

Figura 5.3. Mapa de pendientes de la zona estudiada (CORDILLERA S.A. 2006).

5.4 Aspecto

El aspecto es también denominado orientación de taludes o laderas. En la actualidad existe mucha discusión en cuanto a considerar la relación aspecto de taludes/movimientos de ladera como factor condicionante de movimientos en masa. La dirección principal de los terrenos montañosos a nivel regional en el área, presentan una configuración casi circular, de acuerdo a límite de la caldera volcánica del Lago de Atitlán (caldera III). Sin embargo, para el área se realizó un mapa que muestra el aspecto de los taludes, el cual fue generado a partir del modelo de elevación digital (Figura 5.4).

De este mapa se deriva que las laderas orientadas hacia el noreste y suroeste, son las que controlan la distribución de los flujos de escombros y de la caídas de bloques, a pesar que el patrón preferencial es dominado por áreas planas y las orientadas hacia el Noroeste. El desarrollo de laderas con esta orientación preferencial, se asocia directamente al control litológico y estructural, principalmente del volcán Tolimán.

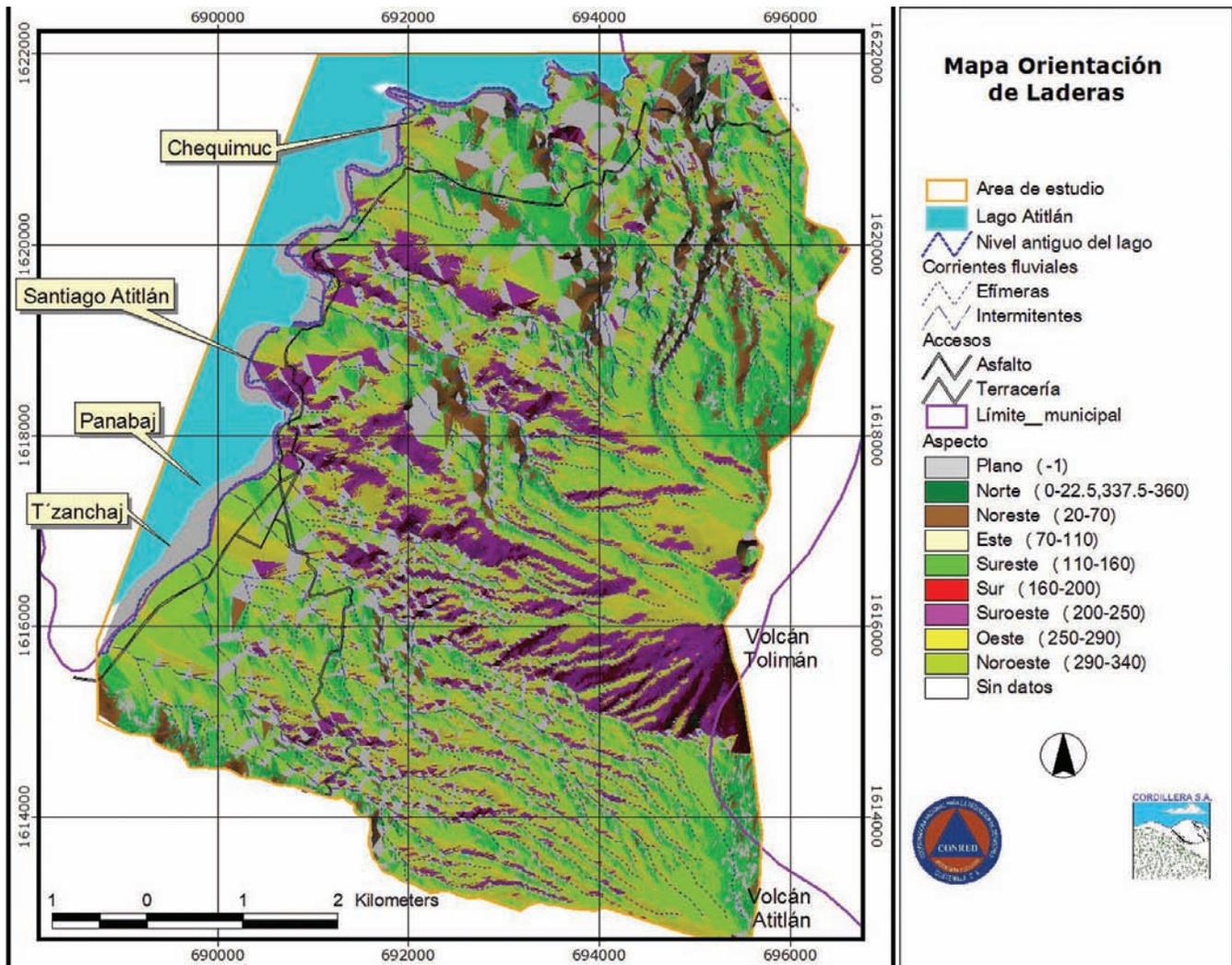


Figura 5.4 Mapa que muestra el aspecto de los taludes de la región (CORDILLERA S.A.)

5.6. Geología de Santiago Atitlán

5.6.1. Geología regional

La cuenca del Lago de Atitlán ha sido objeto de varios estudios geológicos los cuales han culminado con la generación de un excelente mapa geológico regional de toda la cuenca del lago. El mapa geológico se ha modificado ligeramente con el trabajo realizado por el personal de CORDILLERA y se muestra en la Figura 5.5.

La geología regional puede resumirse de la siguiente manera. El Lago de Atitlán se localiza en el altiplano volcánico del oeste de Guatemala, ocupando un área de 130 km², y emplazado en una serie de calderas de colapso. Tres estratovolcanes andesíticos jóvenes (Atitlán, Tolimán y San Pedro) se han formado en el sur de las calderas, al oriente-suroriental de Santiago Atitlán.

⁵ Penfield, G., Rose, W., and Halsor, P., 1986, Geologic map of the Lake Atitlán Volcanoes, Geological Society of America, Map and Chart Series, MC-55.

⁶ Newhall, C., 1987, Geology of the Lake Atitlán Region, Western Guatemala: Journal of Volcanology and Geothermal Research, V. 33, p 23-55

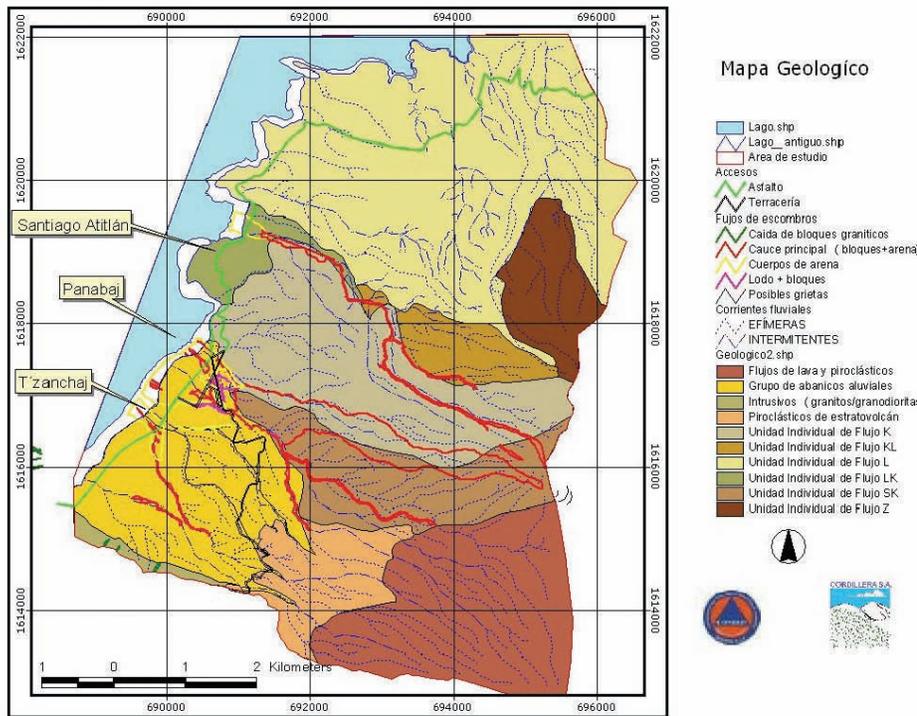


Figura 5.5 Mapa Geológico de la zona de estudio (modificado de Penfield y otros 1986)

Se han documentado tres ciclos de crecimiento de estratovolcanes, principalmente erupciones silícicas. El primer ciclo (14-11 Ma) culminó con erupciones de flujos de cenizas denominadas María Tecun y formación de la gran caldera Atitlán I, ubicada al norte de la actual cuenca del lago. El segundo ciclo (10-8 Ma) culminó con la erupción de flujos de ceniza conocida como San Jorge, y un evento de colapso para formar la caldera Atitlán II y una etapa tardía de inyecciones de diques anulares. El tercer ciclo (c.a. 1 Ma) incluye el crecimiento de estratovolcanes del Cuaternario Temprano, voluminosas erupciones de Los Chocoyos (H), y cantidades menos voluminosas de erupciones silícicas, dando por resultado la formación de la actual caldera Atitlán III y crecimiento de modernos estratovolcanes situados al suroriente de Santiago Atitlán.

La Geología Cuaternaria de la zona se ha estudiado en particular detalle⁷ en base a los sedimentos del lago y mediciones de flujo de calor obteniendo los siguientes resultados. La caldera Atitlán III, donde está alojado el lago, se formó hace 84,000 años y está parcialmente rellena con sedimentos. Los perfiles de reflexión sísmica de los sedimentos del lago registran periodos de sedimentación muy activa en periodos que datan desde hace por lo menos 17,500 – 35,000 años. La caldera donde actualmente se localiza el lago tiene más de 3,000 m de profundidad y un piso relativamente plano. Los flujos de calor que se han medido son elevados y el registro geológico de erupciones post-caldera y las inexplicables fluctuaciones del nivel del lago, sugieren restos de magma debajo del lago, y que futuras erupciones son posibles.

Los perfiles de reflexión sísmica realizados permitieron construir el mapa batimétrico del lago. Algunas irregularidades topográficas en el fondo del lago compuestas por sedimentos con espesores de 10 a 15 m pueden corresponder a un gran deslizamiento ocurrido hace unos 1,000 años, cuyo escarpe se sitúa entre San Marcos La Laguna y Tzununá. Los núcleos provenientes de las perforaciones realizadas en los sedimentos lacustres, además de revelar los daños ambientales relacionados con la deforestación que históricamente han ocasionado los Mayas, registran cerca de 2,000 años de inusual rápida sedimentación (cerca de 0.5 cm/año). Estos datos constituyen evidencia de intensos procesos de pérdida de suelo en las microcuenas ocasionando la generación de flujos de detritos y formación de abanicos aluviales no solo en el sur de Santiago Atitlán sino en las cuencas de los Ríos Quiscab y Panajachel. La evidencia geológica disponible indica que los flujos de detritos han sido un proceso recurrente que ha afectado a la zona por lo menos durante los últimos 35,000 años.

⁷ Newhall, C., Braddbury, P., Higuera, J., Poppe, A., Self, S., Sharpless, N., and Ziagos, J., 1987. Recent Geologic History of Lake Atitlán, A Caldera Lake in Western Guatemala. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, V. 33, p. 81-107.

5.6.2. Geología local

El trabajo de campo realizado en Santiago Atitlán permitió reconocer las siguientes unidades litológicas de las cuales se realiza una descripción breve.

a. Rocas intrusitas

Esta unidad aflora en la porción suroeste de la zona estudiada, es un cuerpo alargado que cubre un área de 400 m², está conformada por granitos y granodioritas, constituyendo prominentes escarpes de 200 m de altura, al borde del lago. Las rocas pertenecientes a esta unidad tienen una gran consistencia por lo que no constituye ninguna amenaza para generación de flujos de escombros, sin embargo, lo referente a la generación de caída de bloques es lo contrario, debido a que son más resistentes a disgregarse se deslizan en bloques de grandes tamaños. En las proximidades de la pista de aterrizaje, es posible observar que los bloques caídos tienen hasta 4 metros de diámetro, representando una amenaza para las escasas viviendas de esa zona y para futuras construcciones.

b. Unidades individuales de coladas de lava

La geoquímica de las coladas de lava ha sido examinada en sumo detalle en cuanto a su composición de elementos mayores y elementos traza con objeto de evaluar la petrogénesis volcánica⁸. Un total de seis flujos individuales emitidos por el volcán Tolimán y Atitlán desde hace aproximadamente 85,000 años han sido diferenciados de acuerdo a su edad y composición geoquímica. Tal y como se muestra en el mapa geológico cada flujo de lava está representado con una letra (K, KL, L, LK, SK, Z) la cual representa un segmento particular del cono y una edad relativa que va desde 0 (la más antigua) hasta 5 (la más reciente). No se han realizado dataciones geocronológicas por lo que no se tienen edades absolutas de los flujos de lava.

La mayoría de estas coladas de lava se extienden desde la parte central hacia el norte del área estudiada y conforman un área de 4 km²; gran parte de ellos constituyen zonas planas que están asociadas al Volcán Tolimán. A pesar de las variaciones geoquímicas y geocronológicas reportadas para las coladas, casi todas han sido bastante estables en cuanto a la generación de deslizamientos y/o flujos de detritos por lo que representan zonas de baja amenaza geológica por este tipo de fenómenos en la zona norte.

Puede observarse que en la parte alta de las microcuencas El Cementerio, Panabaj Norte y Panabaj Sur predominan los flujos K y KL donde se han manifestado algunos movimientos de ladera los cuales, tal y como se menciona más abajo, con influencia más de un control estructural que de tipo litológico.

c. Piroclásticos de estrato volcán

Esta unidad aflora al sur del área, en la ladera occidental del Volcán Atitlán. Se trata de materiales sueltos depositados por gravedad, compuestos principalmente por ceniza volcánica, lapilli y bloques volcánicos, mayormente de composición andesítica. Regularmente se encuentran dispuestos en forma de capas de diferente granulometría, constituyendo cientos de metros de espesor. Por su naturaleza de baja cohesividad los piroclásticos constituyen una de las fuentes principales de flujos de detritos para el sur de Santiago Atitlán ejerciendo un fuerte control litológico en la distribución espacial de esta amenaza. En la figura 4.3 puede notarse que esta unidad ocupa la parte media de las microcuencas Panabaj Sur, Tzanchaj, y La Providencia sectores donde se han registrado flujos de detritos significativos.

d. Flujos de lava y piroclásticos

Esta unidad aflora en el cono y las laderas superiores del Volcán Atitlán, constituida por una asociación de lavas andesíticas (regularmente en forma de bloques) y piroclásticos tipo lapilli. Las lavas andesíticas tienen mayor consistencia, generando bloques de diámetros de varios metros cuando se meteorizan. Por otro lado, los piroclásticos tienen poca consistencia y generalmente se encuentran disgregados, siendo susceptibles a la erosión y a la generación de flujos de escombros. Aunque en menor proporción a los piroclásticos descritos con anterioridad, esta unidad litológica también juega un papel moderado en la generación de flujos de detritos.

e. Grupo de abanicos aluviales

Los abanicos aluviales son depósitos producidos por la erosión y posterior sedimentación de los piroclásticos que afloran en la parte media y alta de las microcuencas Panabaj Sur, Tzanchaj, y La Providencia. Por lo menos tres cuerpos sedimentarios fueron delimitados en el sur de Santiago Atitlán estando constituidos por una mezcla caótica de arena, grava y bloques de dimensiones de hasta varios

⁸Rose, W., Drexler, J., Penfield, G., and Larson, P., 1980, Geochemistry of flank lavas of the three composite cones within the Atitlán Cauldron, Guatemala: Bulletin of Volcanology, v. 43, p. 131-154.

metros. Los abanicos aluviales son fácilmente apreciables desde la parte alta del Mirador del Rey Tepepul (camino a Xicacao) denotando una topografía aplanada con bloques métricos esparcidos (Figura 5.6a).

También existe evidencia de paleocanales fluviales que atraviesan abanicos aluviales antiguos (Figura 5.6b), lo cual demuestra la recurrencia de los eventos, lo cual es consistente con los datos provenientes de la sedimentología de los depósitos lacustres. Los flujos de detritos que ocurrieron el 5 de octubre del 2005 y ocasionaron el desastre en Panabaj constituyen únicamente la expresión más reciente de procesos sedimentarios que se han manifestado en la zona durante los últimos 35,000 años. Históricamente el volcán Tolimán ha tenido actividad de flujos de escombros generados principalmente por lluvias intensas que movilizaron grandes bloques de rocas volcánicas desde la zona alta del cono volcánico que tiene pendientes hasta de 52 grados.



Figura 5.6. (a) La foto superior muestra el aspecto superficial de los depósitos de abanicos aluviales antiguos. (b) La foto inferior ilustra un paleocanal fluvial que atraviesa depósitos más antiguos típicos de abanicos aluviales.



Los ancianos entrevistados durante el reconocimiento geológico de campo (Ana Mendoza Pospoi - 72 años, Salvador Damián -62 años, Antonio Coché -60 años), dan cuenta de la ocurrencia de flujos de escombros hace 50 años, pero que por la falta de elementos de exposición pasaron desapercibidos o considerados únicamente como eventos geológicos.

El mapeo de los flujos de detritos que ocurrieron el 05 de Octubre del 2005 en Panabaj-Tzanchaj (Figura 5.7) se realizó mediante recorridos de la zona afectada y apoyándose en una fotografía de alta resolución proporcionada por el MAGA. El mapeo permitió establecer el canal de alimentación dentro del abanico activo, la zona proximal, media y distal. La aplicación de técnicas sedimentológicas y estratigráficas tales como reconocimiento de estratificación, texturas sedimentarias, estructuras sedimentarias, disposición de sedimentos, entre otras, permitieron reconocer las distintas facies de los depósitos, siendo ellas: flujo de escombros (debris flow), flujos hiperconcentrados y depósitos de flujos de corrientes. De forma resumida se presentan dichas características en el Cuadro 5.1.

En Panabaj-Tzanchaj, los flujos mapeados como cauce principal (bloques+arena) corresponden a flujos de corrientes (FC), en donde son típicas la estratificación oblicua y la granoclasificación, este tipo de material estuvo asociado directamente a los canales de inundación. Por otro lado, los flujos hiperconcentrados (HC) fueron mapeados como cuerpos de arena, que están constituidos por lodo, arena y gravas, principalmente, sin embargo, también contienen algunos bloques. Finalmente, los flujos de escombros propiamente dichos (DF) fueron mapeados y representados como lodo+bloques, con diámetro de clastos hasta de 2.5 metros. Este tipo de material es el más perjudicial, pues sólo con el impacto de sus bloques, es capaz de destruir las viviendas (Figura 5.8).

