



**UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS GEOLÓGICOS E
HIDROMETEOROLÓGICOS EN LAS COLONIAS VILLA HERMOSA
1 Y 2. MEDIDAS DE MITIGACIÓN**

**JUAN PABLO OLIVA HERNÁNDEZ
ASESORADO POR ING. CARLOS TOBAR JIMÉNEZ**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2003

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS GEOLÓGICOS E
HIDROMETEOROLÓGICOS EN LAS COLONIAS VILLA HERMOSA 1 Y 2.
MEDIDAS DE MITIGACIÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

JUAN PABLO OLIVA HERNÁNDEZ

ASESORADO POR ING. CARLOS TOBAR JIMÉNEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2003

UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. SYDNEY ALEXANDER SAMUELS MILSON
VOCAL I	Ing. MURPHY OLYMPO PAIZ RECINOS
VOCAL II	Lic. AMAHÁN SÁNCHEZ ÁLVAREZ
VOCAL III	Ing. JULIO DAVID GALICIA CELADA
VOCAL IV	Br. KENNETH ISSUR ESTRADA RUÍZ
VOCAL V	Br. ELISA YAZMINDA VIDES LEIVA
SECRETARIO	Ing. PEDRO ANTONIO AGUILAR POLANCO

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. SYDNEY ALEXANDER SAMUELS MILSON
EXAMINADOR	Ing. JULIO ROBERTO LUNA AROCHE
EXAMINADOR	Ing. AUGUSTO RENÉ PÉREZ MÉNDEZ
EXAMINADOR	Ing. JORGE ALBERTO LAM LAN
SECRETARIO	Ing. PEDRO ANTONIO AGUILAR POLANCO

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS GEOLÓGICOS E HIDROMETEOROLÓGICOS EN LAS COLONIAS VILLA HERMOSA 1 Y 2. MEDIDAS DE MITIGACIÓN

Tema que fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil con fecha 24 de octubre de 2001.

Juan Pablo Oliva Hernández

CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	7
GLOSARIO	10
OBJETIVOS	15
RESUMEN	16
INTRODUCCIÓN	17
1 GENERALIDADES.....	19
1.1 Marco conceptual	19
1.1.1 ¿Qué es un estudio de riesgo geológico?	19
1.1.2 Amenazas geológicas e hidrometeorológicas	21
1.1.3 Vulnerabilidad.....	21
1.1.4 Riesgo	21
1.1.5 Prevención	22
1.1.6 Mitigación	22
1.2 Geografía física	22
1.2.1 Departamento de Guatemala	23
1.2.2 Límites departamentales	26
1.3 Caracterización del área de estudio	26
1.3.1 Geografía	27
1.3.2 Ubicación.....	27
1.3.3 Topografía	29
1.3.4 Vías de acceso	30
1.3.5 Clima	32
1.3.6 Geología.....	32
1.4 Análisis socioeconómico	43
1.5 Hidrografía.....	44
2 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN EXISTENTE	51
2.1 Inundación.....	51
2.1.1 Inundación por desborde.....	53
2.1.2 Inundación por encharcamiento	59
2.2 Sismicidad	60
2.3 Vulcanismo	64
2.4 Deslizamientos	67
3 EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN	71
3.1 Evaluación del riesgo por inundación	71
3.2 Evaluación de riesgo sísmico	75

