *efectos conexos como deslizamientos y tsunamis (maremotos)*
 - *tsunamis*

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

Reconocimiento preliminar de riesgos asociados a varias amenazas en poblados de Guatemala

Con respecto a los tsunamis se reconoce que hasta los sismos extracontinentales tienen la capacidad de provocar tsunamis o maremotos. Además, se reconoce que su impacto se limita a la zona costera. De ahí que en esas zonas costeras se deba tomar en cuenta este efecto conexo.

En forma similar. E. Harp¹¹, del Servicio Geológico de los Estados Unidos 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 en más detalle este fenómeno conexo para describir en forma más precisa los sitios más probables para futuros deslizamientos asociados a sismos y posteriormente la generación de mapas de susceptibilidad o amenaza específicos.

Precisión: Se cuenta con un mapa de susceptibilidad expresado en base a niveles de aceleraciones que está a escala 1:250,000. Tal mapa caracteriza al país en varias regiones y se aplica a nivel departamental. Su interpolación al nivel municipal es imposible en algunos casos, pues se reconoce que no se cuenta con la información a suficiente detalle en todos los municipios para poder mejorar la precisión de la caracterización.

Conclusión: se debe reconocer la limitación que presenta este mapa de susceptibilidad en torno a la precisión a nivel municipal y comunitario. Se recomienda solamente un uso a nivel nacional o a nivel regional (varios departamentos).

3.1.2 Erupciones

El fenómeno de erupción abarca varios sub-fenómenos con capacidad destructiva. Entre estos se mencionan los ríos de lava, los lahares, los colapsos de conos o edificios volcánicos, las nubes ardientes, los flujos piroclásticos y las nubes de ceniza.

En la actualidad se cuenta con mapas para caracterizar la amenaza para los volcanes Fuego, Acatenango, Pacaya y Agua. En el caso del volcán Pacaya se cuenta con información en torno a caída de materiales, flujos de lava, lahares (flujos de lodo), flujos piroclásticos y colapsos de edificio volcánico; mientras que en el caso de los volcanes Fuego y Acatenango se cuenta con información en torno a lahares, nubes ardientes, avalanchas, flujos de lava y flujos piroclásticos

Precisión: Para el caso del volcán Pacaya, personal norteamericano del USGS y del sector académico, apoyados por INSIVUMEH, han elaborado mapas de susceptibilidad a escala 1:150,000. Tales mapas cuentan con la suficiente precisión para ser incorporados a nivel municipal y, con ciertas limitaciones, a nivel comunitario para algunos tipos de sub-susceptibilidades.

¹¹ E.L. Harp, R.C. Wilson, J.F. Wiekzorek. Landslides from the February 4, 1976, Guatemala earthquake. USGS, 1981

Reconocimiento preliminar de riesgos asociados a varias amenazas en poblados de Guatemala

En el caso del volcán de Fuego los mapas se encuentran a escala 1:50,000, lo que permite identificar municipios y poblados. Sin embargo, al igual que en el caso de los sismos, se debe tener cuidado al interpolar la información hasta el nivel local dado que los límites de las zonas de susceptibilidad son solamente interpretativos y no precisos.

Conclusión: de acuerdo a los expertos que han participado en los diversos talleres, se concluye que estos son los mapas de susceptibilidad más detallados que se tienen a disposición en Guatemala con respecto a cualquier tipo de susceptibilidad. Su precisión es tal que se pueden usar a nivel departamental y a nivel municipal y, en algunos casos, a nivel de comunidades.

3.1.3 Inundaciones

Con información sobre eventos pasados y utilizando imágenes satelitales e información geográfica, el Programa de Emergencias por Desastres del MAGA (PED-MAGA) ha elaborado un mapa de inundaciones a nivel municipal para toda la república basado en modelos de elevación digital, información histórica de eventos e información hidrológica sobre las diversas cuencas que ha aportado INSIVUMEH.