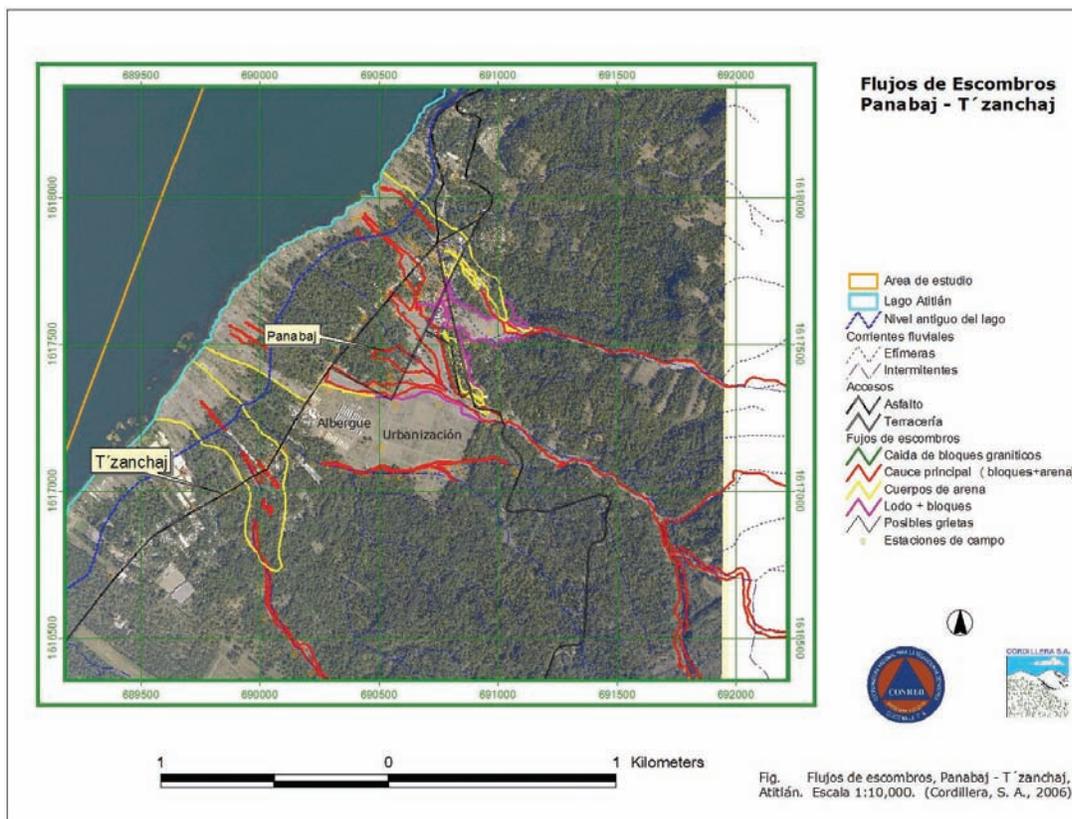


Figura 5.7. Mapa que muestra la distribución areal de los flujos de detritos en Panabaj-Tzanchaj.



Figura 5.8. Fotografías que muestran las variaciones texturales de los sedimentos que integran los distintos flujos de detritos encontrados en Panabaj.

CUADRO 5.1. TIPOS DE FLUJOS DE DETRITOS DIFERENCIADOS EN LA ZONA DE PANABAJ-TZANHAJ

Tipo de flujo	Estructuras sedimentarias	Características de los sedimentos
De corrientes (FC)	Estratificación planar, oblicua a masiva; débil a fuerte imbricación de clastos; estructuras de corte y relleno; presencia o ausencia de granoclasificación.	Buena a moderada clasificación; clasto soportados.
Hiperconcentrados (HC)	Estratificación débil a masiva; imbricación débil; lentes de grava delgadas; granoclasificación normal e inversa.	Pobre a moderada clasificación; clasto soportados.
De escombros (<i>debris flow</i>) (DF)	Sin estratificación; débil imbricación o inexistente; granoclasificación inversa y normal.	Muy pobre a extremadamente pobre clasificación; matriz soportados; diámetro extremo de partículas; posibilidad de megaclastos.

Fuente: Cordillera 2006

El mapeo detallado en Panabaj-Tzanchaj y Pachichaj-Chuul-Panul, permitió elaborar un mapa de isopacas o distribución areal de los espesores de la carga sedimentaria de los flujos de escombros (Figura 5.9). El mapa de isopacas para Panabaj muestra los mayores espesores de detritos (hasta 3 metros), ubicados al pie de las laderas, en donde se localizan aproximadamente 100 viviendas que quedaron completamente sepultadas, pereciendo la mayoría de sus habitantes. Por las condiciones topográficas del sitio (áreas aplanadas y de poca pendiente) la descarga sedimentaria proveniente de las microcuencas Panabaj Norte y Panabaj Sur se distribuye en toda la comunidad de Panabaj al estar emplazada dicha comunidad en la confluencia de ambos sistemas hidrográficos.

La estimación de espesores se realizó en base a observaciones visuales de las estructuras que fueron afectadas tal como cortes de carretera, cercos, campo de fútbol, altura promedio de casas de adobe, y malla metálica que rodea las construcciones más modernas de Panabaj.

En los cantones Pachichaj-Chuul-Panul que se localizan inmediatamente al norte de la cabecera municipal de Santiago (Figura 5.10) dadas las características en encajonamiento que presenta el cauce de la quebrada, el tipo de flujo que afectó la zona corresponde a *debris flow* (DF) en la zona proximal del abanico, mientras que en la zona distal se mapearon cuerpos de arena correspondientes a flujos hiperconcentrados (HC). De igual manera, los bloques métricos, destruyeron viviendas y ocasionaron la muerte de tres personas.

En Pachichaj-Chuul-Panul, a pesar de que los espesores también llegan hasta 2.7 metros, su distribución se ve restringida al abanico proximal, en la desembocadura de la quebrada, limitando los daños ocasionados a una pocas vivienda y causando únicamente tres muertes.

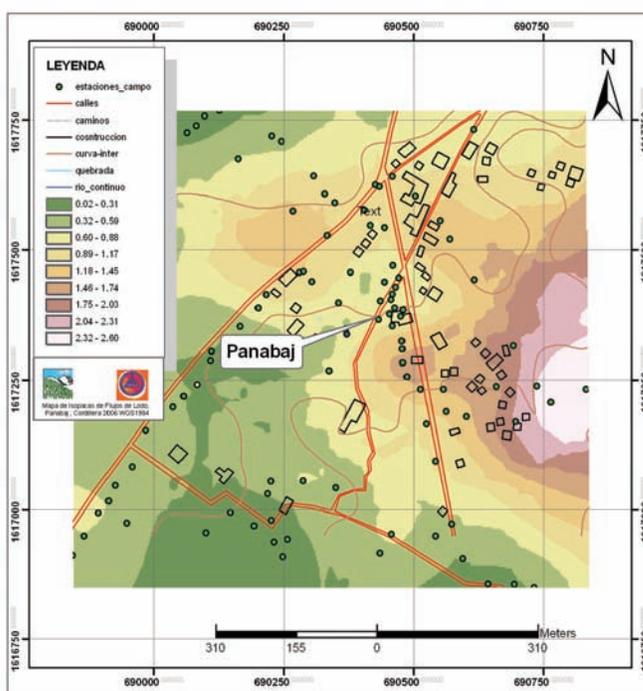


Figura 5.9. Mapa de isopacas con los espesores de la carga sedimentaria en Panabaj

Los espesores relativos de cada flujo se midieron en distintos puntos del mismo, y conociendo su distribución areal, se ha calculado un volumen aproximado de 1,000,000 de metros cúbicos de material depositado.

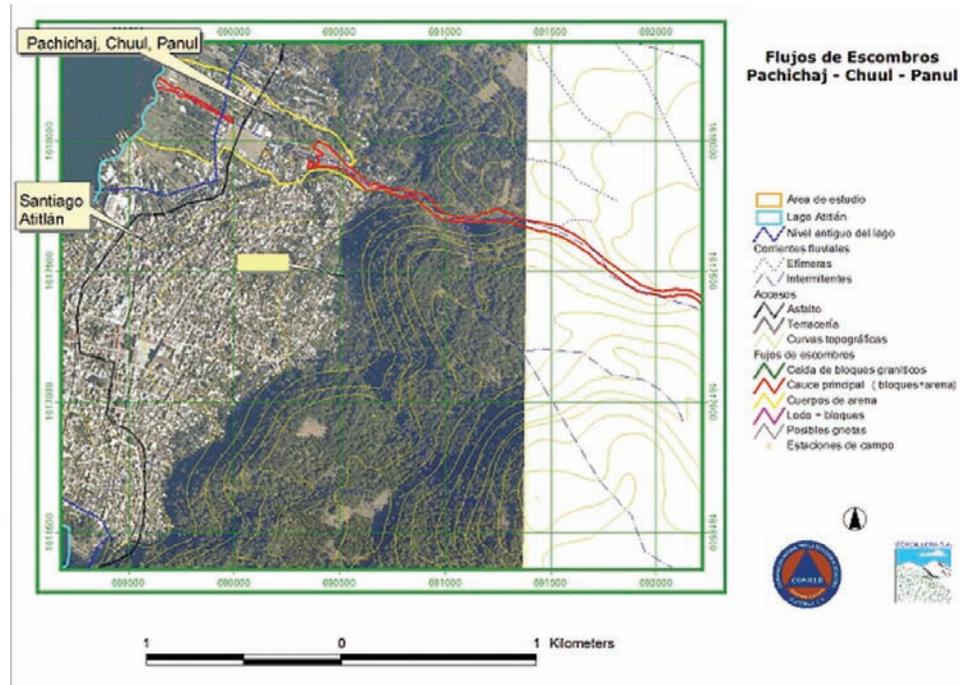


Figura 5.10. Mapa que muestra la cabecera municipal de Santiago Atitlán y la distribución espacial del flujo de detritos que afectó a los cantones Pachichaj-Chuul-Panul.

Las muestras de sedimentos recolectadas en Panabaj, fueron tamizadas para el establecimiento de la curva granulométrica (Figura 5.11). Es de hacer notar que las muestras analizadas únicamente corresponden a la matriz sedimentaria, sin tomar en cuenta los megaclastos, que en algunas ocasiones presentan diámetros de 2.5 metros. Así, se puede apreciar que la matriz está compuesta básicamente por arenas y gravas. A partir de los coeficientes de uniformidad (Cu) y de curvatura (Cc), estos sedimentos pueden ser clasificados como:

GP: gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos;
 SP: arenas mal graduadas, arenas con gravas, con poco o nada de finos.

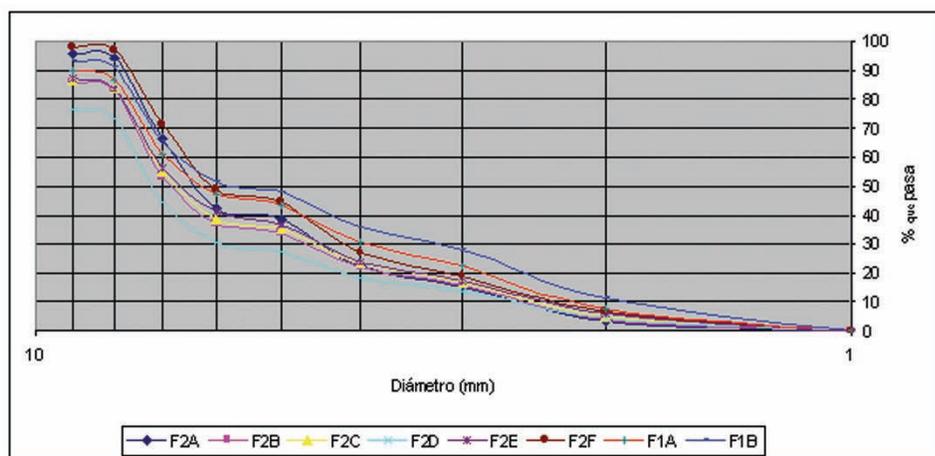


Figura 5.11. Curva granulométrica para sedimentos del flujo de Panabaj

5.6.3. Geología estructural

Para el análisis estructural se realizó un mapa de lineamientos en base a las fotografías aéreas a escala 1:40,000 publicadas por el IGN. El mapa generado se muestra en la Figura 5.12. Estructuralmente la zona muestra un patrón de lineamientos orientados preferencialmente hacia Noroeste y Norte-Sur. Los primeros tienen mayor persistencia en la zona y frecuentemente coinciden con la delimitación de los flujos de lava del volcán Tolimán lo que sugiere que potencialmente han jugado un papel de estructuras conductoras de flujos de lava. Específicamente uno de ellos se localiza en Panabaj y crea un alto estructural constituido por lavas andesíticas y delimita la formación del abanico aluvial de Panabaj. Otro lineamiento significativo se localiza al Sureste de la zona, el cual constituye el escarpe más prominente de la región, que a su vez limita la formación de abanicos aluviales y propicia la caída de bloques.

Se considera probable que la intersección de los dos principales sistemas de lineamientos en algunos sectores del área han debilitado notablemente el macizo rocoso y ocasionado la generación de deslizamientos. De modo que la generación de flujos de detritos en el área parece tener un control principal de tipo litológico aunque la formación de zonas de brechas tectónicas por intersección de fallas juega un papel relevante a nivel local para algunos flujos.

5.7. Uso del suelo

Se evaluaron los diferentes usos de la tierra utilizando para ello las fotografías aéreas de Santiago Atitlán a escala 1:40,000 publicadas por el IGN para el año 2003 y se discriminaron los diferentes usos de la tierra en base a la terminología de la Unión Geográfica Internacional la cual ha sido adoptada por el MAGA para su uso en Guatemala. La distribución espacial de los diferentes usos de la tierra establecidos se muestra en la Figura 5.13.

El Cuadro 5.2 muestra el uso del suelo determinado en la zona de estudio, mientras que la Figura 5.15 presenta estos datos de manera gráfica. En base a la información disponible puede apreciarse que el uso del suelo, según la rama de actividad, esta mayoritariamente dedicada a siembra de café (40%) en las partes altas, bosque (38 %) y agricultura anual maíz (12%); distribuyéndose, el 10% en residencial, pasto natural, campo deportivo, matorrales, arbustos, agricultura perenne, etc.

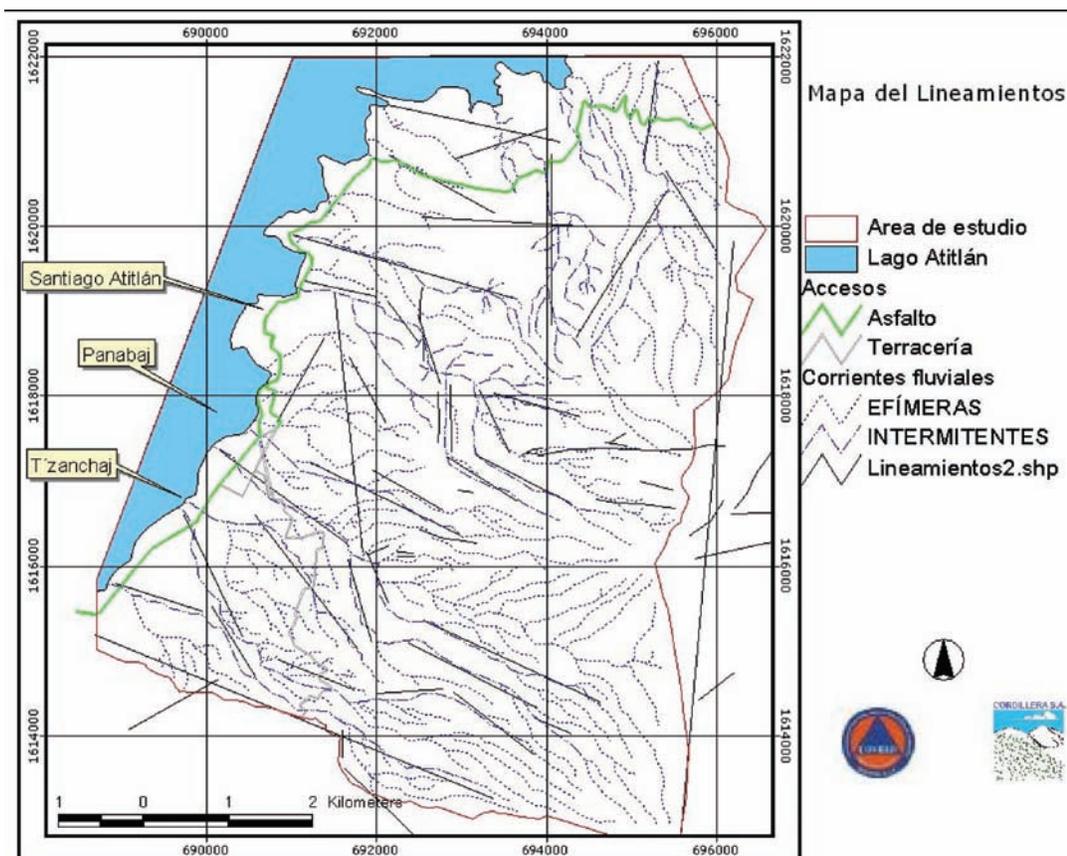


Figura 5.12. Mapa de lineamientos para el municipio de Santiago Atitlán

Es bien conocido que el uso de la tierra y la cobertura vegetal juegan un papel importante en la estabilidad de los taludes, aunque varios investigadores no están plenamente de acuerdo en referencia al tema de la cobertura vegetal. Al correlacionar los resultados del uso del suelo con la ocurrencia de los flujos de detritos puede inferirse que la actividad humana no parece ser un factor condicionante significativo para la ocurrencia de este tipo de fenómenos y que la influencia de la vegetación no parece jugar un rol fundamental en la estabilidad de los taludes en la región. El grado de disgregación de las rocas aunado a la pendiente del terreno contribuye significativamente a la generación de flujos de escombros, en este caso en particular la cobertura vegetal no ofrece un aporte significativo en la prevención de los eventos.