3.3	Evaluación del riesgo volcánico.....	79
3.4	Evaluación de riesgo por deslizamiento	82
4	MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN	93
4.1	Prevención y mitigación del riesgo por inundación.....	94
4.1.1	Medidas no estructurales inundación por desborde	94
4.1.2	Medidas estructurales inundación por desborde	95
4.1.3	Medidas no estructurales inundación por encharcamiento	96
4.1.4	Medidas estructurales inundación por encharcamiento	97
4.2	Prevención y mitigación del riesgo sísmico	97
4.2.1	Medidas no estructurales prevención y mitigación de riesgo sísmico	98
4.2.2	Medidas estructurales de prevención y mitigación de riesgo sísmico	99
4.3	Prevención y mitigación de riesgo volcánico	100
4.3.1	Medidas no estructurales para la prevención y mitigación de riesgo volcánico	101
4.3.2	Medidas estructurales para la prevención y mitigación de riesgo volcánico	101
4.4	Prevención y mitigación de riesgo por deslizamiento	102
4.4.1	Medidas no estructurales para la prevención y mitigación de riesgo por deslizamiento	102
4.4.2	Medidas estructurales para la prevención y mitigación de riesgo por deslizamiento	103

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Ubicación del área de estudio	10
2	Mapa de curvas de nivel del área de influencia.....	13
3	Posición geotectónica de Guatemala	15
4	Mapa geológico de la cuenca del río Pinula	19
5	Mapa geomorfológico del área de influencia	22
6	Columna estratigráfica de los alrededores del área en estudio.....	24
7	Afluentes que alimentan el río Pinula	28
8	Isoyetas de precipitación año seco 1972.....	29
9	Isoyetas de precipitación año húmedo 1973	
10	Ubicación del río Pinula y sus afluentes	31
11	Ubicación de las zonas de inundación en el área en estudio	34
12	Precipitación anual con su año respectivo	37
13	Sección transversal del canal y sus características geométricas	39
14	Fallamientos en el área de influencia	45
15	Ubicación de las fuentes volcánicas de influencia para el área de estudio.....	48
16	Mapa de pendientes en el área en estudio.....	52
17	Mapa de riesgo por inundación por desborde y encharcamiento en las colonias Villa Hermosa 1 y 2.....	56
18	Mapa de zonificación sísmica para Guatemala	58
19	Mapa de riesgo producto de efectos secundarios a la sismicidad.....	60

20	Amenaza volcánica por caída de ceniza	63
21	Mapa de estimación del relieve relativo (Rr) para las colonias Villa Hermosa 1 y 2	70
22	Mapa de amenaza por deslizamiento en las colonias Villa Hermosa 1 y 2	73
23	Descripción de un talud típico.....	86

TABLAS

I.	Valores de pérdidas estimadas para diferentes tipos de desastres.....	2
II.	Prioridad de ocurrencia de amenaza	2
III.	Municipios del departamento de Guatemala, con su respectiva altura y ubicación geográfica	6
IV.	Montañas en el departamento de Guatemala y su altura	6
V.	Cuencas y subcuencas del valle de Guatemala	7
VI.	Precipitación promedio por año en milímetros estación INSIVUMEH .	27
VII.	Precipitación promedio por año en milímetros estación INSIVUMEH .	36
VIII.	Caudales esperados según el método de análisis regional de crecidas	38
IX.	Clasificación de los sismos	44
X.	Clasificación resumida de los movimientos de laderas	49
XI.	Características de los movimientos de laderas	50
XII.	Rango de pendiente de talud con la cantidad en que aparecen en la zona de influencia de las colonias Villa Hermosa 1 y 2	51
XIII.	Sectores afectados por inundación por desborde	54
XIV.	Sectores afectados por inundación por encharcamiento.....	55
XV.	Clasificación de los valores de relieve relativo y los valores paramétricos asignados	65

XVI.	Índice litológico y los calificativos respectivos	65
XVII.	Clasificación de los promedios mensuales de la precipitación	66
XVIII.	Índice humedad del suelo y los calificativos respectivos	66
XIX.	Calificación del factor sismicidad (S)	67
XX.	Clasificación de los valores de lluvias intensas y los valores paramétricos asignados	68
XXI.	Clasificación de la amenaza de remociones en masa	69
XXII.	Clasificación de relieve relativo según Mora y Varhson modificado	71
XXIII.	Clasificación de valores según promedio mensual en la estación INSIVUMEH	71
XXIV.	Resultados del análisis de amenaza pro remociones de masa	72
XXV.	Aceleraciones esperadas respecto a la probabilidad de excedencia ..	82