Precisión: el mapa está elaborado a nivel municipal, por lo cual no se puede extrapolar a nivel de poblado comunidad. Esto implica que no se puede elaborar un mapa de riesgo a nivel comunitario, sino solamente a nivel municipal.

Conclusión: este mapa se ha elaborado a nivel de reconocimiento, empleando información que se tiene sobre sitios inundados en el pasado. Sin embargo, se reconoce que esta información no ser completa sobretodo porque hay sitios que se sabe que se inundan, pero de los cuales no se tienen reportes a nivel institucional por su lejanía o inaccesibilidad. En este caso se recomienda estudios hidrológicos e hidráulicos a nivel de las cuencas para caracterizar en mejor forma las cuencas y de esta manera las susceptibilidades asociadas a cada una, para lo cual se recomienda analizar la valorización y la exposición a este tipo de fenómenos.

3.1.4 Deslizamientos

En la actualidad se cuenta con varios mapas para representar dicha susceptibilidad, uno elaborado a nivel de escala municipal por el PED-MAGA y uno para el valle de la ciudad de Guatemala a escala 1:100,000 elaborado por la Cooperación Española y finalmente mapas a escala 1:10,000 elaborados por INSIVUMEH y CONRED para un grupo específico de asentamientos del distrito metropolitano. Las metodologías empleadas son muy similares en todos casos, aunque la precisión varía de una fuente a otra.

Los expertos de varias instituciones indican que para caracterizar esta amenaza es necesario considerar los siguientes elementos:

Reconocimiento preliminar de riesgos asociados a varias amenazas en poblados de Guatemala

- *Condiciones Naturales:*
 - *pendiente*
 - *suelo /geología*
- *Mecanismos de disparo:*
 - *hidrometeorológicos*
 - *sísmicos*
 - *antrópicos*
- *Uso actual de suelos y condiciones particulares tales como:*
 - *cobertura vegetal*
 - *manejo de aguas pluviales y servidas*
 - *redes de drenaje*

Precisión: se cuenta con un mapa elaborado por PED-MAGA, con cobertura a nivel de toda la república y precisión a nivel municipal, lo que no permite una interpolación a nivel de poblado.

En el caso de los mapas elaborados por la Cooperación Española se puede extrapolar a nivel de poblado con la salvedad mencionada para las susceptibilidades anteriores en torno al manejo con el debido cuidado.

En contraste, en el caso de los mapas generados por CONRED para una zona de los asentamientos del distrito metropolitano, la precisión es muy adecuada para nivel de poblado, pero se tiene cobertura geográfica muy limitada a los nueve asentamientos que se trabajaron en el proyecto que enfocó reducción de riesgos a nivel de tales asentamientos.

Es importante mencionar que las susceptibilidades por inundación y deslizamiento se ven afectadas drásticamente por el uso que se da a los suelos para agricultura y asentamientos humanos. La modificación en los usos de suelo puede variar el comportamiento geográfico de un deslizamiento, por lo cual se debe manejar con sumo cuidado la información de estas susceptibilidades a nivel de poblado y a nivel municipal.

3.2 Indicadores de vulnerabilidades físicas – estructurales

Como se mencionó con anterioridad, se debe reconocer que las vulnerabilidades físicas-estructurales están asociadas a las diversas susceptibilidades. La estimación propuesta de indicadores de este tipo de vulnerabilidad se hace conforme a una agrupación ponderada de parámetros estadísticos, basado en la metodología deducida previamente por CIMDEN para este fin. A continuación se presentan las tablas descriptivas que se han usado para la evaluación de los indicadores de las vulnerabilidades y los comentarios complementarios para cada tipo de vulnerabilidad.

3.2.1 Indicadores de vulnerabilidad física-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 bahareque 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 a la vulnerabilidad estructural en base a 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 bahareque.