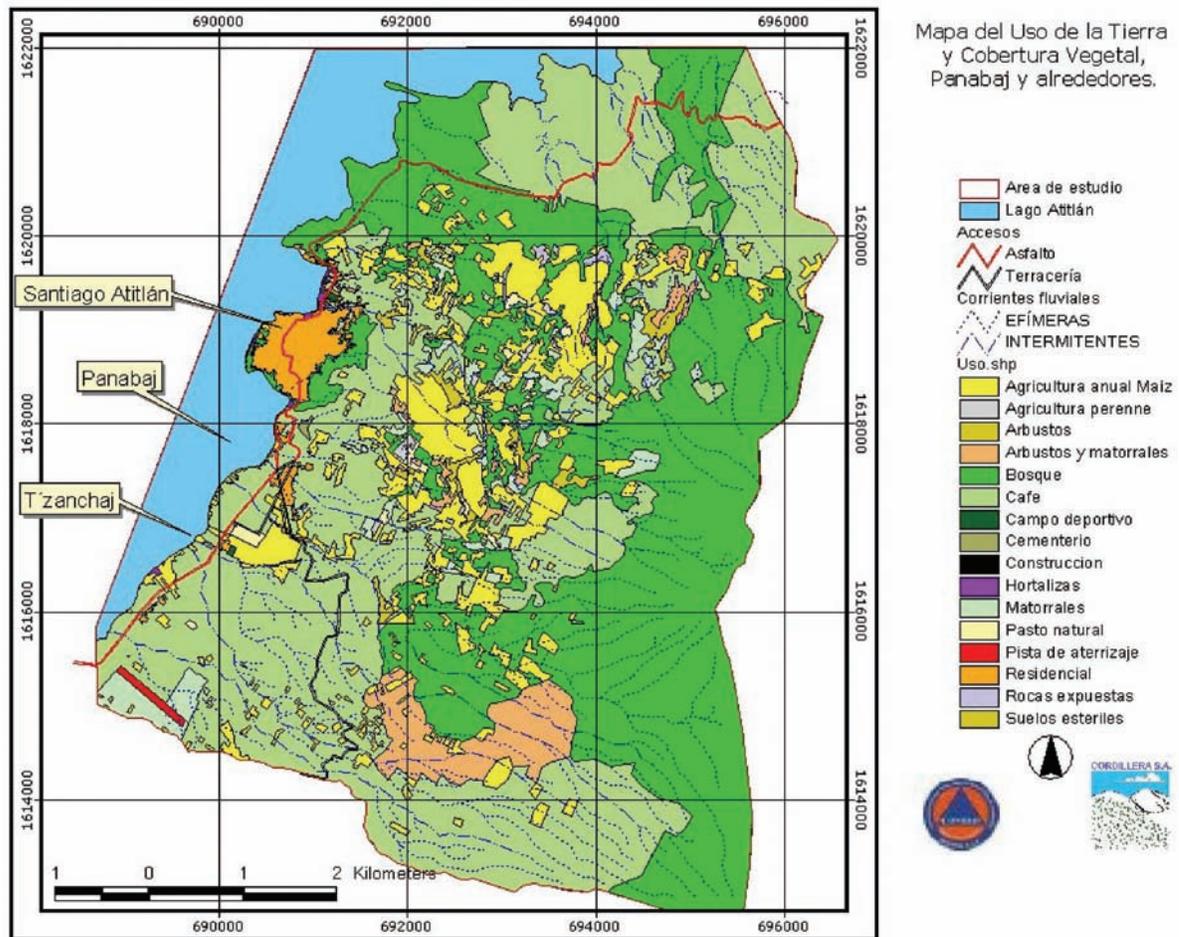


Figura 5.13. Mapa del uso de la tierra y cobertura vegetal para el municipio de Santiago Atitlán

Tipo de uso	Hectáreas	%
Agricultura anual		
Maiz	571.702	12.11
Agricultura perenne	11.864	0.25
Arbustos	51.22	1.085
Arbustos y matorrales	177.209	3.75
Bosque	1,780.41	37.72
Café	1,865.97	39.53
Campo deportivo	1.27	0.027
Hortalizas	30.75	0.65
Matorrales	110.94	2.35
Pasto natural	21.88	0.464
Residencial	86.91	1.84
Rocas expuestas	5.62	0.12
Suelos estériles	4,365	0.09
Total	4,720.11	100.00

CUADRO 5.2. DISTRIBUCIÓN AREAL DE USOS DEL SUELO.

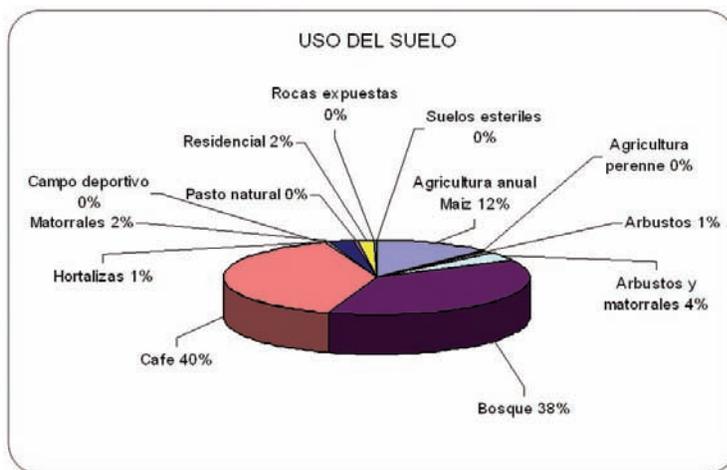


Figura 5.14. Distribución de los usos de suelo en el área. Cordillera, S.A. 2006.

5.8. Integración de los factores condicionantes y desen-cadenantes para la zonificación de la amenaza por deslizamientos y flujos de detritos en Santiago Atitlán.

La generación de los mapas de amenaza incluye secuencialmente:

- 1) evaluación de cinco factores condicionantes integrados como mapas temáticos (elevación, pendiente, aspecto, geología y uso del suelo-cobertura vegetal);
- 2) ponderación individual de cada mapa temático;
- 3) multiplicación entre mapas temáticos ponderados (mapa de susceptibilidad);
- 4) multiplicación entre susceptibilidad y factor desen-cadenante proveniente del análisis hidrometeorológico, particularmente el mapa de isoyetas, incluido en la sección respectiva, generando el mapa de amenaza.

CUADRO 5.3. MATRIZ UTILIZADA PARA EL CÁLCULO DE LA AMENAZA POR FLUJO DE DETRITOS

Factores condicionantes	Variables	Susceptibilidad					
		Muy alta (5)	Alta (4)	Media (3)	Baja (2)	Muy baja (1)	
Factores condicionantes	Elevación topográfica (m.s.n.m.)	2,360 - 3,537	1,960 - 2,360	1,760 - 1,960	1,640 - 1,760	1,560 - 1,640	
	Pendientes (grados)	0 - 15	15 - 30	30 - 50	50 - 70	70 - 87	
	Aspecto (grados)	200-250	110-160	160-200	250-337	337-110	
	Geología	Piroclásticos de estratovolcán	Grupo de abanicos aluviales	Flujos de lava y piroclásticos	Intrusivos (granito/granodionta)	Unidad individual de Flujo L Unidad individual de Flujo Z Unidad individual de Flujo KL Unidad individual de Flujo LK Unidad individual de Flujo K Unidad individual de Flujo SK	
	Uso del suelo y cobertura vegetal	Agricultura de maíz, pista de aterrizaje, suelos estériles, pasto natural, hortalizas, campo deportivo, agricultura perenne	Rocas expuestas, construcción, cementerio	Residencial, matorrales	Arbustos matorrales y	Café, bosque	
	Factor desencadenante	Lluvia (mm)	2,433 - 2,600	2,100 - 2,433	1,767 - 2,100	1,433 - 1,767	1,100 - 1,433
	Análisis de vulnerabilidad	Variables: socioeconómicas, infraestructura, carac. De inundación, alerta y respuesta.		Panabaj T zanchaj	Pachichaj (Chuul, Panul)	Santiago Atitlán	
Análisis de riesgo	Cruce de mapa amenaza - mapa de vulnerabilidad.	Panabaj T zanchaj	Pachichaj (Chuul, Panul)	Sur de Pachichaj (Chuul, Panul)	Sur de Santiago Atitlán	Santiago Atitlán	

El Cuadro 5.3 y el Cuadro 5.4 resumen las evaluaciones y ponderaciones realizadas haciendo uso del sistema de información geográfica (ArcGis®) para la integración de los factores condicionantes de amenaza por flujo de detritos y deslizamientos, respectivamente.

CUADRO 5.4. MATRIZ UTILIZADA PARA EL CÁLCULO DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS DE LADERA.

	Variables	Susceptibilidad				
		Muy alta (5)	Alta (4)	Media (3)	Baja (2)	Muy baja (1)
Factores condicionantes	Elevación topográfica (m.s.n.m.)	3,100 - 3,537	2,660 – 3,100	2,220 – 2,660	1,780 – 2,220	1,560 – 1,780
	Pendientes (grados)	70 - 87	50 – 70	30 - 50	15 - 30	0 – 15
	Aspecto (grados)	200-250	110-160	160-200	250-337	337-110
	Geología	Piroclásticos de estratovolcán	Flujos de lava y piroclásticos	Grupo de abanicos aluviales	Intrusivos (granito/granodiorita)	Unidad individual de Flujo L Unidad individual de Flujo Z Unidad individual de Flujo KL Unidad individual de Flujo LK Unidad individual de Flujo K Unidad individual de Flujo SK
	Uso del suelo y cobertura vegetal	Agricultura de maíz, pista de aterrizaje, suelos estériles, pasto natural, hortalizas, campo deportivo, agricultura perenne	Rocas expuestas, construcción, cementerio	Residencial, matorrales	Arbustos matorrales y	Café, bosque
Factor desencadenante	Lluvia (mm)	2,433 - 2,600	2,100 – 2,433	1,767 - 2,100	1,433 - 1,767	1,100 - 1,433
Análisis de vulnerabilidad	Variables: socioeconómicas, infraestructura, carac. De inundación, alerta y respuesta.		Panabaj T' zanchaj	Pachichaj (Chuul, Panul)	Santiago Atitlán	

5.5.1 Amenaza por Movimientos de Ladera

El mapa de amenaza por movimientos de ladera incluye otros tipos de movimientos de ladera (excluyendo los flujos de lodo) tales como: caída de bloques, deslizamientos, separaciones laterales y basculamientos.

Los movimientos en masa son procesos de la geodinámica externa, los cuales modifican las diferentes formas del terreno. Los deslizamientos, como todos los movimientos en masa, involucran el movimiento, pendiente abajo, de los materiales que componen la ladera bajo la influencia de la gravedad y pueden ser disparados por lluvias, sismos y actividad humana. Las caídas son masas desprendidas de pendientes muy fuertes o escarpes, que se mueven en caída libre, dando tumbos (saltos) o ruedan ladera abajo. Los basculamientos incluyen rotación de uno o más elementos alrededor de un punto pivote. Las separaciones laterales involucran un movimiento de extensión lateral acompañado por fracturamiento cortante o tensional. Los deslizamientos desplazan masas a lo largo de uno o más planos discretos. Pueden ser rotacionales o traslacionales en su movimiento. El movimiento rotacional se da donde la superficie de ruptura es curva, la masa rota hacia atrás alrededor de un eje paralelo a la ladera.⁹

En la zona estudiada se observaron caídas de rocas, deslizamientos traslacionales y rotacionales; todos asociados a los escarpes muy inclinados que conforman el límite de la caldera del Lago de Atitlán. Específicamente, las caídas de rocas están asociadas a rocas intrusivas, son de alta energía y son capaces de movilizar grandes cantidades de rocas en fracción de segundos y con bloques de varios metros de diámetro (Figura 5.16). Estos bloques son comunes en la microcuenca El Mirador, en las proximidades de la Lotificación Bahía de Santiago.

⁹ Mora R. Apuntes para el curso gestión del riesgo. Capítulo 1 en línea geobuzon.fcs.ucr.ac.cr/rmora-deslizamiento.pdf 9/06/2006



Figura 5.16. Megabloques localizados en la microcuenca El Mirador producto de caída de bloques.

Los movimientos de ladera se zonificaron en 5 niveles (Figura 5.17): muy baja (verde oscuro), baja (beige), media (amarillo), alta (anaranjado) y muy alta (rojo). De manera general, las zonas con más alta amenaza se sitúan en las partes altas asociadas a las laderas del volcán Tolimán y la amenaza disminuye en dirección Oeste hasta las partes más bajas en donde es muy baja.

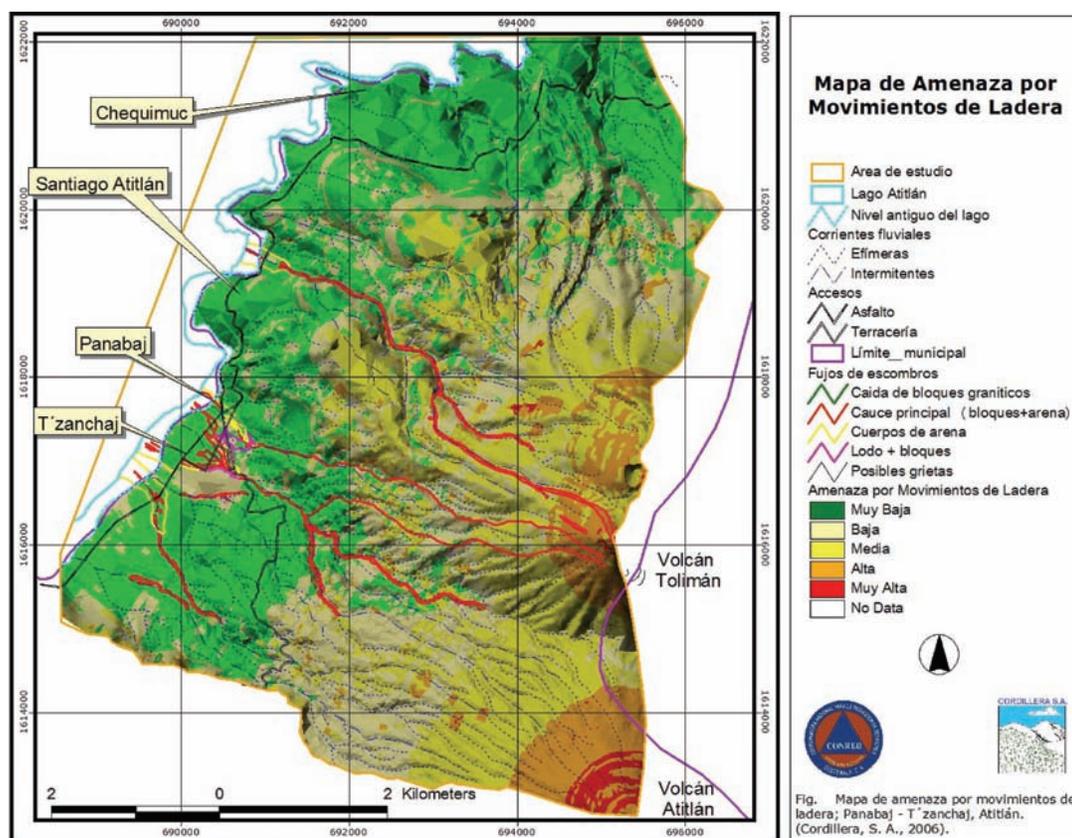


Figura 5.17. Mapa que muestra la zonificación de amenaza por deslizamientos. Cordillera, S.A. 2006.

Directamente Panabaj, Tzanchaj y Santiago Atitlán se ubican en un área delimitada como de muy baja amenaza, viendo el escenario asiladamente, pero si unimos ambos factores, flujos de lodo y movimientos de ladera, nos encontramos con que toda el área esta sujeta a muy alta, alta y media amenaza; los movimientos de ladera en las partes altas desprenden porciones grandes de terreno las cuales bajan y son transportadas por los flujos que los atraviesan aumentando el grado de peligrosidad de los eventos.

El mapa de amenaza por flujos de detritos (Figura 5.18) muestra la zonificación de la amenaza en la zona estudiada, se pueden observar 5 zonas de susceptibilidad: muy baja (color verde oscuro), baja (verde), media (amarillo), alta (anaranjado) y muy alta (rojo).

En la zona roja se localizan las comunidades de T´zanchaj y Panabaj; la zona naranja también incluye parte de Panabaj, la parte alta de Atitlán y Pachichaj (Chuul, Panul). Ambas zonas son las más asociadas a los sitios poblados de la región, mientras que las demás zonas amenazadas, se restringen a zonas de bosque, cultivos de café-maíz, entre otros. Las áreas consideradas también se refieren a los bordes de los canales principales, que igualmente aparecen de color rojo.

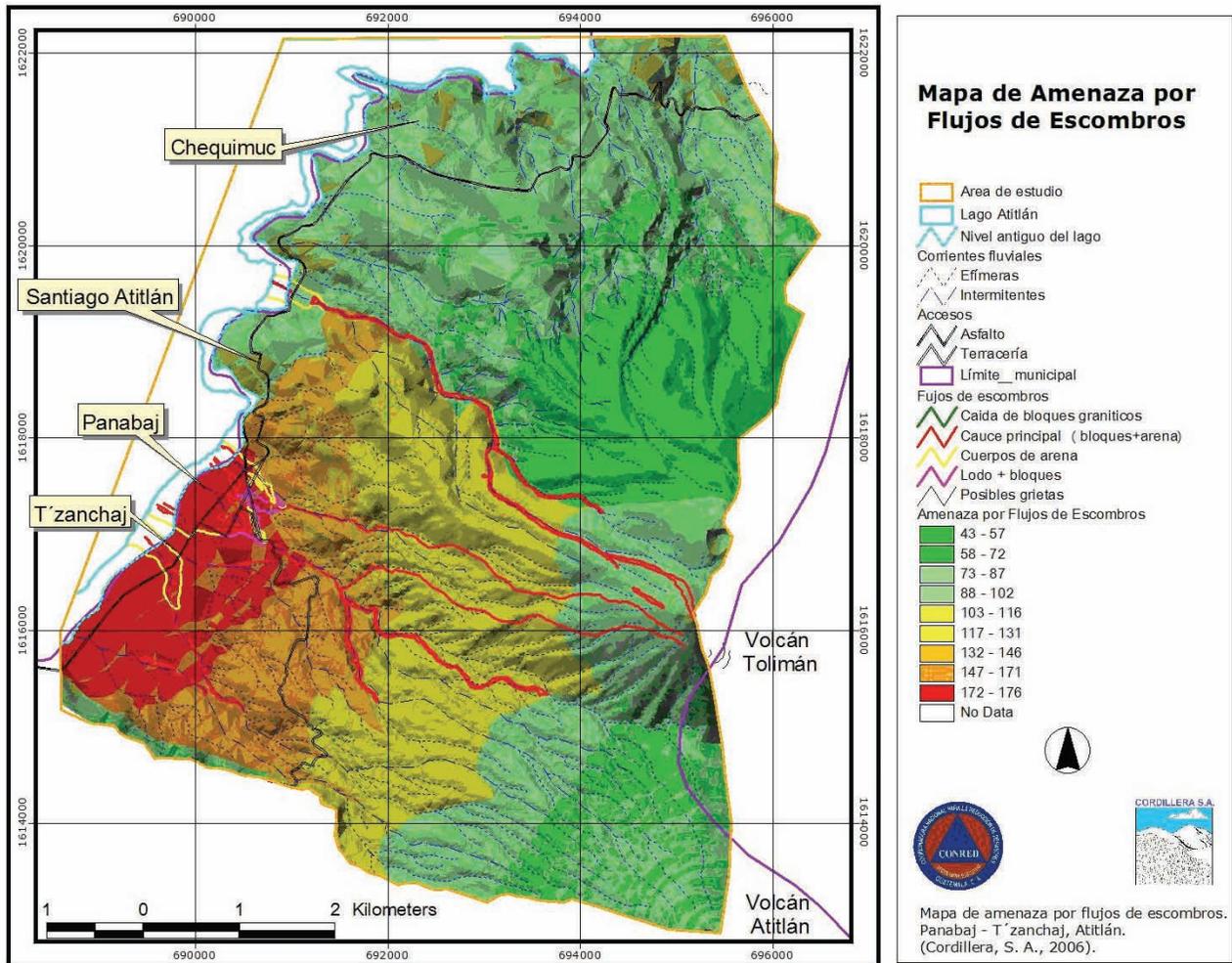


Figura 5.18. Mapa de Amenaza por flujo de escombros para Santiago Atitlán. Cordillera, S.A. 2006.