GLOSARIO

Afluentes	Corrientes de agua que se unen a una corriente o río principal.
Cohesión	Característica de los suelos que hace que sus partículas constituyentes permanezcan más o menos unidas, ante los esfuerzos.
Cualitativo	Se refiere a las cualidades o características que presenta un cierto objeto.
Cuantitativo	Se refiere a la cuantificación de una determinada característica de un objeto.
Cuenca hidrográfica	Área que es drenada por una corriente principal y sus afluentes, está limitada por los puntos altos que la rodean.
Deslizamiento	Desplazamiento de material de una ladera o talud, provocado por diferentes factores.
Fallamiento	Fracturas o discontinuidades que presentan los cuerpos de roca, las cuales son provocadas por diferentes procesos geológicos.

Epicentro	Proyección en la superficie de la tierra, del punto en profundidad donde se produce un sismo.
Erosión	Desprendimiento de material de la superficie de la tierra por agentes tales como el agua, viento y hielo.
Escarpe	Forma vertical o casi vertical del terreno provocado por el desplazamiento de una falla geológica.
Esorrentía superficial	Es el agua que corre por la superficie del terreno a través de ríos y quebradas como consecuencia de las lluvias.
Estratigrafía	Secuencia de estratos o capas de roca en una región determinada.
Falla	En geología, es la ruptura del terreno provocada por diferentes tipos de esfuerzos que actúan en la corteza terrestre.
Fuentes eruptivas	Lugares de la tierra llamados cráteres por donde brotan materiales sólidos, líquidos y gaseosos.
Geología	Ciencia natural que estudia la tierra.
Geomecánica	Estudia el comportamiento de los materiales de la tierra cuando éstos son sometidos a diferentes tipos de esfuerzos.

Georeferencia	Localización de uno o más puntos por medio de coordenadas.
Grabén	Depresión alargada limitada a lo largo por sistemas de fallas normales.
Granulometría	Diferentes tamaños y proporciones de los fragmentos constituyen una capa compuesta por material granular.
Hidrológica	Lo relacionado con el ciclo del agua.
Hipocentro	Punto en el subsuelo donde se produce un sismo o terremoto, generando ondas.
Homogéneo	Que tiene una composición igual o similar en todo su volumen.
Infiltración	Cuando el agua superficial penetra dentro de los poros de suelos y rocas para recargar acuíferos.
Intemperismo	Proceso por el cual las rocas son degradadas, por agentes atmosféricos.
Ladera	Declive de un monte o de las paredes de un valle.
Licuefacción	Transformación de suelos granulares saturados y poco consolidados, por ejemplo arena, en una masa con propiedades de un líquido o fluido debido a la vibración del terreno causada por un sismo.

Litología	Características químicas y mineralógicas de las rocas.
Magma	Material fundido que se encuentra dentro de la corteza terrestre.
Magnitud de Richter	En sismología es la cantidad de energía liberada por un terremoto.
Mitigación	Se refiere a las obras o medidas preventivas para minimizar el efecto de los eventos naturales sobre las personas y sus pertenencias.
Morfodinámica	Se refiere al efecto que tiene la dinámica de la tierra en la configuración de las formas del terreno.
Nivel freático	Nivel a que se encuentra el agua subterránea en el subsuelo.
Piroclastos	Material sólido roto por el fuego y eruptado por los volcanes.
Placa tectónica	Fragmento de la corteza terrestre, puede ser oceánico o continental, que se mueve en una dirección definida.
Precipitación	Se refiere a la caída de agua en cualquiera de sus formas sobre la superficie de la tierra.
Retaludamiento	Dar una nueva configuración o pendiente a un talud ya elaborado.