Dentro de las mismas viviendas de adobe, los recientes terremotos son indicativos de que cuando la vivienda está construida con columnas y soleras de madera en las paredes y sobretodo en la parte superior de las paredes donde recae el peso del techo, la vulnerabilidad se reduce considerablemente. Sin embargo, el INE no cuenta con una información tan detallada de las viviendas y sus técnicas de construcción, lo cual limita en este caso la precisión con la cual se puede caracterizar el indicador respectivo para esta vulnerabilidad.

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 el autor propuso los siguientes:

- *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 con respecto a los demás.*

Para la adjudicación de los factores numéricos en este estudio se realizó un taller institucional con la participación de expertos de diversas entidades, quienes analizaron cada vulnerabilidad y asignaron los coeficientes numéricos respectivos para su estimación.

A continuación se presenta la tabla de indicadores de vulnerabilidad para cada tipo de susceptibilidad con sus pesos específicos para los componentes y las diversas opciones que se presentan en relación a los materiales de construcción. Como se observa, se asigna un peso de 70% al componente paredes dado que si colapsan, el techo cae encima de la vivienda y causaría serios problemas. En contraste, se asigna 30% de peso al componente techo. Adicionalmente se puede observar que las viviendas de adobe o bahareque 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.

Tabla IV: Pesos numéricos para estimar la vulnerabilidad física-estructural para sismos

VULNERABILIDAD	VARIABLES	PESO COMP.	PESO OPCION
Estructural de las viviendas	Materiales de construcción para los componentes:		
	Paredes	70%	
	Adobe o Bahareque		10
	Block, concreto, o Ladrillo		5
	Madera, lepa, palo o caña		3
	Lámina metálica u otro material	4	
	Techo	30%	
	Concreto		2
	Lámina metálica, asbesto-cemento		2
	Paja, palma o similar		1
Teja	10		

Empleando un proceso simple para la combinación de estos componentes y los diversos materiales de construcción, se presenta la siguiente tabla de valores numéricos para los indicadores de vulnerabilidad asociados a diversos tipos de viviendas:

Tabla V: 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 a 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

Reconocimiento preliminar de riesgos asociados a varias amenazas en poblados de Guatemala

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.

Con respecto a los techos se ha propuesto 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.

Sin embargo, entre las limitaciones planteadas por los ingenieros civiles y estructurales con respecto a la evaluación de estos indicadores cabe mencionar dos en particular:

- *No se cuenta con información con respecto a los cimientos de las viviendas, que son un componente muy importante para la estabilidad de las paredes.*
- *No se cuenta con información correlacionada de combinaciones de techos y paredes, por ejemplo el caso de viviendas con paredes de adobe y techos de teja que son prácticamente las más vulnerables.*

Como recomendación emana entonces la necesidad de evaluar en los censos este tipo de información adicional para categorizar de manera más precisa las vulnerabilidades.

3.2.2 Indicadores de vulnerabilidad física-estructural asociados a erupciones

En el caso de las erupciones se manifiestan diversos fenómenos conexos tales como los flujos o ríos de lava, las nubes ardientes, la caída de material piroclástico y de ceniza y los colapsos de conos o edificios volcánicos. La historia indica que en el caso de los ríos de lava y las nubes ardientes prácticamente todas las estructuras son vulnerables, independiente de los materiales de construcción. En particular, las viviendas de madera se consumen en forma de incendios.

En este estudio se ha analizado el caso de las vulnerabilidades para el caso de acumulación de ceniza y material piroclástico en los techos de las viviendas, que en casos críticos puede conllevar al colapso de los mismos. Es fácil concluir que un techo muy inclinado favorece la caída subsecuente del material al suelo, lo que impide una acumulación en los techos. Sin embargo, la base de datos del INE no cuenta con datos en torno a la inclinación de los techos. Ante tal situación se ha procedido a identificar la vulnerabilidad tomando el caso típico que los techos de lámina son de poca o casi nula inclinación, por lo cual acumularán mucho material, de tal manera que en un momento dado pueden colapsar. A continuación se presenta la tabla de indicadores de vulnerabilidad asociados a este fenómeno de acumulación de ceniza y material piroclástico en los techos:

Tabla VI: Pesos numéricos para estimar la vulnerabilidad física estructural con respecto a erupciones – caída de ceniza

VULNERABILIDAD	VARIABLES	PESO COMP.	PESO OPCION
Estructural de las viviendas	Materiales de construcción para sus componentes:	30%	
	Paredes		
	Adobe o Bahareque		4
	Block, concreto, o Ladrillo		2
	Madera, lepa, palo o caña		10
	Lámina metálica u otro material		6
	Techo	70%	
	Concreto		2
	Lámina metálica, asbesto-cemento		5
	Paja, palma o similar		10
Teja	5		

Como se observa, los expertos de diversas instituciones han dado un peso de 70% a los techos y uno de 30% a las paredes. Además, los expertos han propuesto que los techos de paja, palma o similares sean los más vulnerables. En lo que respecta a las paredes, se asigna la mayor vulnerabilidad a las paredes hechas de madera, lepa o caña debido a su baja capacidad de resistir pesos asociados a las cenizas acumuladas en los techos. Tomando como base estos parámetros y sus pesos respectivos se puede representar este tipo de indicador de vulnerabilidad asociado a diversos tipos de viviendas de la siguiente manera:

Tabla VII: Indicadores de vulnerabilidad para viviendas de varios tipos con respecto a caída de ceniza.

Tipo de vivienda	Características específicas (paredes, techos)	Estimación numérica 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	20
Vivienda de lepa con techo de palma	Pared: lepa Techo: palma	100
Vivienda de adobe o bajareque con techo de lámina	Pared: adobe Techo: lámina	47
Vivienda de adobe o bajareque con techo de teja	Pared: adobe Techo: teja	47

Como se observa, en este caso el modelo propone que las viviendas de madera sean las más vulnerables en caso que se acumule ceniza o material piroclástico en sus techos. La menor

Reconocimiento preliminar de riesgos asociados a varias amenazas en poblados de Guatemala

vulnerabilidad se manifiesta para el caso de viviendas con paredes de block o ladrillo y techos fundidos de concreto.

Como se mencionara anteriormente, hace falta información con respecto a la inclinación de los techos para caracterizar de manera más precisa las vulnerabilidades de las viviendas con respecto a esta susceptibilidad. Este factor de inclinación es de suma importancia dado que si el techo tiene suficiente inclinación, no se acumula ceniza o materiales piroclásticos, sino que resbalan y caen al suelo por su propio caso. En contraste, techos con poca inclinación tienen la capacidad de acumular toda la ceniza o material que les cae encima y por lo tanto son más susceptibles a colapsar en caso que se acumule una gran cantidad de material, excepto cuando la estructura es sólida y el techo está fundido.

De igual manera es importante mencionar que la base de datos de INE indica el número de viviendas con cada tipo de paredes y por separado el número de viviendas con diversos tipos de techos, pero no las combinaciones que se han descrito en la tabla anterior. Ante tal situación se hace necesario en el futuro solicitar al INE nuevas tablas que permitan la identificación de los tipos de viviendas más vulnerables de acuerdo a como están integradas.

3.2.3 Indicadores de vulnerabilidad física-estructural asociados a inundaciones.

En este caso y tomando como referencia los daños experimentados por las viviendas durante el huracán Mitch, se han deducido factores que hacen más propensas a las viviendas de una comunidad a sufrir los impactos de una inundación. Sin embargo, se debe notar que la mayor vulnerabilidad está asociada a la altura a la cual se encuentran el piso, las letrinas y los depósitos de agua en las viviendas, dado que la vulnerabilidad de las viviendas está directamente relacionada a esta altura con respecto al nivel del río. Una vivienda que está construida de tal manera que su piso está muy elevado con respecto al río no será vulnerable, aunque una vivienda con el piso muy bajo sí. De manera similar, una vivienda de dos niveles es menos vulnerables que una vivienda de un solo nivel, pues en caso de inundación se puede utilizar el nivel superior para seguir habitando la vivienda. Sin embargo, al igual que en los casos anteriores, esta información no se encuentran disponible en los datos que suministra el INE, por lo cual se hace necesario en el futuro identificar estos parámetros dentro de los censos, en particular aquellos que se refieren a desastres naturales.