6. CAPITULO VI

Evaluación de vulnerabilidades por flujo de detritos

6. Marco Teórico para la Evaluación de vulnerabilidades por flujo de detritos

El concepto de vulnerabilidad se ha utilizado desde hace por lo menos 25 años¹ con variados significados en la literatura. Actualmente no existe una conceptualización común de lo que significa vulnerabilidad y los significados del término continúan siendo difusos.² Recientemente, se han llevado a cabo intentos en cuanto a revisar (con cerca de 24 definiciones distintas) y redefinir el término Vulnerabilidad³ habiendo llegado a las siguientes conclusiones y consensos en cuanto a la adopción de un enfoque común.

Pueden diferenciarse tres enfoques distintos⁴ para la definición de vulnerabilidades. El primer enfoque se basa en un análisis de exposición a amenazas biofísicas, incluyendo el análisis de la distribución de las condiciones de amenaza, ocupación humana en zonas peligrosas, grado de pérdidas debido a eventos peligrosos y el análisis de las características e impactos de eventos peligrosos.

El segundo enfoque se basa principalmente en el contexto social de las amenazas y relaciona la vulnerabilidad (social) con las capacidades de respuestas para enfrentar la amenaza que tienen las comunidades, incluyendo la resistencia y resiliencia social a las amenazas.

El tercer enfoque combina los dos enfoques anteriores y define vulnerabilidad como la amenaza en un lugar la cual abarca riesgos biofísicos así como la respuesta y acción social. Este enfoque ha ganado aceptación e importancia en la comunidad científica en años recientes y es el enfoque que se adopta en la presente consultoría.

Por la naturaleza del desastre ocurrido en Santiago Atitlán, particularmente Panabaj, se decidió orientar la evaluación de vulnerabilidades a amenazas relacionadas con flujo de detritos utilizando para ello la metodología de evaluación de vulnerabilidades por inundaciones propuesta por el Centro de Naciones Unidas para Asentamientos Humanos (UNCHS)⁵. La metodología del UNCHS, al igual que otras metodologías de evaluación de vulnerabilidades, constituye una herramienta comparativa que permite identificar la vulnerabilidad relativa de áreas diferentes más que aportar una evaluación absoluta de vulnerabilidad. Por lo tanto, la metodología no se aplica de manera mecánica sino que en el presente proyecto se ha tratado de hacerla consistente con el entorno local.

Con la metodología del UNCHS se adopta una interpretación de vulnerabilidad que enfatiza la interacción entre la amenaza (inundación) y el sujeto receptor (el ambiente y los asentamientos humanos) lo cual conduce a la formulación de proyectos que buscan ya sea reducir el desafío que presenta la amenaza y/o estimular los recursos disponibles para que las personas enfrenten la amenaza cuando ésta se presente.

Para la definición amplia de la vulnerabilidad a inundaciones la metodología de la UNCHS se apoya en la ecuación de Penning-Rowell⁶ la cual se define con todos sus elementos en la Figura 6.1. Tal y como lo muestra la ecuación, la vulnerabilidad no es un parámetro de fácil medición o monitoreo sino que una combinación de varios parámetros que están relacionados con sectores sociales, económicos, políticos, y ambientales de una localidad en particular.

$$\text{Vulnerabilidad} = F \left[\frac{A}{H, S, I, C, F} \right], \left[\frac{S_c, S_b, I_t}{S_t, R_o} \right], \left[\frac{D_e, D_t, S_d, S_t, W, V, P_j, R}{S_t, R_o} \right], \left[\frac{W_o, W_t, W_a}{W_o, W_t, W_a} \right], \left[\frac{T_r, R_a, R_q}{T_r, R_a, R_q} \right]$$

Variables Socioeconómicas	Variables Infraestructura	Características de la inundación	Variables de alerta	Variables de respuesta
---------------------------	---------------------------	----------------------------------	---------------------	------------------------

¹ El concepto de Vulnerabilidad fue originalmente propuesto por Timmerman, P., 1981, Vulnerability, Resilience, and the Collapse of Society. Monograph 1. Institute of Environmental Studies. University of Toronto.

² Cutter, S.L., 1996, Vulnerability to Environmental Hazards: Progress in Human Geography, v.20, p. 529-39.

³ Weichselgartner, J., 2001, Disaster Mitigation: The Concept of Vulnerability Revisited: Disaster Prevention and Management, v.10, p. 85-94.

⁴ Messner, F., and Meyer, V., 2006, Flood Damage, Vulnerability and Risk Perception-Challenges for Flood Damage Research, in Schanze, J., Evzen, Z., and Marsalek, J., (Editors): NATO Advanced Research Workshop on Flood Risk Management -Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures. Ostrov, Czech Republic. NATO Science Series IV. Earth and Environmental Sciences. V. 67. Springer-Verlag.

⁵ Nakamura, T., and Hutton, C., 2001, Assessment of Vulnerability to Flood Impacts and Damages: Disaster Management Programme, UNCHS (Habitat). 32 p.

⁶ Green, C., van der Veen A, Wiestra, E., and Penning-Rowell E., 1994, Vulnerability Refined: Analysing Full Flood Impacts, in Penning-Rowell, E.C., and Fordliam, M (editors): Floods across Europe. Middlesex University Press.

donde,

A = perfil de edades de la población	Sd = Concentración de sedimentos
H = estado de salud de los habitantes	St = tamaño de los sedimentos
S = Ahorros de la población	W = acción del viento/olas
I = Ingresos de los habitantes	V = velocidad
C = cohesividad de la comunidad	P ₁ = carga de contaminantes de las aguas
F = conocimiento de la inundación	R = ritmo a que crece el nivel del agua al principio del evento
Sc = Susceptibilidad al daño del contenido interno de las construcciones	Wo = recepción de la alerta temprana
Sb = Susceptibilidad del tipo de construcción	Wt = tiempo de alerta aportado
It = Tiempo tomado para restaurar la infraestructura	Wa = contenido oportuno de la alerta
St = número de pisos de la construcción	Tr = tiempo que le tomó a los grupos de ayuda en llegar durante o después del evento
Ro = Robustez de la estructura de la construcción	Ra = cantidad de respuesta disponible
De = profundidad de la inundación	Rq = calidad de la respuesta
Dt = duración de la inundación	

Figura 6.1. Definición de la ecuación Penning-RowSELL para la evaluación de vulnerabilidad por inundaciones

En este modelo las construcciones e infraestructura pueden ser concebidas como variables mediadoras que ya sea amplifican o reducen el desafío que enfrenta la población. En cualquier caso, las construcciones pueden mediar el desafío ya que pueden constituir un lugar de refugio o pueden ser destruidas por la inundación.

Además de lo anteriormente expuesto, la vulnerabilidad es dependiente de (a) el ritmo de cambio en la descarga o flujo de los ríos o en niveles de agua; (b) existencia de estructuras fluviales naturales o artificiales que pueden ocasionar un cambio en el flujo y niveles de agua; y (c) distintas formas de intervención para mitigar impactos potenciales de la inundación. Por lo tanto, los diferentes tipos de inundaciones, regímenes de flujo y estrategias de intervención crearán diferentes vulnerabilidades en las cuencas hidrográficas. Tal y como lo muestra el Cuadro 6.1 las características de la inundación que son significativas para la vulnerabilidad del sistema impactado varía entre los sistemas.

La vulnerabilidad puede evaluarse en varios niveles: individual, unidad familiar, comunidad, ecosistema, subcuenca, cuenca, o nacional. Para el presente proyecto se ha decidido evaluar la vulnerabilidad a nivel de la cabecera municipal de Santiago Atitlán, y las comunidades de Panabaj y Tzanchaj por haber sido éstas las principales comunidades afectadas por el Huracán Stan.

CUADRO 6.1. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE UNA INUNDACIÓN Y SUS IMPACTOS EN DISTINTAS VULNERABILIDADES

Características de la inundación	Vulnerabilidad			
	Agricultura	Construcciones	Economía Nacional	Riesgo a la vida
Momento en que ocurre la inundación	X			
Profundidad de la inundación		X		X
Duración de la inundación	X		X	
Velocidad de flujo		X		X
Extensión de la inundación			X	
Carga de sedimentos	X	X		

Fuente: Nakamura and Hutton, 2001.

El análisis de vulnerabilidad tiene como principal objetivo la identificación de las relaciones más importantes entre los daños que pueden esperarse de una inundación y las características de exposición y susceptibilidad de los sistemas sociales, económicos, y ecológicos que pueden ser afectados. Algunos de los resultados típicos provenientes de este análisis pueden mostrarse con gráficas como las que se muestran en la porción derecha de la Figura 6.2, tratando de indicar el desarrollo del daño esperado a un elemento en riesgo dependiendo de las características de susceptibilidad y exposición. Por lo tanto, la vulnerabilidad puede expresarse en términos de relaciones funcionales entre los daños esperados relacionando todos los elementos en riesgo con las características de susceptibilidad y exposición de los sistemas afectados.

La cantidad real del daño vinculado con una inundación depende de la vulnerabilidad de los sistemas socio-económicos y ecológicos afectados. En términos generales, un elemento en riesgo de ser dañado es más vulnerable mientras más expuesto esté a la amenaza y mientras más susceptible sea a las fuerzas y los impactos. Por lo tanto, cualquier análisis de vulnerabilidad requiere información relacionada con estos factores la cual puede especificarse, tal y como lo indica la Figura 6.2, en términos de elementos en riesgo, indicadores de exposición, e indicadores de susceptibilidad.

Tal y como muestra el centro de la Figura 6.2 el asunto de mayor importancia en cualquier análisis de vulnerabilidad por inundaciones lo constituye el grupo de elementos que están en riesgo de ser dañados por las inundaciones. Los indicadores de elementos en riesgo especifican la cantidad de sistemas (o unidades) sociales, económicas, o ecológicas que están en riesgo de ser afectados en un área específica lo que puede incluir personas, construcciones privadas y públicas, infraestructura pública, activos culturales, especies ecológicas, producción económica, y paisajes localizados en una zona peligrosa o relacionados con la misma.

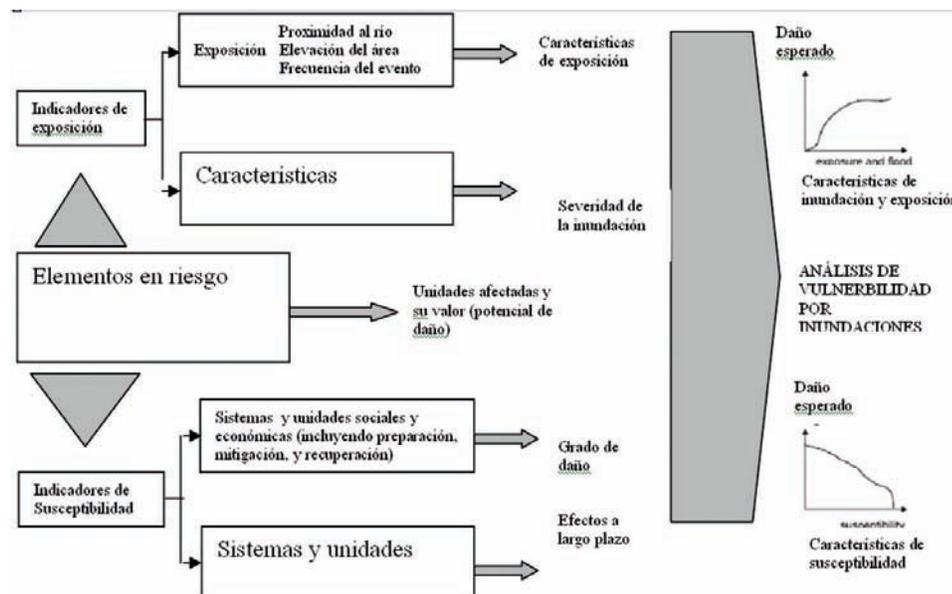


Figura 6.2. Esquema ampliado para el análisis de vulnerabilidad por inundaciones (ligeramente Modificado de Messner y Meyer, 2006)

Basado en la información anterior puede estimarse en unidades monetarias y no monetarias la magnitud del daño. Debido a que cada elemento en riesgo está más o menos expuesto a inundaciones y es más o menos susceptible a esta amenaza, los indicadores de exposición y susceptibilidad siempre está relacionada con los indicadores de elementos en riesgo por lo que de este modo contribuyen significativamente al análisis de vulnerabilidad por inundaciones.

La sumatoria de todos estos indicadores aporta información específica acerca de la amenaza a los diferentes elementos en riesgo. Pueden distinguirse dos categorías de este tipo de indicadores.

- i. La primera categoría es necesaria para tipificar el tipo de exposición de diferentes elementos en riesgo. Esta categoría de indicadores aporta información sobre la localización de varios elementos en riesgo, su elevación, proximidad al río, y su cercanía a áreas de inundación, y periodos de retorno de diferentes tipo de inundaciones en la planicie de inundación. Tomados en su conjunto estos indicadores permiten documentar la frecuencia de las inundaciones y la amenaza a varios elementos en riesgo de ser inundados.

- ii. Los indicadores de la segunda categoría permiten documentar las características generales de la inundación tal como duración, velocidad, carga de sedimentos, y profundidad de inundación. Tomados en su conjunto estos indicadores informan acerca de la severidad de la inundación así como de su distribución en el tiempo y el espacio.

Los indicadores de susceptibilidad miden que tan sensible se comporta un elemento en riesgo cuando éste es confrontado con la amenaza. La Figura 6.2 relaciona los indicadores de susceptibilidad con los sistemas (o unidades individuales de estos sistemas) sociales, económicos, y ecológicas que pueden ser afectados.

En relación con los sistemas sociales y económicos, un grupo importante de indicadores puede evaluar la susceptibilidad en un sentido restringido, tratando de medir el impacto absoluto o relativo de la inundación en los elementos individuales en riesgo. Por ejemplo, el impacto de la profundidad de la inundación y la duración de la inundación en las construcciones constituye un problema principal en el análisis de daños tratando de identificar las distintas categorías de construcciones que tienen susceptibilidades similares. De este modo, las casas de madera son mucho más susceptibles a inundaciones que las casas de piedra y las construcciones de un piso normalmente experimentan daño relativo mayor que las casas de varios pisos.

Los indicadores de susceptibilidad en un sentido amplio se relacionan con las características del sistema e incluye el contexto social en que se presentan los daños ocasionados por la inundación, especialmente la concientización y preparación de las personas afectadas en relación con el riesgo (antes de la inundación), su capacidad para enfrentar la amenaza (durante la inundación), y su capacidad para resistir las consecuencias y recuperarse (después de la inundación). Se han propuesto varios indicadores para la evaluación de la vulnerabilidad de sistemas sociales en un sentido amplio por lo que en el presente proyecto se han seleccionado los indicadores que se consideran más apropiados para la zona de Santiago Atitlán.

Los indicadores de susceptibilidad en un sentido amplio relacionados con el sistema económico consideran el impacto de la inundación en sistemas y unidades económicas tal como sectores y diferentes áreas de producción los cuales se describen en detalle más abajo. Al igual que en el caso de los sistemas sociales los indicadores relevantes se refieren a estrategias y habilidades de preparación, mitigación, y recuperación. Los indicadores económicos de preparación describen la preparación social y técnica de los actores y sistemas económicos e incluye, entre otros, seguros por inundaciones y la capacidad de transferir la producción a otros lugares. Eventualmente, los indicadores de recuperación aportan información sobre los impactos a largo plazo tal como productividad, competitividad, y bancarrota y describen el tiempo requerido para reestablecer las condiciones iniciales.

En cuanto a los indicadores de susceptibilidad relacionados con el sistema ecológico es importante tener en cuenta que aunque frecuentemente las inundaciones pueden tener efectos benéficos, este tipo de amenaza también puede generar impactos ecológicos negativos, especialmente si el agua está contaminada o transporta sedimentos medianos a gruesos generando flujos de detritos como es el caso de Santiago Atitlán.

Aunque resulta sumamente complejo relacionar la susceptibilidad a unidades biológicas individuales se considera sensible derivar indicadores de susceptibilidad en un sentido amplio los cuales se relacionen con el ecosistema como un todo. Los indicadores en este contexto pueden derivarse del debate relacionado con el concepto de resiliencia ecológica⁷ el cual se refiere a la capacidad del sistema para absorber perturbaciones externas o cambios y aún persistir y adaptarse a estos cambios así como el ritmo con el cual alcanza de nuevo el equilibrio ecológico después de la perturbación. De manera análoga con lo anterior, y vinculado con el debate de vulnerabilidad social, algunos autores también utilizan el término resiliencia social^{8,9} el cual se define de la siguiente manera: capacidad de una comunidad para enfrentarse al stress externo.

Estos factores determinantes incluyen una amplia variedad de recursos naturales y son relevantes en el análisis de vulnerabilidad por dos razones. Primero, son estos recursos ambientales los que median el efecto de la amenaza proveniente de la inundación y segundo, estos factores constituyen recursos que van a ser utilizados por los sectores de actividad para desarrollo posterior.

⁷ El concepto de resiliencia ecológica se utiliza en este proyecto en el sentido de Holling, C.S., 1973, Resilience and Stability of Ecological Systems: Annual Review of Ecological Systems, v.4, p. 1-23.

⁸ Tobin, G., 1999, Sustainability and Community Resilience: The Holy Grail of Hazards Planning?: Environmental Hazards, v. 1, p. 13-25.

⁹ Adger, W., 2000, Social and Ecological Resilience: Are They Related?: Progress in Human Geography, v.24, p. 347-364.

Los factores ambientales deben de evaluarse en función de su relación con el sector de actividad y la amenaza natural. Por lo tanto, cada una de las categorías de recursos ambientales debe de ser expuesto a las siguientes preguntas:

- Características del recurso ambiental
- La utilización del recursos por parte de todos los sectores de actividad
- El impacto del recursos en todos los sectores de actividad
- Competición por el uso del recurso

La lista que se muestra a continuación es indicativa del número de áreas que deben de evaluarse. Sin embargo, el equipo técnico involucrado en el proyecto debe de decidir cuales serán los factores relevantes para el proyecto particular.

Relieve	Tipo de suelo	Vegetación	Hidrología
Lluvia	Variaciones anuales	Escorrentía	Humedad del suelo
Topografía	Aire	Agricultura	Nivel del agua subterránea
Minería	Bosque	Vida Salvaje	Ritmo de infiltración
Cultura			Cubierta impermeable
			Flujo en canal

Es importante tratar de entender la relación entre los varios sectores para cuando se lleve a cabo el estudio entre los diferentes sectores de actividad y los recursos ambientales y la relación que guardan con la amenaza.

6.1. Selección y Descripción de Indicadores de Vulnerabilidad por Sector de Actividad

Un indicador es una medida única de una característica, por ejemplo ingreso per capita. La metodología del UNCHS sugiere que el perfil de vulnerabilidad que se elabore esté compuesto de cuatro secciones distintas. Con esta metodología se propone un enfoque sectorial para la evaluación y valoración de vulnerabilidad. Varios de los indicadores de susceptibilidad que se mencionaron con anterioridad muy bien pueden emplearse para la descripción básica de cada sector de actividad que se menciona más abajo. Cada sector de actividad está compuesto de un grupo de organizaciones y personas los cuales están involucrados en la misma actividad económica y lo que se busca es que cada sector de actividad esté protegido por inundaciones.

A continuación se proporciona una lista indicativa del número de sectores de actividad que pueden documentarse.

Vivienda	Manufactura	Construcción	Energía	Agricultura y Forestería	Pesca
Áreas Protegidas	Transporte	Turismo	Educación	Salud Infraestructura	Sector informal

En dependencia de los recursos disponibles y el emplazamiento geográfico y cultural de la localidad a evaluar, el personal técnico que lleve a cabo la evaluación de vulnerabilidad debe de decidir que sectores son los más relevantes para el análisis.

Cada sector de actividad que se considere relevante debería de documentarse con la siguiente información de modo que permita un entendimiento completo del sujeto receptor de la amenaza que está siendo evaluado.

- Características del sector de actividad
 - Tipo general de actividades
 - Número de empleados
 - Tendencias recientes
 - Relaciones importantes con otros sectores de actividad
 - Otra información relevante
- Uso de recursos ambientales por parte del sector (tierra, agua, etc)
 - Recursos específicos utilizados por el sector (agua, tierra, minerales, etc)
 - Escala de utilización de los recursos
 - Tendencias recientes de consumo
 - Principales fuentes de abastecimiento
 - Escasez específica de algún recurso
 - Competición del recurso con otros sectores
 - Tendencias en la disponibilidad de los recursos

- Impacto del sector en los recursos ambientales
Cuales son los principales efectos contaminantes o de degradación ambiental
Como puede afectar la actividad directa o indirectamente la calidad y cantidad del ambiente
Cambios en el patrón del impacto del sector en los recursos
Iniciativas realizadas para mitigar los efectos deteriorantes para la escasez del recurso
- Como está siendo afectado el sector por la inundación
Describir como la inundación afecta de manera específica la actividad, ya sea de manera directa o indirecta, de modo positivo o negativo
Indicar la frecuencia y severidad con que se presentan los impactos
Cual es el daño/beneficio sostenido
Cual es el costo/beneficio impuesto
- Contribución del sector a la inundación
En que manera contribuye el sector a los daños
Cual es la relación entre el sector de actividad y la inundación
Describir la relación entre el sector de actividad y la inundación
Como ha cambiado la relación entre el sector y la inundación los últimos años

Debe tomarse en cuenta que las preguntas formuladas con anterioridad así como los encabezados deben de modificarse en función de la situación específica de cada proyecto. En muchos casos algunas de las preguntas posiblemente no sean relevantes o quizá no puedan responderse por una amplia variedad de razones. La información también debe de mantenerse a un mínimo y tan precisa como sea posible de modo que el análisis pueda realizarse de manera rápida y efectiva.

El análisis de vulnerabilidad se lleva a cabo después de identificar y cuantificar los indicadores que se consideran más importantes para los distintos elementos en riesgo, tratando de incluir tanto exposición como susceptibilidad en un sentido amplio y restringido.

Existen varios criterios para seleccionar los indicadores más apropiados. Se considera oportuno que los indicadores seleccionados para evaluar la vulnerabilidad por inundaciones tengan las siguientes características:

- Se elaboren en base a datos existentes o de fácil disponibilidad
- Sean fáciles y baratos de aplicar
- Sean apropiados con las condiciones hidrológicas del área
- Que permitan discriminar en un grado razonable entre los diferentes niveles de vulnerabilidad

La selección de indicadores también debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Escala del estudio
- Tipo de estructura
- Tipo de ambiente
- Rural versus urbano
- Otros aspectos propios del lugar

Cualquier indicador que se seleccione es relativo y no absoluto y se considera que dicho indicador es más confiable para comparar la vulnerabilidad dentro de una región en particular que para hacer comparaciones entre regiones. Debido a que el principal objetivo del indicador es hacer comparaciones entre diferentes partes de una región el valor del parámetro es únicamente indicativo por lo que pueden aplicarse otros valores. La razón fundamental para utilizar el valor de un parámetro particular es más importante que el valor real utilizado. La evaluación relativa es bastante útil para la toma de decisiones ya que una evaluación que indique que toda la región es altamente vulnerable por inundaciones es de poco uso para el establecimiento de prioridades.

El UNCHS propone una serie de indicadores los cuales pueden aplicarse en diferentes escalas geográficas. Los indicadores que se recomiendan se indican en el Cuadro 6.2. Aunque la lista que ilustra el Cuadro 6.2 es amplia esto no significa que no existan otros indicadores que puedan seleccionarse. Los indicadores son apropiados para regiones de 100 km² o a otras unidades administrativas pequeñas. Cuando no existan datos de fácil disponibilidad puede entonces usarse variables sustitutas. El Cuadro 6.2 muestra indicadores para algunos sectores de actividad por lo que en dependencia de los objetivos del proyecto y el marco

de vulnerabilidad seleccionado pueden agregarse indicadores para otros sectores de actividad que se consideren apropiados.

CUADRO 6.2. MUESTRA TÍPICA DE INDICADORES DE VULNERABILIDAD POR INUNDACIONES PARA ALGUNOS SECTORES DE ACTIVIDAD

Uso de la Tierra		
	Indicador propuesto	Fundamento
Agricultura	Área superficial del terreno	La superficie del terreno tiene varias funciones para controlar el agua retenida y la escorrentía así como buen potencial para actividades humanas productivas
	Población	La población es indicativa del tamaño de las actividades productivas y la vida.
	Indicador propuesto	Fundamento
	Momento en que ocurre la inundación (1 = inmediatamente antes o durante la cosecha; 0 en cualquier otro momento)	La inundación en cualquier periodo de barbecho tendrá poco impacto en los cultivos; la extensión de la inundación en el periodo de cosecha destruirá los cultivos.
	Duración (0 = menos de 5 días; 1 = 15 días; 2 = 6 semanas o más durante la estación de crecimiento)	La pérdida en cultivos depende de la duración de la inundación; la extensión de la inundación puede impedir la plantación del siguiente cultivo.
Tipo de cultivo (0-2 dependiendo de lo significativo del tipo de cultivo en la cuenca)	Algunos cultivos son más importantes que otros en una cuenca hidrográfica específica.	
Área de tierra cultivable/área superficial (%)	La superficie de área cultivable es indicativa del tamaño de la agricultura.	
Profundidad (<2m = 0; >2m = 1)- pérdida de animales y ganado	La pérdida de animales tiende a empobrecer la población	
Economía		
Calificación	Indicador propuesto	Fundamento
%	Valor económico de pérdidas por inundaciones expresadas en % del PNB o en % del salario mínimo	Representa la dificultad de financiamiento para el reemplazamiento de construcciones, servicios, y artículos perdidos en la inundación.
%	Porcentaje del valor de capital de las construcciones de la cuenca, infraestructura y planta (si las estadísticas están disponibles)	Representa el impacto probable en el crecimiento económico a largo plazo
%	Sitios industriales críticos en riesgo (% de producción en categorías específicas, por ejemplo energía)	Representa la extensión en la cual la inundación puede afectar la producción en toda la cuenca (usar el % más alto de los sectores industriales identificados).
%	% de producción estable de comida en la cuenca que puede perderse por la inundación (medida como proporción de consumo diario promedio)	Representa la dificultad de reemplazar los abastecimientos de alimentos mediante reservas o importaciones.
%	Población en riesgo medida en proporción a toda la población de la cuenca	Representa la dificultad de brindar refugio a la población desplazada

Población		
Calificación	Indicador propuesto	Fundamento
0 – no 1 – si	Nuevas áreas urbanizadas pobladas por emigrantes de áreas rurales	Bajo en capital social, carencia de vínculos de parentesco y familia.
0 – por debajo del promedio nacional 1 – por encima del promedio nacional	Trabajadores sin tierra en áreas rurales	Pérdida de ingresos por recoger la cosecha, falta de activos para obtención de préstamos
0 – por debajo del promedio nacional 1 – por encima del promedio nacional	Ancianos/inhabilitados	Dificultades físicas para enfrentar la inundación
0 – por debajo del promedio nacional 1 – por encima del promedio nacional	Pobreza	Falta de capital y capacidad de prestar
0 – por debajo del promedio nacional 1 – por encima del promedio nacional	Minorías étnicas	Puede existir discriminación racial
0 – por debajo del promedio nacional 1 – por encima del promedio nacional	Hogares encabezados por mujeres (el esposo es un trabajador emigrante)	Los sesgos en género pueden restringir el acceso a los recursos
Vivienda:	La vivienda puede categorizarse en los siguientes grupos	
Categoría A	A1	Paredes de lodo (todos los techos)
	A2 (a)	Ladrillo sin quemar o pared de adobe con techo inclinado
	A2 (b)	Ladrillo sin quemar o pared de adobe con techo plano
	A3 (a)	Pared de piedra con techo inclinado
	A3 (b)	Pared de piedra con techo plano
Categoría B	(a)	Pared de ladrillo quemado con techo inclinado
	(b)	Pared de ladrillo quemado con techo plano
Categoría C	C1 (a)	Pared de concreto con techo inclinado
	C1 (b)	Pared de concreto con techo plano
	C2	Pared de madera (todos los techos)
	C3	Concreto de cemento (ekra-todos los techos)
Categoría X	X1	Hierro corrugado, zinc u otro metal en forma de lámina en las paredes (todos los techos)
	X2	Bambú, paja, hojas
El nivel de riesgo puede descomponerse en varios grados de daño de la siguiente manera		
Rango		
5	Riesgo de muy alto daño	Colapso total de las construcciones
4	Riesgo de alto daño	Grietas en paredes, partes de la construcción pueden colapsar; partes separadas de la construcción pierden cohesividad
3	Riesgo de daño moderado	Grietas largas y profundas en las paredes; caída de la chimenea de los techos

2	Riesgo de bajo daño	Grietas pequeñas en las paredes y chimeneas
1	Riesgo de muy bajo daño	Grietas finas en yeso
Ecosistema		
Rango	Indicador propuesto	Fundamento
	Ecosistemas relacionados con el río (0) y ecosistemas dependientes de un régimen de agua artificial (1)	La inundación solo constituye una amenaza severa para ecosistemas que se han desarrollado en un sistema de agua artificial
Número	Número de áreas protegidas	Determinadas por el Gobierno
Número	Número de especies en peligro de extinción/raras/nativas (de acuerdo a UICN y la Lista Roja Nacional)	Determinada por el Gobierno
%	Cubierta vegetal natural	La cubierta es importante para la capacidad de la cuenca de enfrentar la amenaza
%	% de tierra degradada	La inundación puede causar pérdida de suelo
Grado	Grado de pendiente	La pérdida de suelo está controlada por la pendiente
Toh/ha	Uso de fertilizantes químicos (N,P,K) por unidad de área	Representa la posibilidad de lixiviación de nutrientes que puede ocasionar contaminación potencial
Ton/ha	Tasa de erosión del suelo	Posibilidad de pérdida de suelo por inundaciones
Tasa	Tiempo de recuperación > 25 años (4) Tiempo de recuperación <25 años (1)	Algunos ecosistemas pueden volver a crearse con suma rapidez mientras que otros se han desarrollado a lo largo de cientos de años.

6.2. Aplicación de la Metodología del UNCHS para la evaluación de vulnerabilidades en Santiago Atitlán

En este apartado del informe se muestra como se puede aplicar la metodología del UNCHS en Santiago Atitlán lo cual puede ser replicable a cualquier otra región del país que pueda estar expuesta a inundaciones y/o flujo de detritos. Para ello primero se realiza un análisis de cada una de los indicadores de vulnerabilidad que considera el UNCHS, algunos de los cuales se han documentado apropiadamente, mientras que para otros indicadores sería necesario proyectos específicos que permitan mejorar la calidad de la línea de base. Es importante al respecto indicar que las fuentes de financiamiento para el mejoramiento del conocimiento de estos indicadores no son de fácil disponibilidad.

Para el caso de la cabecera municipal de Santiago Atitlán se utilizaron los indicadores disponibles para todo el municipio y en algunos casos los indicadores de infraestructura provenientes de los mapas elaborados por el INE (2003) complementado con los levantamientos topográficos realizados por CORDILLERA. Como puede verificarse más abajo, algunos indicadores existentes a nivel de municipio son ampliamente representativos también a nivel local para las comunidades de Panabaj y Tzanchaj, así como para los cantones de Pachichaj-Panul-Chuul que se ubican en el extremo norte de la cabecera de Santiago Atitlán.

Por lo tanto, en este punto de la evaluación lo que priva es el criterio del equipo de trabajo que participa en la evaluación de vulnerabilidades así como la experiencia e intuición de cada uno de sus integrantes. Es inevitable que para este caso, o para otras comunidades que puedan evaluarse en el país, tengan que realizarse una serie de supuestos en base a la información disponible.

Posteriormente al análisis individual de cada indicador de vulnerabilidad se realiza una evaluación integral de vulnerabilidad global para la cabecera municipal de Santiago Atitlán (donde se incluye Pachichaj-Panul-Chuul), Panabaj y Tzanchaj mediante la utilización de una matriz ponderada de cada indicador de vulnerabilidad.

Para facilidad del seguimiento del análisis de vulnerabilidades que se llevó a cabo se reproduce la ecuación mostrada en la Figura 6.1 y a continuación se describen los indicadores aplicados a Santiago Atitlán.

$$Vulnerabilidad = F \left[\frac{A}{H, S, I, C, F} \right], \left[\frac{S_c, S_b, I_t}{S_t, R_o} \right], \left[\frac{D_e, D_t, S_d, S_t, W, V, P_j, R}{W_o, W_t, W_a} \right], \left[\frac{T_r, R_a, R_q}{R} \right]$$

Variables Socioeconómicas Variables Infraestructura Características de la inundación Variables de alerta Variables de respuesta

donde,

- A = perfil de edades de la población
- H = estado de salud de los habitantes
- S = Ahorros de la población
- I = Ingresos de los habitantes
- C = cohesividad de la comunidad
- F = conocimiento de la inundación
- Sc = Susceptibilidad al daño del contenido interno de las construcciones
- Sb = Susceptibilidad del tipo de construcción
- It = Tiempo tomado para restaurar la infraestructura
- St = número de pisos de la construcción
- Ro = Robustez de la estructura de la construcción
- De = profundidad de la inundación
- Dt = duración de la inundación
- Sd = Concentración de sedimentos
- St = tamaño de los sedimentos
- W = acción del viento/olas
- V = velocidad
- Pj = carga de contaminantes de las aguas
- R = ritmo a que crece el nivel del agua al principio del evento
- Wo = recepción de la alerta temprana
- Wt = tiempo de alerta aportado
- Wa = contenido oportuno de la alerta
- Tr = tiempo que le tomó a los grupos de ayuda en llegar durante o después del evento
- Ra = cantidad de respuesta disponible
- Rq = calidad de la respuesta

6.3. Análisis individual de los indicadores de vulnerabilidad que contiene el método del UNCHS para Santiago Atitlán

6.3.1. Variables socioeconómicas

6.3.1.1. Perfil de Edades de la Población (A)

La población total para cada uno de los poblados en estudio se muestra en el Cuadro 6.3 y se ilustra en la Figura 6.3. Puede notarse que los tres sectores muestran patrones similares, presentando una población mayoritariamente adulta (20 y 54 años de edad) con un porcentaje entre 40-50% para cada lugar. En segundo plano se presenta la población infantil (0-9 años) ocupando alrededor del 22%; con un dato cercano se encuentra la población entre 10 y 19 años representando cerca de 25%, en último plano se encuentra la población mayor a 55 años, cuyo porcentaje oscila entre 2 y 8 % del total sus poblaciones.

A partir de la información recaba puede inferirse una vulnerabilidad media respecto a la edad de sus habitantes para los tres poblados, debido a que la mayor parte de la población la conforman personas de edad adulta los cuales tienen capacidad para desplazarse, desenvolverse en una actividad económica, procrear; y recuperarse más rápidamente física y mentalmente ante cualquier evento.

CUADRO 6.3. DATOS DE POBLACIÓN PARA EL MUNICIPIO DE SANTIAGO ATITLÁN, PANABAJ Y TZANCAJ

Población Santiago Atitlán			Cantón Panabaj			Cantón Tzanchaj		
Rangos	Población	Porcentaje	Rangos de años	Población	Porcentaje	Rangos	Población	Porcentaje
0 –9 años	8,223	25.5	0 –6	609	21.78	0 –6 años	298	23.6
10 – 19 años	8,342	25.9	7 – 14	670	23.95	7 – 14 años	305	24.1
20 – 54 años	12,980	40.2	15– 64	1,436	51.34	15– 64 años	629	49.8
55 – 84 años	2,595	8	65 y más	82	2.93	65 y más	31	2.45
85 y más	114	0.4						
Totales	32,254	100%	Totales	2,797	100%	Totales	1,263	100%

Fuente: Censo INE (2003) y CORDILLERA S.A (2006)

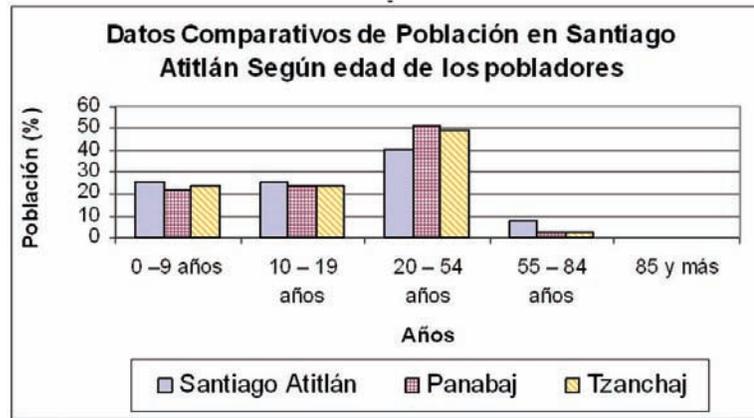


Figura 6.3. Población según edad para el Municipio de Santiago Atitlán, Panabaj y Tzanchaj. Cordillera S.A., 2006.

6.3.1.2. Salud (H)

La salud de los habitantes de la zona se analizó a nivel de municipio ya que no se cuenta con una caracterización de mayor detalle para las otras comunidades. El cuadro 6.4 y la Figura 6.4, muestran de manera porcentual las principales causas de morbilidad general de enfermedades transmisibles. Puede observarse que el Resfriado común ocupa cerca del 36%, seguido por la Amigdalitis con el 26%, la Neumonía se presenta en cerca del 30% de los pacientes, mientras que la Diarrea ocupa el 15%, por último, se observan el 3.5% de pacientes con Parasitismo intestinal.

N°	CAUSAS	NÚMERO DE CASOS	%
1	Resfriado común	173	28.36
2	Amigdalitis	126	20.66
3	Neumonía	96	15.74
4	Diarrea	71	11.64
5	Parasitismo intestinal	17	2.79

Fuente: Centro de Salud de Santiago Atitlán, 2006.