En este caso los expertos institucionales coincidieron en expresar los siguientes argumentos:

- *Se debe conocer la altura de los pisos para determinar el grado de vulnerabilidad de las viviendas.*
- *Se ha omitido el valor asociado a los techos porque no se consideran como factores que integran la vulnerabilidad en este caso.*

A continuación se presenta la tabla para los indicadores de la vulnerabilidad en caso de inundaciones.

Reconocimiento preliminar de riesgos asociados a varias amenazas en poblados de Guatemala

Tomando como base los pesos de los componentes y los pesos de las diversas opciones para los componentes es posible generar valores para cada una de las vulnerabilidades para tipo de vivienda. De esta manera se puede entonces construir mapas que integren las vulnerabilidades para poblados, los cuales a su vez se pueden integrar con las susceptibilidades para deducir zonas de riesgo.

3.3 Indicadores de vulnerabilidad poblacional y factores institucionales generadores de riesgos

Como se mencionó con anterioridad, en este estudio se maneja la vulnerabilidad poblacional que se asocia a parámetros demográficos tales como sexo del jefe del hogar, edad del jefe del hogar y dependencia infantil. En forma paralela se manejan dos factores generadores de vulnerabilidades y riesgos en base a índices de *necesidades básicas insatisfechas*, *la brecha de pobreza* y *factores institucionales a nivel municipal*. 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 susceptibilidades. A continuación se presenta una tabla donde se presentan esta vulnerabilidad y los parámetros que se usan para caracterizarla.

Tabla X: Pesos numéricos para estimar el indicador de vulnerabilidad poblacional

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 anciano		1
	1 adulto por cada 2 niños o ancianos		3
1 adulto por cada 3 o más niños o ancianos		5	

Como se mencionó, se ha 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.

La selección de los pesos en cada caso se realizó mediante un taller interinstitucional, en el cual los participantes analizaron los diversos componentes del indicador y las opciones dentro de cada uno para asignar pesos en cada caso.

A continuación se presentan algunos casos típicos:

Tabla XI: Estimación de indicadores de vulnerabilidad poblacional para viviendas con diversas configuraciones de habitantes.

Tipo de hogar	Características específicas (paredes, techos)	Estimación numérica del indicador de vulnerabilidad
Hogar con un jefe de hogar masculino, adulto, con 2 adultos y 2 niños en la vivienda.	Sexo del jefe del hogar: masculino Tipo de jefe del hogar: adulto Relación adultos / niños: 2/2	18
Hogar con un jefe de hogar femenino, adulto, con 2 adultos y 2 niños en la vivienda.	Sexo del jefe del hogar: femenino Tipo de jefe del hogar: adulto Relación adultos / niños: 2/2	24
Hogar con un jefe de hogar masculino, adulto, con 2 adultos y 6 niños en la vivienda.	Sexo del jefe del hogar: masculino Tipo de jefe del hogar: adulto Relación adultos / niños: 2/6	38
Hogar con un jefe de hogar masculino, anciano, con 2 adultos y 6 niños en la vivienda.	Sexo del jefe del hogar: masculino Tipo de jefe del hogar: anciano Relación adultos / niños: 2/6	54
Hogar con un jefe de hogar femenino, adolescente, con 1 adulto y 4 niños en la vivienda.	Sexo del jefe del hogar: femenino Tipo de jefe del hogar: adolescente Relación adultos / niños: 1/4	52
Hogar con un jefe de hogar femenino, anciano, con 1 adulto y 4 niños en la vivienda.	Sexo del jefe del hogar: femenino Tipo de jefe del hogar: anciano Relación adultos / niños: 1/4	60

Como se observa en la tabla anterior, los hogares donde los jefes de hogar son ancianos o adolescentes son más vulnerables, como se ha propuesto por los expertos. Sin embargo, al igual que en los casos anteriores, la base de datos actualmente disponible no permite crear las combinaciones que se han presentado en la tabla, sino solamente categorizar en forma general todos los hogares de una comunidad, por lo cual se recomienda solicitar al INE una nueva base de datos con combinaciones específicas que permitan definir de manera más precisa las vulnerabilidades en los hogares.