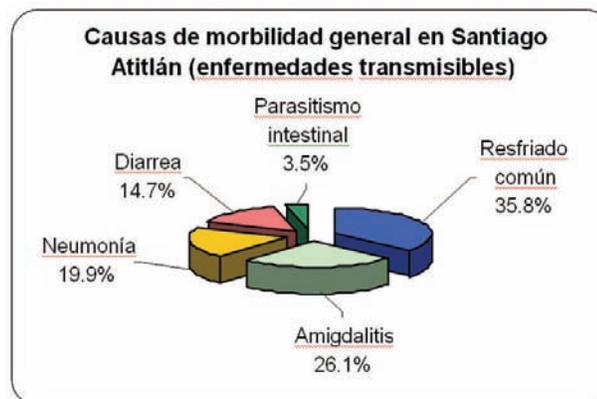


Figura 6.4. Principales causas de morbilidad general (enfermedades transmisibles) en Santiago Atitlán. Cordillera, S.A. 2006

Para el caso de pacientes con enfermedades no transmisibles, el 35% de los pacientes tienen Anemia, el 27% se asocia a Neuritis, en porcentajes muy cercanos (16%) se encuentran pacientes con gastritis o infección del tracto urinario, mientras que el 6.5% manifiestan Asma. Estos resultados pueden observarse en el Cuadro 6.5 y la Figura 6.5.

La vulnerabilidad respecto al parámetro de salud se considera alta, ya que varios de los pacientes manifiestan enfermedades como el resfriado común, amigdalitis y neumonía, que están relacionadas al clima, a la alimentación, las condiciones de vivienda de los pobladores, y los niveles de pobreza y pobreza extrema que se discuten más abajo. Se observa además un alto índice de Anemia que permite que se adquieran otro tipo de enfermedades y la propagación de epidemias dentro de los habitantes.

CUADRO 6.5. PRINCIPALES CAUSAS DE MORBILIDAD (ENFERMEDADES NO TRASMISIBLES)

N°	Causas	Frecuencia masculinos	%	Frecuencia femeninas	%	Total	%
1	Anemia	149	15.27	1,170	29.05	1,319	35.01
2	Neuritis	191	19.57	832	20.66	1,023	27.16
3	Gastritis	147	15.06	455	11.3	602	15.98
4	Infección del tracto urinario	86	8.81	490	12.16	576	15.29
5	Asma	48	4.92	199	4.94	247	6.56

Fuente: Centro de Salud de Santiago Atitlán, 2006.

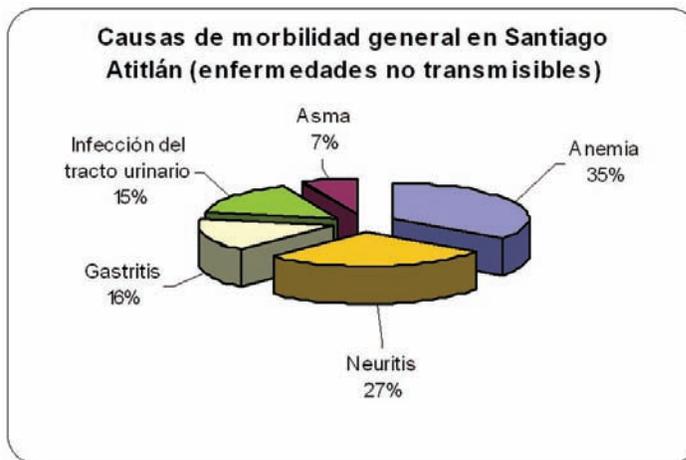


Figura 6.5. Causas de morbilidad en Santiago Atitlán (enfermedades no transmisibles). Cordillera S.A., 2006.

6.3.1.3. Ahorros de la población e ingresos de habitantes (S, I)

Estos dos indicadores de vulnerabilidad que requiere la metodología del UNCHS son difíciles de documentar no solo en Santiago Atitlán sino en otras regiones del país. Sin embargo, puede inferirse cual es la situación económica de la población a partir de otros indicadores macroeconómicos existentes para la zona, particularmente el grado de pobreza, pobreza extrema, y población económicamente activa (PEA), que muy bien reflejan el estado de ahorros e ingresos de la población.

Los datos con que se cuentan son del año 2001 cuando se elaboró la Estrategia de Reducción de la Pobreza por SEGEPLAN, documento que reporta para Santiago Atitlán un grado de pobreza del 73.30 % y de ese porcentaje el 18.85 % pertenece a extrema pobreza. Estas cifras sugieren que un alto porcentaje de la población no cuenta con ahorros ni ingresos mínimos para un nivel de vida aceptable lo cual lo hace muy vulnerable no solo por inundaciones sino por cualquier otro tipo de amenaza.

No se cuenta con datos específicos sobre la situación de pobreza de las familias en Tzanchaj; sin embargo, se considera que el 98% de ellas viven en situación de pobreza y de éstas el 75% en extrema pobreza^{10 11}. El ingreso familiar promedio de las familias en extrema pobreza es inferior a Q1,000.00/mes. Para Panabaj los datos también son escasos, aunque la investigación de campo estableció que el 95% de las familias viven en situación de pobreza y de estas el 60% en extrema pobreza¹² (Tacaxoy, 2006). Las cifras antes citadas sugieren que tanto Panabaj como Tzanchaj y la cabecera municipal de Santiago Atitlán son comunidades altamente vulnerables en términos económicos.

En la cabecera municipal de Santiago Atitlán existen mejores condiciones económicas ya que las comunidades tienen fuentes de ingreso relacionados con turismo y los desarrollos hoteleros están presentes en todo su apogeo, por lo que la vulnerabilidad económica en este lugar se considera moderada.

Para el análisis de vulnerabilidad por sectores de actividad que requiere la metodología del UNCHS se tomaron los datos de la Población Económicamente Activa (PEA) que existen únicamente a nivel de municipio y pueden resumirse de la siguiente manera. El Cuadro 6.6 muestra el número de pobladores dedicados a las actividades antes mencionadas, mientras que la Figura 6.6 presenta estos datos de manera gráfica. En base a la información disponible puede apreciarse que la PEA de Santiago Atitlán, según la rama de actividad, esta mayoritariamente dedicada a actividades de agricultura, silvicultura y pesca (45%); el 26% realiza actividades de comercio de restaurantes y hoteles; el 15% labora en la industria manufacturera, textil y alimenticia; el restante 14% están distribuidos en actividades de transporte, establecimientos financieros, administración pública, enseñanza, servicios comunales, sociales y personales, y otras actividades no especificadas.

CUADRO 6.6. POBLACIÓN ECONÓMICAMENTE ACTIVA DE SANTIAGO ATITLÁN, SEGÚN RAMA DE ACTIVIDAD.

Rama de actividad económica	Hombres	Mujeres	Total
Agricultura, caza, silvicultura y pesca.	4,646	798	5,444
Explotación de minas y canteras.	47	6	53
Industria manufacturera textil y alimenticia.	574	1,239	1813
Electricidad, gas y agua.	10	5	15
Construcción.	523	119	642
Comercio por mayor y menor de restaurantes y hoteles.	1,987	1,086	3,073
Transporte, almacenamiento y comunicaciones.	197	34	231
Establecimientos financieros, seguros, bienes inmuebles y servicios prestados a empresas.	93	15	108
Administración pública y defensa.	63	20	83
Enseñanza.	72	74	146
Servicios comunales, sociales y personales.	183	149	332
Organizaciones extraterritoriales.	-	-	-
Rama de actividad no especificada.	63	29	92

Fuente: Censo INE (2003).

El procesamiento de datos disponibles de PEA permite inferir que el sector de actividad más vulnerable a nivel de municipio es el relacionado con las actividades de agricultura, silvicultura y pesca mientras que el segundo sector más vulnerable lo constituye el relacionado con el sector turismo particularmente a través de restaurantes y hoteles.

Al comparar los datos anteriores con la zonificación del uso de la tierra que se construyó para la zona puede complementarse la evaluación de vulnerabilidades por sectores de actividad a nivel local para Panabaj y Tzanchaj. Puede concluirse al respecto que, al igual que para Santiago Atitlán, en ambas comunidades el sector de agricultura, silvicultura y pesca continúa siendo el más vulnerable. Sin embargo, el sector turístico no juega un papel preponderante en Panabaj y Tzanchaj por lo que para ambas comunidades el segundo sector de actividad más vulnerable lo constituye la industria manufacturera y textil y luego el sector de construcción.

¹⁰ Ajanel, Tomas., Presidente de COCODE Cantón Tzanchaj, Santiago Atitlán Sololá. Fecha de entrevista 06 de abril de 2006.

¹¹ Ixbalan, Antonio., Alcalde Auxiliar. Cantón Tzanchaj, Santiago Atitlán Sololá. Fecha de entrevista: 06 de abril de 2006

¹² Tacaxoy, Esteban., Vecino de Panabaj y asociado a ADECCAP Cantón Panabaj, Santiago Atitlán Sololá Fecha de entrevista: 05 de abril de 2006

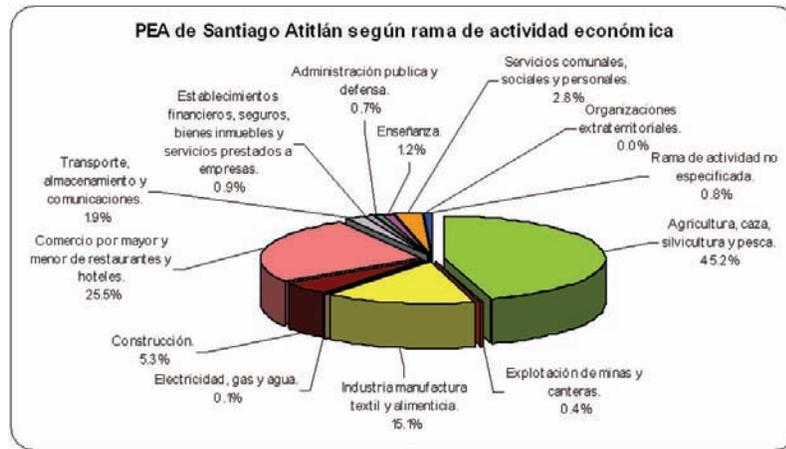


Figura 6.6. Porcentaje de la Población económicamente activa de Santiago Atitlán de acuerdo a la rama de actividad económica.

6.3.1.4. Cohesividad de la comunidad (C)

El diagnóstico sociocultural de Santiago Atitlán permitió concluir que las comunidades han estado polarizadas en cuanto al proceso de reconstrucción y a la movilización hacia un sitio más seguro. Este grado de alta polarización ocasiona que la cohesividad de la comunidad sea muy baja no solo para enfrentar las amenazas naturales sino para la implementación de otros proyectos de desarrollo. Gran parte de la baja cohesividad que se registra guarda nexos históricos con el conflicto armado que vivió el país y con las diferencias que existen actualmente entre los principales partidos políticos que dominan el entorno local.

La baja cohesividad de las comunidades conduce inevitablemente a que constituyan núcleos de población de alta vulnerabilidad ante cualquier tipo de desastre natural.

6.3.1.5. Conocimiento de la amenaza (F)

El grado de conocimiento que tiene la población acerca de la amenaza puede inferirse a partir de las entrevistas que se realizaron en el campo y de los indicadores de educación existentes para las comunidades. Las entrevistas realizadas muestran que la población tiene un muy bajo conocimiento de la amenaza por flujo de detritos.

En cuanto a educación se refiere los indicadores existentes que muestran en el Cuadro 6.7 y la Figura 6.7 sugieren que más de la mitad de la población de Santiago Atitlán no cuenta con ningún grado de escolaridad. Para el caso de aquellos habitantes que cuenta con algún grado de escolaridad se tienen los siguientes resultados: el nivel escolar en los habitantes en el municipio de Santiago Atitlán va desde Pre-Primaria hasta el nivel Superior, siendo el nivel de Primaria el que contiene el mayor número de estudiantes (9,879), mientras que el nivel Superior es el que tiene el menor número (117 estudiantes). Para los cantones Panabaj y Tzanchaj, la escolaridad de sus habitantes va desde Pre-primaria a Superior excepto por Tzanchaj donde no existe ninguna persona registrada con este nivel.

CUADRO 6.7. NIVELES DE ESCOLARIDAD PARA SANTIAGO ATITLÁN Y LOS CANTONES PANABAJ Y TZANCHAJ.

Poblado	Total	Nivel de Escolaridad				
		Ninguno	Pre-primaria	Primaria	Media	Superior
Santiago Atitlán	13,221	14,360	578	9,879	1,050	117
Panabaj	816	Sr	50	696	63	7
Tzanchaj	368	Sr	11	317	40	0

Fuente: Ministerio de Educación (2005)

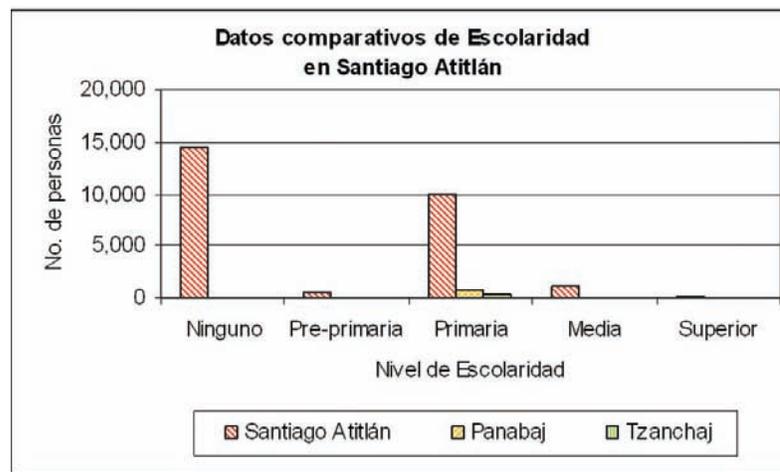


Figura 6.7. Nivel de escolaridad de los habitantes de Santiago Atitlán. Cordillera S.A., 2006.

Adicionalmente a lo expuesto en los párrafos anteriores puede mencionarse el hecho de que en el pensum de estudios a nivel primario y secundario no se cuenta con una materia específica donde se incluya la temática de riesgos lo que contribuye a explicar el bajo y en muchos casos nulo conocimiento de la amenaza que guarda gran parte de la población lo que determina que su grado de vulnerabilidad global en cuanto a esta variable se refiere sea bastante alto. Sin embargo, el hecho de que Panabaj cuente con 7 habitantes que poseen educación superior, los cuales no viven en la comunidad, pudiera en el futuro cercano tener cierta incidencia en el conocimiento de la amenaza y la reducción de vulnerabilidad.

6.3.2. Variables de Infraestructura

Para el análisis de infraestructura la metodología del UNCHS está principalmente orientada a una caracterización detallada de las construcciones, particularmente vivienda. De este modo, la aplicación precisa de este método requeriría un conocimiento detallado de la susceptibilidad al daño del contenido interno de las construcciones (Sc), la susceptibilidad del tipo de construcción (Sb), el tiempo tomado para restaurar la infraestructura (It), el número de pisos de la construcción (St), y la robustez de la estructura de la construcción (St).

La adaptación de la metodología del UNCHS a los datos e información de vivienda existentes para las comunidades de Santiago Atitlán, que se ilustran en el Cuadro 6.8 y la Figura 6.8, puede describirse de la siguiente manera. Tanto en el municipio de Santiago Atitlán como en los cantones Panabaj y Tzanchaj las viviendas son en su mayoría casas de tipo Formal, con casas tipo Rancho siendo el segundo tipo principal de vivienda en Santiago Atitlán y en menor proporción en el cantón Panabaj, mientras que el mayor número de casas improvisadas se localizan principalmente en el cantón Panabaj.

CUADRO 6.8. NÚMERO Y TIPO DE VIVIENDAS EN SANTIAGO ATITLÁN, PANABAJ, Y TZANCHAJ

Poblado	Tipo de Local					Total
	Casa Formal	Apartamento	Palomar	Rancho	Improvisado	
Santiago Atitlán	4,589	5	8	49	9	4661
Panabaj	571	1	1	7	27	612
Tzanchaj	274	0	0	0	2	276

Fuente: INE (2003).

En el Cuadro 6.9 muestra que respecto al número de viviendas dañadas durante el huracán Stan, el área más afectada en relación al número de viviendas existentes en cada poblado, es el Cantón Panabaj con cerca del 25% de casas dañadas del total de sus viviendas, en segundo plano se encuentra Tzanchaj con el 12% de viviendas afectadas, y por último, el municipio de Santiago Atitlán (particularmente Pachichaj, Panul, y Chuul) con 7.7% de casas dañadas del total existente en el municipio. El Centro de Administración de Justicia (CAJ) de Panabaj inaugurado con un costo de Q14,000,000.00 (catorce millones de quetzales) 3 meses antes de que el Huracán Stan afectara la zona fue severamente dañado y continúa emplazado en una zona de alta amenaza (Figura 6.9).

Aunque el número de viviendas dañadas fue mayor en Santiago, la intensidad del daño a las viviendas fue significativamente mayor en Panabaj por ser éste el lugar donde se manifestó con mayor severidad el flujo de detritos.

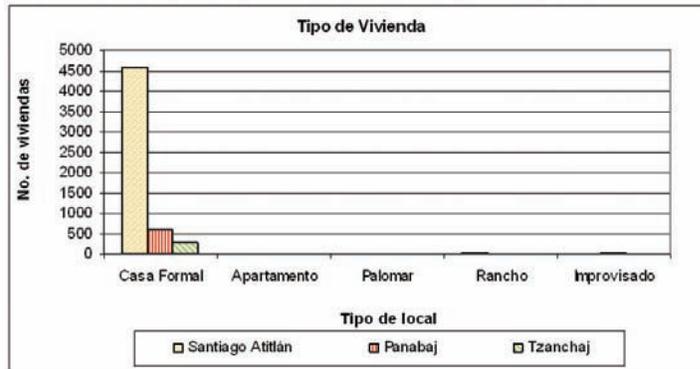


Figura 6.8. Número de viviendas existentes en el municipio de Santiago Atitlán y los cantones Panabaj y Tzanchaj; según el tipo de vivienda. Cordillera S.A., 2006.

CUADRO 6.9. NÚMERO DE VIVIENDAS AFECTADAS DURANTE EL HURACÁN STAN, EN EL MUNICIPIO DE SANTIAGO ATITLÁN, PANABAJ Y TZANCHAJ.

Poblado	No. de Viviendas dañadas
Santiago Atitlán	361
Panabaj	150
Tzanchaj	55

El Cuadro 6.10 y la Figura 6.10 muestran una adaptación de la categorización del UNCHS utilizada en las viviendas para los tres poblados de Santiago Atitlán en función de las características especiales que reporta el INE (2003); de manera general la categoría A comprende las viviendas mas vulnerables y la categoría C2 la menos vulnerables



Figura 6.9. Fotografías que muestran el entorno de riesgo relacionado con el Centro de Administración de Justicia de Panabaj. La foto izquierda muestra uno de los deslizamientos principales que son fuente de los flujos de detritos. La foto derecha ilustra que en cierta medida la malla de acero que rodea el edificio proporcionó cierta protección. Cordillera S.A., 2006.