Como se mencionó anteriormente, además de reconocer los riesgos existentes, es necesario identificar aquellos factores que contribuyen o propician su generación. En este estudio se consideran dos tipos de factores, aquellos de carácter socioeconómico asociados a los hogares y los que son de tipo institucional a nivel municipal. Las tablas para la evaluación cuantitativa de estas vulnerabilidades se presentan a continuación:

Tabla XII: Factores socioeconómicos e institucionales generadores de vulnerabilidades y riesgos

Necesidades básicas insatisfechas, NBI	Precariedad ocupacional (% de pobres),	5	
	Hacinamiento,	3	
	Hogares con menos de 4 personas por cuarto		1
	Hogares con 4 o mas personas por cuarto		2
	Escolaridad de los jefes de hogar	3	
	Alta (universidad)		1
	Media (bachillerato, perito, secretarial)		2
	Baja (primaria)		3
	Acceso a agua potable y drenajes	3	
	Si		1
	No		2
Brecha de pobreza	Valor de la brecha (normalizada al número millones de quetzales para cada municipio)	1	1
Factores Institucionales	Existencia de normas de construcción	1	
	Existe y se aplica		1
	Existe pero no se aplica		2
	Está en proceso de legalizarse		3
	Está en proceso de discusión		4
	No existe		5
	Existencia de esquemas de ordenamiento territorial	1	
	Existe y se aplica		1
	Existe pero no se aplica		2
	Está en proceso de legalizarse		3
	Está en proceso de discusión		4
	No existe		5
	Densidad poblacional,	1	
	1 – 1000 pp/ km ²		1
	1000 – 2000 pp/ km ²		2
	2000 – 3000 pp/ km ²		3
	3000 – 4000 pp/ km ²		4
	más de 4000 pp/ km ²		5
	Crecimiento poblacional	1	
	Negativo o cercano a 0		1
Positivo		2	
Coordinadora de Reducción de Desastres	1		
Si existe, está capacitada, equipada y cuenta con recursos		1	
Si existe, está capacitada equipada pero sin recursos		2	
Si existe, está capacitada, no equipada y sin recursos		3	
Si existe pero no está capacitada ni equipada		4	
No existe a nivel de la comunidad		5	

Reconocimiento preliminar de riesgos asociados a varias amenazas en poblados de Guatemala

	Cuerpos de Socorro	1	
	Si existe, está capacitado y equipado y responde		1
	Si existe, está capacitado y equipado, pero no responde		2
	Si existe y está capacitado pero no equipado		3
	Si existe pero no está capacitado ni equipado		4
	No existe a nivel de la comunidad	5	
	Plan de Emergencia	1	
	Si existe, se ha divulgado y se aplica		1
	Si existe y se ha divulgado pero no se aplica		2
	Si existe pero no está divulgado		3
Está en fase de preparación	4		
No existe	5		

Tomando como base los datos del INE se ha procedido a calcular los indicadores de vulnerabilidad utilizando combinaciones lineales de los factores como se ha descrito. El proceso se llevó a cabo utilizando una hoja electrónica en el programa de computadora Excel de Microsoft. Como resultado se obtiene un valor numérico para cada tipo de vulnerabilidad y para cada factor generador asociado a cada poblado.