Vivienda:	La vivienda puede categorizarse en	Grupos de vivienda en Santiago Atitlán (INE, 2003)	Vulnerabilidad
Categoría A	A	Improvisado	5 (muy alta)
Categoría B	B1	Rancho	4 (alta)
	B2	Palomar	3 (media)
Categoría C	C1	Apartamento	2 (baja)
	C2	Casa Formal	1 (muy baja)

Puede observarse que Panabaj ha sido la comunidad con el mayor número de viviendas vulnerables (Categoría A) las cuales han estado emplazadas en el sitio de mayor amenaza lo cual le confiere la mayor categoría de riesgo. Por el contrario, la cabecera municipal de Santiago Atitlán presenta el mayor número de viviendas menos vulnerables (Categoría C) de todo el municipio.

Si se aplican los criterios mencionados a la reubicación de la población de Panabaj en albergues improvisados que se han instalado en Tzanchaj puede concluirse que en un periodo corto de tiempo ha ocurrido un desplazamiento significativo de vulnerabilidades en términos de vivienda en la zona, con el segmento de población viviendo en los albergues de Tzanchaj presentando una vulnerabilidad sumamente alta por flujo de detritos.

Para el análisis de vulnerabilidad en términos de vivienda también entran en juego otras consideraciones como que la mayoría de viviendas no cuentan con la adecuada ubicación y falta de diseño apropiado de las construcciones principalmente en los cantones Panabaj y Tzanchaj lo que hace que el índice de vulnerabilidad aumente además de que los materiales usados en su construcción, principalmente adobe, también son un factor de elevada vulnerabilidad.

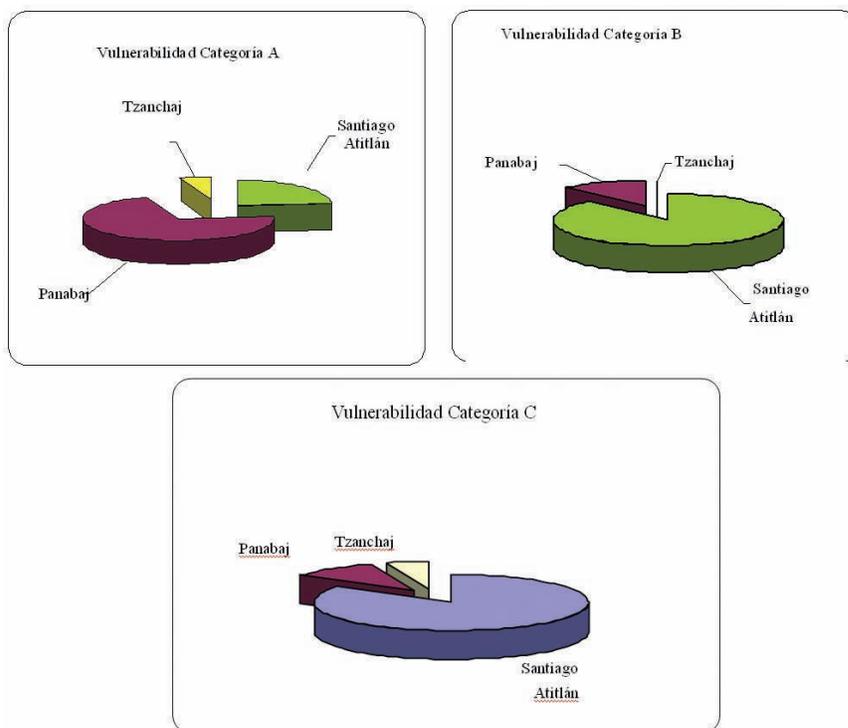


Figura 6.10 Discriminación de Vulnerabilidades por Flujo de Detritos en Términos de Vivienda para comunidades de Santiago Atitlán Cordillera S.A., 2006

La distribución espacial de las viviendas, así como de otros tipos de infraestructura, en las comunidades referidas se muestra en las Figuras 6.11, 6.12, y 6.13.

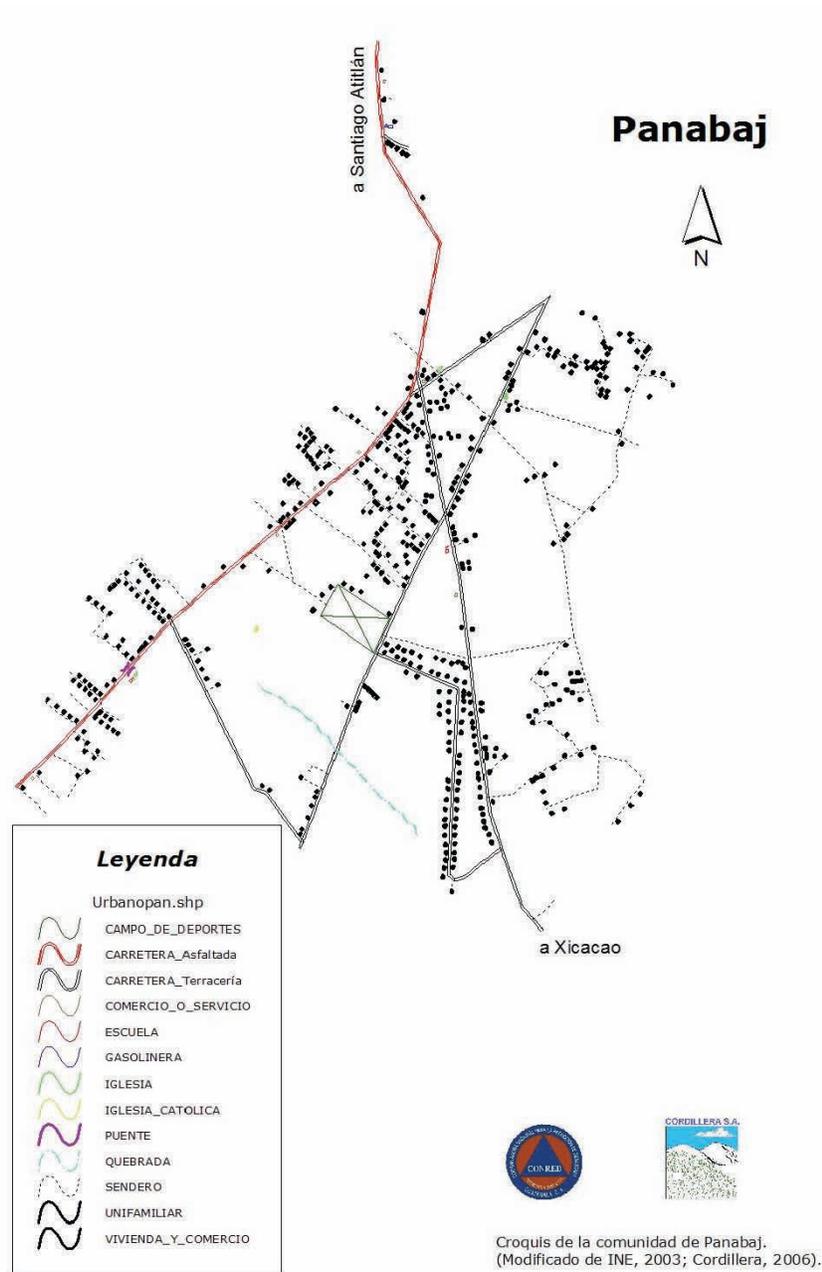
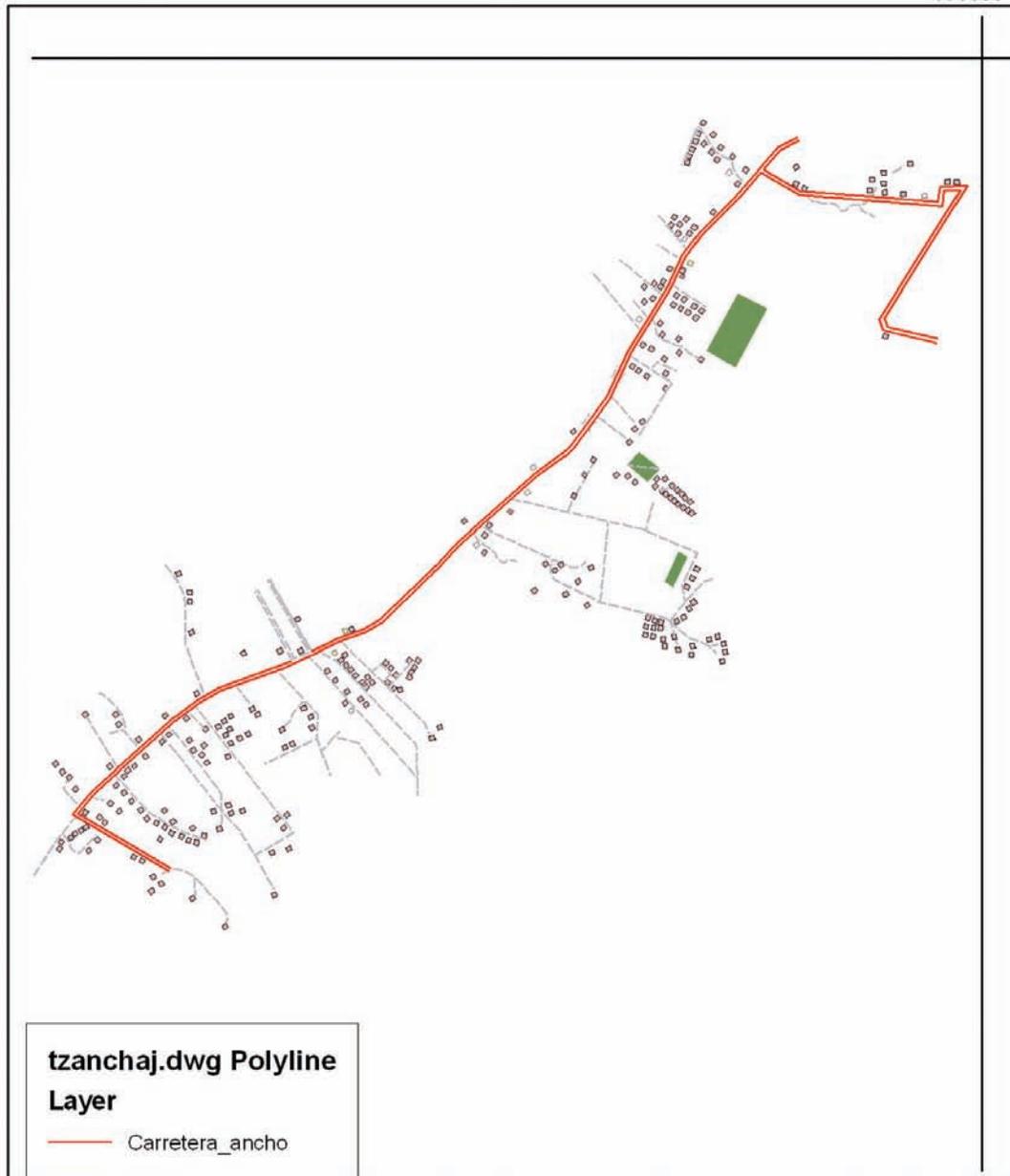


Figura 6.11. Distribución espacial de las viviendas en Panabaj con base al INE (Cordillera S.A., 2006)



tzanchaj.dwg Polyline Layer

-  Carretera_ancho
-  vereda
-  Area_deportiva
-  Iglesia cat
-  Unifamiliar
-  escuela
-  vivienda y comercio



Croquis de la comunidad de Tzanchaj
(Modificado INE 2003; Cordillera 2006)

Figura 6.12. Distribución espacial de las viviendas en Tzanchaj con base al INE (Cordillera S.A., 2006).

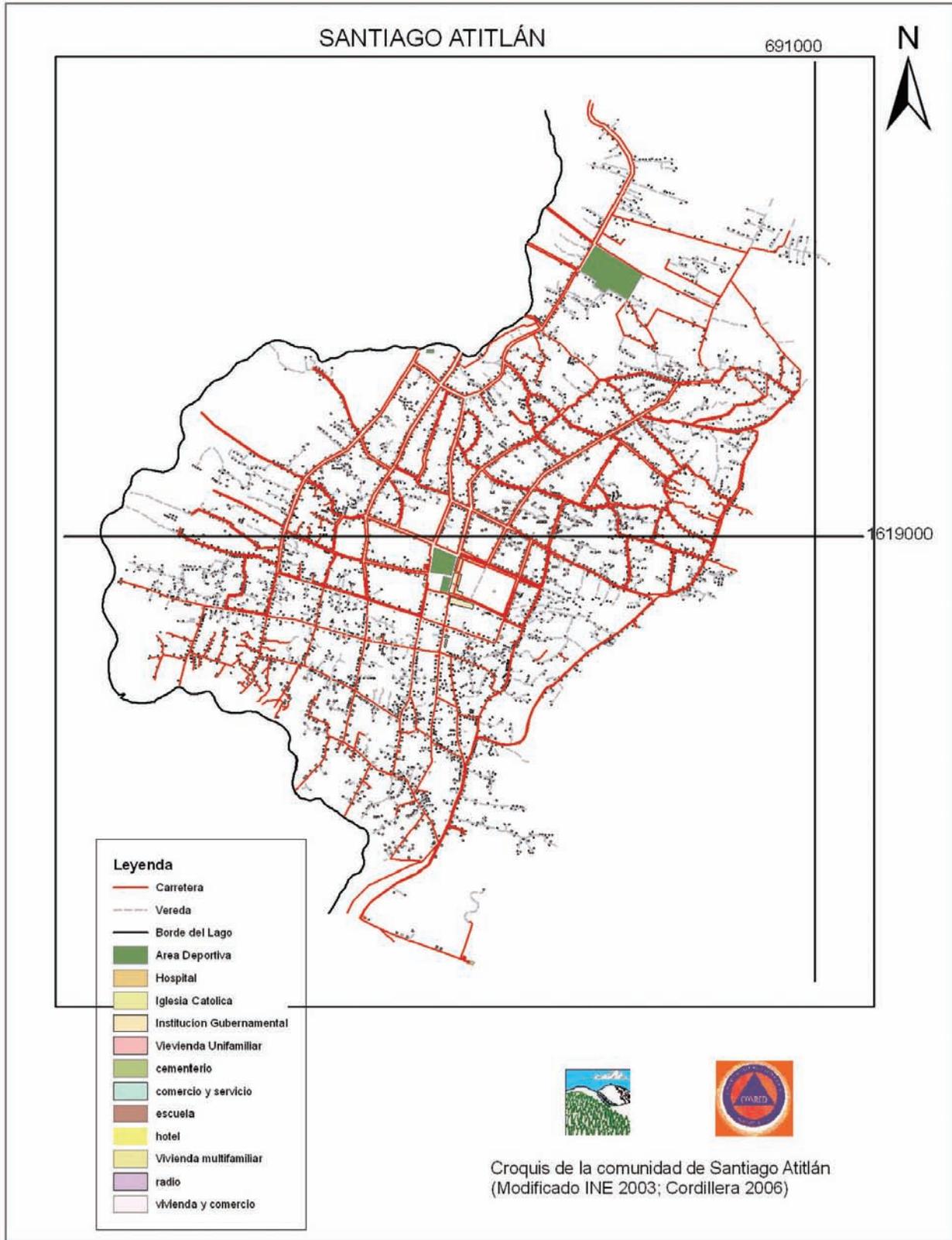


Figura 6.13. Distribución espacial de las viviendas en Santiago Atitlán con base al INE (Cordillera S.A., 2006).

6.3.3. Características de la inundación-flujo de detritos

Para el análisis de exposición en base a las características de la amenaza la metodología del UNCHS se requiere una apropiada caracterización de la profundidad de la inundación (De), duración de la inundación (Dt), concentración de sedimentos (Sd), tamaño de los sedimentos (St), acción del viento y las olas (W), velocidad (V), carga de contaminantes de las aguas (Pj), y el ritmo a que crece el nivel del agua al principio del evento.

El monitoreo adecuado de cada uno de estos indicadores de vulnerabilidad está fuera de los alcances de la presente consultoría y de la realidad socioeconómica e institucional que viven países en desarrollo como los del área centroamericana, por lo que es necesario llevar a cabo la interpretación de cada uno de estos indicadores en base a la interpretación de línea de base existente, frecuentemente realizando varios supuestos, y en base a la experiencia del equipo de trabajo. A continuación se reportan los resultados de aplicar la metodología del UNCHS para la evaluación de vulnerabilidades en base a estos indicadores de la amenaza para el área de Santiago Atitlán.

6.3.3.1. Profundidad de inundación (De)

Para evaluar la vulnerabilidad en base a este indicador puede tomarse como referente el mapa de isopacas que fue elaborado para el flujo de lodo que se extendió en el área de Panabaj y Tzanchaj. El espesor medio estimado del flujo es de 1.2m cubriendo un área aproximada de 0.925km^2 lo que proporciona un volumen de lodo de aproximadamente 1 km^3 . Se considera que la población ha sido altamente vulnerable a las profundidades de los flujos generados al grado de que durante el Huracán Stan fallecieron más de 100 personas y se reportan entre 300 y 600 desaparecidos los cuales posiblemente están sepultados por debajo del lodo.

En algunos cortes de carretera puede constatar que los espesores del abanico aluvial, donde están emplazadas las comunidades de Panabaj y Tzanchaj, alcanzan varias decenas de metros lo que evidencia diferentes pulsos de flujos de lodo con diferentes espesores que se han registrado en los últimos años. Es de esperarse que este patrón recurrente de flujos de lodo se repita en el futuro cercano lo que incide en la alta vulnerabilidad a que puedan estar sometidas las personas que decidan continuar viviendo en la zona de alta amenaza. La simulación de caudales elaborada en base a datos de lluvia y la geomorfología de la zona también aporta evidencia de altas profundidades de inundación y por consiguiente del alto grado de vulnerabilidad a que están expuestos los residentes de Panabaj y Tzanchaj.

6.3.3.2. Duración de la inundación (Dt)

Al igual que para el indicador anterior, no se cuenta con un monitoreo de caudales para ninguna de las microcuencas de la zona que permita una caracterización precisa de la vulnerabilidad de las poblaciones en base a la duración de la inundación. Puede inferirse la duración de la inundación en base a la duración de los eventos de lluvia que han sido descritos en el capítulo de hidrometeorología de la zona. Tal y como se describe en ese apartado los datos de la estación del INSIVUMEH para Santiago Atitlán indican que la tormenta manifestó su máxima intensidad en un periodo que duró 4 días, 21 horas y 30 minutos con un valor de lluvia acumulada de 526.4 mm. Debe considerarse adicionalmente que existió una hora específica en la que se reportaron 245mm de lluvia lo que le proporciona características catastróficas al evento registrado el 5 de octubre del 2005.

6.3.3.3. Concentración (Sd) y tamaño (St) de los sedimentos

Al igual que para el caso de caudales, en la zona no se cuenta con un monitoreo de transporte de sedimentos que permita evaluar en detalle la amenaza por flujo de detritos ya sea en términos de duración, intensidad, y/o frecuencia. El talón de Aquiles de cualquier modelo de amenaza por flujo de detritos en el país, y de las vulnerabilidades asociadas con este indicador, lo constituye la falta de este tipo de monitoreos. Sin embargo, en base al mapeo geológico realizado a diferentes escalas y los análisis texturales de sedimentos llevados a cabo puede realizarse inferencias de las vulnerabilidades vinculadas con estos dos indicadores sedimentarios.