Como una estrategia para comparar poblados de pequeña y gran cantidad de hogares se ha normalizado la vulnerabilidad obtenida mediante su división entre el número de hogares reportados en la comunidad. Esto permite reducir el espectro de valores posibles de vulnerabilidades, dado que se debe reconocer que la vulnerabilidad total de una comunidad está asociada al número de hogares y su población respectiva. Esta normalización permite identificar la proporción de hogares que son vulnerables en una comunidad y por lo tanto brinda la oportunidad para comparar las vulnerabilidades relativas de una comunidad con respecto a otra para la identificación posterior de riesgos.

3.4 Integración de indicadores de vulnerabilidades

Dado que el propósito de este estudio preliminar es la presentación de mapas y estimaciones de riesgo, se hace necesario integrar los dos indicadores de vulnerabilidades para conformar un indicador que represente la vulnerabilidad combinada. Para lograr este objetivo se integraron los indicadores de vulnerabilidades con base en un procedimiento inicial de normalización de las distintas vulnerabilidades y posteriormente una combinación lineal de las mismas en base a coeficientes de ponderación.

La normalización se hace necesaria para dimensionar proporcionalmente cada una de las vulnerabilidades con respecto a la otra, mientras que la combinación lineal con base en coeficientes de ponderación permite su integración sistemática.

Matemáticamente, la combinación lineal de los indicadores de vulnerabilidades se representa de la siguiente manera:

$$V_{total} = C_1 V_{estructural} + C_2 V_{poblacional}$$

Donde C_1 y C_2 son los coeficientes de ponderación para cada vulnerabilidad normalizada y para cada factor generador también normalizado. La selección de la magnitud de dichos coeficientes se llevó a cabo mediante talleres participativos con expertos de diversas instituciones, quienes tuvieron a su cargo la discusión y propuesta de dichos factores. En todos los casos se escogieron los factores numéricos 7 para el indicador de vulnerabilidad estructural y 3 para el indicador de vulnerabilidad poblacional demográfica.

Usando esta tabla se representan los indicadores de vulnerabilidad total de la siguiente manera:

$$V_{total\ sismos} = 7 V_{física-estructural- sismos} + 3 V_{poblacional - sismos}$$

$$V_{total\ inundaciones} = 7 V_{física-estructural - inundaciones} + 3 V_{poblacional - inundaciones}$$

$$V_{total\ erupciones} = 7 V_{física-estructural- erupciones} + 3 V_{poblacional - erupciones}$$

$$V_{total\ deslizamientos} = 7 V_{física-estructural- deslizamientos} + 3 V_{poblacional - deslizamientos}$$

De manera similar se han establecido coeficientes para agrupar los factores generadores de riesgo. En este caso particular los pesos son iguales para los factores socioeconómicos, para la brecha de pobreza y para los factores institucionales.

3.5 Integración de susceptibilidades e indicadores de vulnerabilidades para la deducción de indicadores de riesgos

Para estimar los riesgos presentes en los cuatro departamentos del país se procedió a integrar las susceptibilidades y los indicadores de vulnerabilidad. La integración de estos elementos se analizó en un taller participativo con especialistas, quienes brindaron sus aportes para llevar a cabo esta actividad.

Este asunto es de particular importancia cuando se reconoce que algunos fenómenos tienen una capacidad destructiva tal, que es difícil hablar de estructuras o actividades no vulnerables. Por ejemplo, los deslizamientos masivos pueden ser de tal magnitud que arrasan literalmente con viviendas y con las personas que se encuentren dentro, como ha sido demostrado en eventos recientes en Guatemala (El Porvenir, 2002; Santa Tecla, El Salvador, 2001; Volcán Casita, 1998 y Nevado del Ruiz, Colombia, 1985.) En todos estos casos, la destrucción de viviendas de cualquier tipo fue total, manifestándose un enorme número de fatalidades. En contraste, las inundaciones típicas de la costa sur son lentas y no repercuten de manera crítica en las estructuras ni en la población. Reconociendo el poder destructivo de algunos de estos fenómenos, se procedió a discutir este tema en el taller.

Reconocimiento preliminar de riesgos asociados a varias amenazas en poblados de Guatemala