El principal flujo de lodo que afectó a Panabaj y Tzanchaj muestra una clara variación textural la cual es dependiente de las distintas fuentes de sedimentos. Los sedimentos que ingresaron por el canal principal de la microcuenca Panabaj Norte son de grano medio a fino mientras que los sedimentos provenientes de Panabaj Sur son pobremente clasificados y de tipo caótico con una alta variación

textural donde clastos de hasta 2m de diámetro aparecen mezclados con arenas, limos y arcillas.

La presencia de unidades litológicas poco consolidadas, sean paleoabánicos aluviales y/o piroclásticos, en las partes altas de las microcuencas del sur de Santiago Atitlán garantiza la continua erosión y subsiguiente generación de una alta concentración de sedimentos de diversos tamaños. Esta carga de sedimentos no solo contribuirá a un mayor desarrollo de abánicos aluviales, los cuales han estado activos por lo menos durante 1,000 años en la parte sur, sino que también a que las poblaciones asentadas en esta provincia geomorfológica sean altamente vulnerables por este tipo de amenaza.

6.3.3.4. Velocidad de flujo (V) y ritmo a que crece el agua al principio del evento (R)

Estos dos indicadores de vulnerabilidad pueden estimarse a partir de las entrevistas realizadas con los pobladores de las comunidades y en base a modelos empíricos descritos en el apartado de hidrometeorología. El relieve montañoso de la zona condiciona la formación de flujos ultrarrápidos cuya velocidad puede inferirse a partir de las pendientes del terreno y del tamaño de los sedimentos que han sido transportados. Por ambas vías es fácil concluir que las velocidades de flujo, en periodos de tormentas como las asociadas con el Huracán Stan, sobrepasan varios metros/segundo lo cual es congruente con las opiniones de los habitantes de Panabaj de que el flujo de lodo que arrasó la comunidad el 5 de octubre del 2005 atravesó la zona en aproximadamente 2 minutos.

De nuevo, la falta de un monitoreo de caudales y/o de niveles de río para la zona impide tener un conocimiento preciso de estos dos indicadores. Sin embargo, la primera aproximación obtenida apoya la hipótesis de que las elevadas velocidades generadas y el alto ritmo con que crece el agua condicionan un ambiente de alta vulnerabilidad particularmente para las comunidades como Tzanchaj residentes en las inmediaciones de los canales fluviales principales, y los cantones de Santiago Atitlán como Pachichaj, Panul, y Chuul, y/o en sectores donde convergen dos canales fluviales como es el caso de Panabaj.

6.3.3.5. Acción del viento/olas (W) y carga de contaminantes (Pj)

Estos dos indicadores de vulnerabilidad que propone el UNCHS, aparte de no estar documentados para la zona, no se consideran relevantes para el entorno de riesgos por flujo de detritos en Santiago Atitlán.

6.3.4. Variables de alerta temprana

Los tres indicadores de vulnerabilidad en términos de alerta que proporciona la metodología del UNCHS son: a) tiempo de alerta aportado (Wt), b) contenido oportuno de la alerta (Wa), y c) recepción de la alerta temprana. Aunque Santiago Atitlán no ha contado con un Sistema de Alerta Temprana formalmente establecido para la prevención de desastres relacionados con flujo de detritos y/u otro tipo de amenaza natural resulta de particular importancia describir el rol de estos indicadores para la gestión de riesgos de la zona y las experiencias reportadas durante el último año.

Aunque de manera informal los servicios de alerta temprana en Santiago Atitlán han estado a cargo de la Estación de Bomberos la cual se tiene conocimiento de que tuvo un rol protagónico durante el Huracán Stan al grado de girar un aviso a la población de Panabaj de que desalojaran la zona por lo intenso de las tormentas aproximadamente 5 horas antes de que se manifestaran los flujos de lodo que ocasionaron el desastre el 5 de octubre del 2005.

El INSIVUMEH cuenta con una estación pluviográfica que tiene un registro de datos de lluvias por 36 años información que muy bien puede ser procesada para aportar bases científicas para el diseño y la posterior implementación de un Sistema de Alerta Temprana. De llegar a formularse este proyecto es importante tomar en cuenta que lo abrupto del relieve de la zona condiciona elevadas velocidades de flujo lo cual puede incidir en la efectividad del Sistema de Alerta Temprana.

Con la entrada del invierno CONRED instaló una estación satelital de lluvia en la zona y de alguna manera ha establecido un sistema permanente de alerta habiendo evacuado a la población de Panabaj y Tzanchaj durante un evento extremo de lluvia el pasado 3 de junio del 2006. Se considera que si se le da continuidad a los esfuerzos de CONRED y finalmente se llega a implementar de manera formal un Sistema de Alerta Temprana en la zona puede reducirse los niveles de vulnerabilidad, en términos de alerta, a rangos sumamente bajos por lo que en las condiciones actuales se considera que la población es moderadamente vulnerable.

6.3.5. Variables de respuesta

Este componente de vulnerabilidad está muy relacionado con el anterior y para su descripción la metodología del UNCHS toma en consideración tres variables: a) tiempo que le toma a los grupos de ayuda en llegar durante o después del evento; b) cantidad de respuesta disponible; y c) calidad de la respuesta. Todos estos son indicadores clave en el manejo de un estado de emergencia, y dependen en buena parte de la existencia un sistema de alerta temprana, de la infraestructura vial terrestre, aérea o lacustre (como en el caso de Santiago Atitlán), para la rápida obtención de respuesta ante un desastre.

Este componente de gestión de riesgos se ha visto fortalecido no solo por la presencia de CONRED en la zona sino por el apoyo que han recibido las comunidades por parte de varias ONGs internacionales que trabajan en Santiago Atitlán. Se considera que mientras dure este apoyo interinstitucional en la zona las vulnerabilidades en términos de respuesta serán bastante bajas. Sin embargo, debido a que la mayoría de proyectos en el país no tienen un buen record de continuidad y seguimiento se considera que las vulnerabilidades pueden evolucionar en el corto plazo a condiciones medias o bajas según el curso de los acontecimientos.

6.4. Análisis Integral de Indicadores para la determinación de la Vulnerabilidad Global en Santiago Atitlán

Al llevar a cabo el análisis de vulnerabilidad se considera apropiado que se cuantifique la vulnerabilidad con propósitos de comparación ya que de este modo puede facilitarse la comparación de necesidades de intervención entre varios sectores, áreas, y/o puntos álgidos (hot spots). Por lo tanto, es recomendable que se desarrolle un índice de vulnerabilidad el cual pueda utilizarse como un instrumento de apoyo de políticas. Un índice se define como un compuesto de más de un indicador. En el proceso de combinar indicadores para formar un índice pueden utilizarse técnicas como sumar, promediar, pesar, y normalizar. En este proceso, pueden asignarse diferentes pesos a indicadores específicos.

Para la evaluación y valoración de vulnerabilidad el UNCHS sugiere el enfoque sectorial antes descrito (debe llevarse a cabo la evaluación de vulnerabilidad para cada sector identificado tal como agua, ecología, asentamientos humanos, infraestructura, etc) y luego pesar e integrar esas evaluaciones en una sola evaluación.

La sección anterior incluyó un análisis de la vulnerabilidad de las comunidades en términos de los diferentes indicadores de vulnerabilidad que sugiere el UNCHS. Con objeto de realizar una evaluación integral de las vulnerabilidades que permita una estimación de la vulnerabilidad global de cada comunidad se han agrupado las variables en una matriz y se ha procedido a realizar las calificaciones y ponderaciones de la siguiente manera.

Para la valoración de los indicadores de vulnerabilidad se seleccionó una escala que varía de 1 a 5 a la cual se le asignaron los siguientes valores de vulnerabilidad: 1. muy baja; 2. baja; 3. moderada; 4. Alta; y 5: Muy alta. Las calificaciones se asignan en base al grado de caracterización que se tenga de cada indicador y a las experiencias de los integrantes del equipo de trabajo que lleva a cabo la evaluación. Los resultados iniciales de esta valoración de indicadores de vulnerabilidad se indica en el Cuadro 6.11.

Como puede observarse a través del análisis individual de los diferentes indicadores de vulnerabilidad puede establecerse plenamente que unos indicadores son más importantes que otros para la determinación final de las vulnerabilidades de cada comunidad. Esta importancia relativa de los indicadores puede someterse a una ponderación específica para enriquecer la valoración global de las vulnerabilidades y de este modo generar una segunda matriz ponderada de vulnerabilidades que se muestra en el Cuadro 6.12.

Los resultados globales de vulnerabilidad obtenidos con esta segunda matriz para cada comunidad permiten observar claramente que tanto Panabaj como Tzanchaj son los dos sectores de mayor vulnerabilidad del municipio.

En función de los datos disponibles puede mostrarse la distribución espacial de algunos indicadores utilizando el SIG. Del mismo modo, cada categoría de indicadores puede integrarse en un índice y mostrarse la distribución espacial del mismo con el SIG. Finalmente, si se considera significativo puede zonificarse la distribución de un índice global de vulnerabilidad (posiblemente pesado en base al significado de cada indicador).

La distribución espacial de las vulnerabilidades ponderadas, así como de otros tipos de infraestructura, en las comunidades referidas se muestra en la Figura 6.15; ésta también responde a la escala semafórica utilizada en los mapas de amenaza, con los valores y colores citados en el Cuadro 6.13.

CUADRO 6.11. MATRIZ PARA EL ANÁLISIS GLOBAL NO PONDERADO DE VULNERABILIDADES EN SANTIAGO ATITLÁN

	Indicador de vulnerabilidad	Santiago Atitlán unidades	Panabaj	Tzanchaj	Pachichaj
Variables socioeconómicas	Perfil de edades de la población	2	2	2	2
	Estado de salud de los habitantes	2	4	4	2
	Ahorros/ingresos de la población	2	5	5	2
	Cohesividad de la comunidad	3	5	5	3
	Conocimiento de la inundación	3	4	4	3
Variables de infraestructura	Susceptibilidad al daño del contenido/tipo de construcción	1	3	3	3
	Tiempo tomado para restaurar la infraestructura	3	3	3	3
	No de pisos/robustez de la construcción	1	1	1	1
Características de la inundación	Profundidad/duración de la inundación	2	5	5	4
	Concentración/tamaño de sedimentos	2	5	4	4
	Velocidad/ritmo del agua	2	5	5	5
Variables de alerta	Recepción/tiempo/contenido de la alerta temprana	1	3	3	1
Variables de respuesta	Tiempo/calidad/cantidad	1	2	2	1
	Calificación no ponderada de la vulnerabilidad total	25	47	46	34

Fuente : Cordillera, 2006

CUADRO 6.12. MATRIZ DE VULNERABILIDAD GLOBAL PONDERADA PARA SANTIAGO ATITLÁN

		Ponderación por unidad	Santiago Atitlán	Panabaj	Tzanchaj	Pachichaj
Variables socioeconómicas	Perfil de edades de la población	0,05	0,1	0,1	0,1	0,1
	Estado de salud de los habitantes	0,05	0,1	0,2	0,2	0,1
	Ahorros/ingresos de la población	0,15	0,3	0,75	0,75	0,3
	Cohesividad de la comunidad	0,15	0,45	0,75	0,75	0,45
	Conocimiento de la inundación	0,05	0,15	0,2	0,2	0,15
Variables de infraestructura	Susceptibilidad al daño del contenido/tipo de construcción	0,025	0,025	0,075	0,075	0,075
	Tiempo tomado para restaurar la infraestructura	0,05	0,15	0,15	0,15	0,15
	No de pisos/robustez de la construcción	0,025	0,025	0,025	0,025	0,025
Características de la inundación	Profundidad/duración de la inundación	0,15	0,3	0,75	0,75	0,6
	Concentración/tamaño de sedimentos	0,15	0,3	0,75	0,6	0,6
	Velocidad/ritmo del agua	0,05	0,1	0,25	0,25	0,25
Variables de alerta	Recepción/tiempo/contenido de la alerta temprana	0,05	0,05	0,15	0,15	0,05
Variables de respuesta	Tiempo/calidad/cantidad	0,05	0,05	0,1	0,1	0,05
	Calificación ponderada de la vulnerabilidad total		2,1	4,25	4,1	2,9

Fuente: Cordillera 2006

CUADRO 6.13. ESCALA SEMAFÓRICA DE LA VULNERABILIDAD

Vulnerabilidad				
Muy alta (5)	Alta (4)	Media (3)	Baja (2)	Muy baja (1)

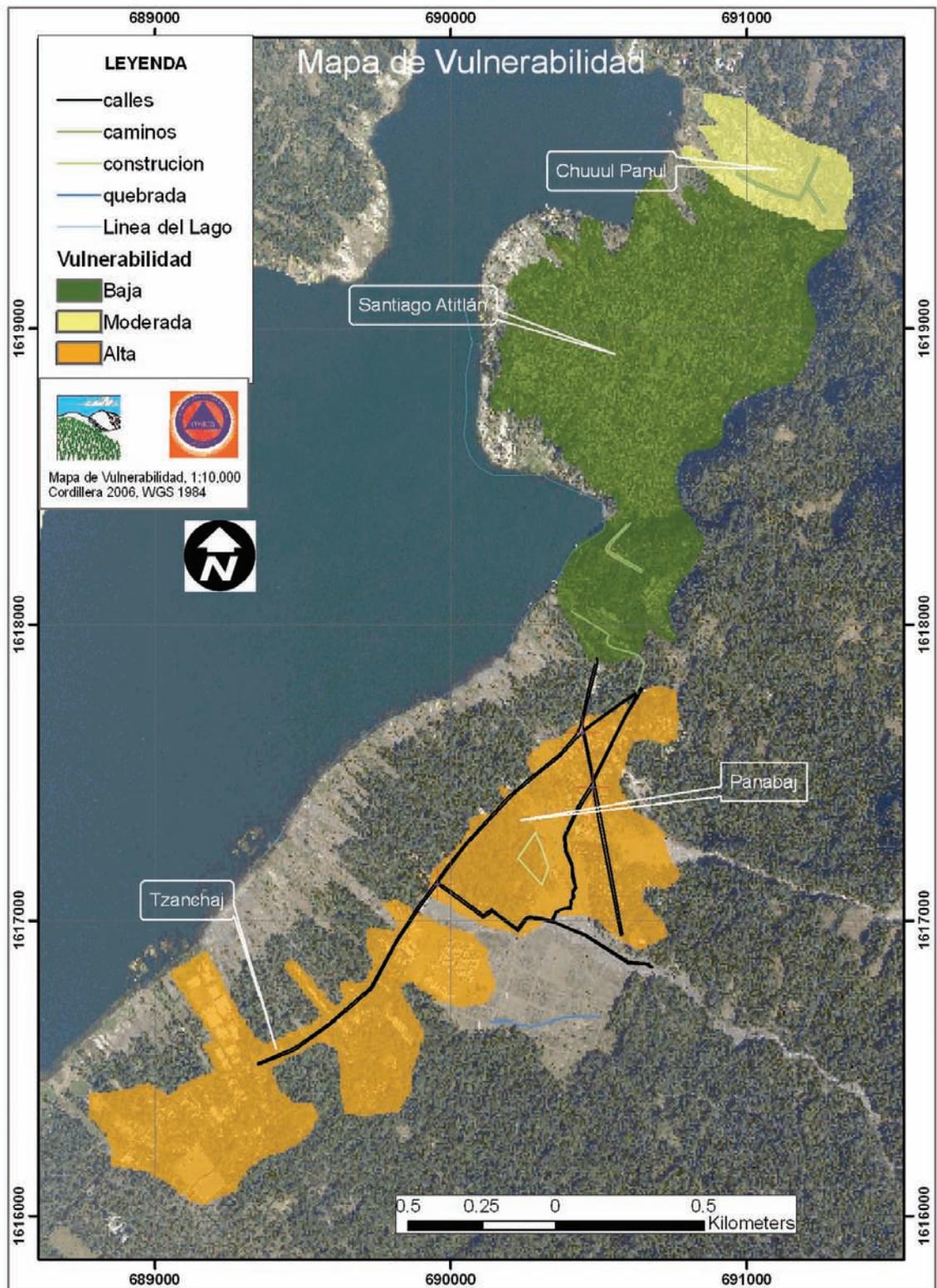


Figura 6.15. Mapa de vulnerabilidades por flujos de lodo en la zona de estudio.

7. CAPITULO VII

Delimitación de Sectores de Alto Riesgo por flujo de detritos

7.1. Integración de amenazas y vulnerabilidades para la delimitación de los sectores de alto riesgo

El Cuadro 7.1 resume las evaluaciones y ponderaciones realizadas haciendo uso del sistema de información geográfica (ArcGis®) para la determinación de la amenaza por flujos de escombros (integración de factores condicionantes y desencadenantes). Por otro lado, las vulnerabilidades descritas en el Capítulo VI, también fueron ponderadas. Las sumatorias totales de las ponderaciones realizadas tanto para la amenaza como para la vulnerabilidad, integradas en mapas temáticos fueron multiplicadas entre sí, para dar como resultado la delimitación de los polígonos de alto riesgo.

CUADRO 7.1 MATRIZ UTILIZADA PARA EL CÁLCULO DE LOS POLÍGONOS DE ALTO RIESGO.

	Variables	Susceptibilidad				
		Muy alta (5)	Alta (4)	Media (3)	Baja (2)	Muy baja (1)
Factores Condicionantes	Elevación topográfica (m.s.n.m.)	2,960 - 3,537	1,960 - 2,360	1,760 - 1,960	1,640 - 1,760	1,560 - 1,640
	Pendientes (grados)	0 - 15	15 - 30	30 - 50	50 - 70	70 - 87
	Aspecto (grados)					
	Geología	Piroclásticos de estratovolcán	Grupo de abanicos aluviales	Flujos de lava y piroclásticos	Intrusivos (granito/granodiorita)	Unidad individual de Flujo L Unidad individual de Flujo Z Unidad individual de Flujo KL Unidad individual de Flujo LK Unidad individual de Flujo K Unidad individual de Flujo SK
	Uso del suelo y cobertura vegetal	Agricultura de maíz, pista de aterrizaje, suelos estériles, pasto natural, hortalizas, campo deportivo, agricultura perenne	Rocas expuestas, construcción, cementerio	Residencial, matorrales	Arbustos matorrales y	Café, bosque
	Factor desencadenante	Lluvia (mm)	2,433 - 2,600	2,100 - 2,433	1,767 - 2,100	1,433 - 1,767
Análisis de vulnerabilidad	Variables: socioeconómicas, infraestructura, carac. De inundación, alerta y respuesta.	Panabaj Tzanchaj	Pachichaj (Chuul, Panul)	Santiago Atitlán		
Análisis de riesgo	Cruce de mapa amenaza - mapa de vulnerabilidad.	Panabaj Tzanchaj	Pachichaj (Chuul, Panul)	Sur de Pachichaj (Chuul, Panul)	Sur de Santiago Atitlán	Santiago Atitlán

Fuente: CORDILLERA 2006

La integración de las variables de amenazas y vulnerabilidades permitió zonificar el riesgo por flujo de detritos para la zona, lo cual se muestra en la imagen fotográfica de la Figura 7.1.