Saturación	Cuando el agua penetra dentro de los poros de una capa de roca.
Sismo	Vibración del terreno provocada por el desplazamiento de una falla geológica.
Subdrenaje	Consiste de sistemas de tubos ubicados dentro del suelo para facilitar el excedente de agua que satura una capa determinada de roca.
Subducción	Proceso por el cual la corteza oceánica se introduce debajo de la corteza continental, en el caso de Guatemala, la placa de Cocos se subduce bajo la placa del Caribe.
Talud	Pendiente natural o artificial de una ladera o de un corte

OBJETIVOS

General

1. Determinar los riesgos geológicos e hidrometeorológicos en las colonias Villa Hermosa 1 y 2.

Específicos

1. Determinar e identificar las zonas de riesgo dentro de las colonias Villa Hermosa 1 y 2.
2. Analizar y comprender las causas que provocan los riesgos geológicos e hidrometeorológico en las colonias Villa Hermosa 1 y 2.
3. Proponer opciones enfocadas a la mitigación de los riesgos.

RESUMEN

Riesgo es la suma de amenaza y la vulnerabilidad aplicada a las colonias Villa Hermosa 1 y 2. Los riesgos geológicos para el área en estudio son la sismicidad y la vulcanología. La sismicidad esta definida como una amenaza debido a las numerosas fuentes cercanas, sumado a lo vulnerable de las construcciones hace de las colonias un lugar de alto riesgo sísmico. La vulcanología en el área es un aspecto de bajo riesgo para las colonias en estudio.

Los riesgos hidrometeorológicos son causados por las lluvias, provocando inundaciones. Estas en el área estudiada pueden ser por desborde del río Pinula y un canal de desagüe, o por encharcamiento en lugares con drenaje deficiente. El descontrol en la disposición de desechos y la mala planificación contribuyen a empeorar la situación.

Otro aspecto importante es el riesgo a deslizamientos. La topografía de la colonia, definida por dos niveles de planicie, el primero con un desnivel promedio de 25 metros sobre el segundo. La diferencia de altura define pequeños barrancos, los cuales pueden deslizarse como consecuencia de un evento hidrometeorológico o sísmico. El método que se utilizo para el análisis de deslizamientos fue el propuesto por Mora y Varhson en 1993.

INTRODUCCIÓN

El presente estudio está elaborado con el fin de que sea tomado en cuenta en decisiones al nivel de municipalidad y otros sectores interesados. Por lo cual fue escrito pensando en el lector, utilizando un lenguaje sencillo para personas con conocimientos básicos de evaluación y prevención de riesgos geológicos.

El estudio está dividido en 4 segmentos principales. Se inician con una visión general desde el punto de vista conceptual, se definen los elementos básicos necesarios para orientar al lector en cuanto al marco teórico y describiendo el área en estudio. Es de hacer notar que para una mayor comprensión se han tomado las definiciones más sencillas y difundidas en el medio.

Se procede luego a la descripción de la situación existente, capítulo que se considera vital ya que aquí se visualizan todos los aspectos determinantes en la problemática geológica de la colonia Villa Hermosa.

En el capítulo siguiente se hace la evaluación y zonificación de los siguientes aspectos geológicos e hidrometeorológicos:

- ✓ **Inundación**
- ✓ **Sismicidad**
- ✓ **Vulcanología**
- ✓ **Deslizamientos**

Aspectos que forman parte de la realidad hidrogeológica que se vive en las colonias Villa Hermosa 1 y 2.

Finalmente se cuenta con un capítulo dedicado a la prevención y mitigación de los aspectos antes mencionados. El análisis de este capítulo se realizó tomando el criterio de dividir las posibles soluciones en no estructurales y estructurales. Las medidas no estructurales involucran directamente a la población en la solución de su problemática mediante políticas que lleven al bienestar colectivo. Las medidas estructurales son soluciones de índole técnico, en las que intervienen personal calificado y especializado en el tema de la prevención de desastres. Es en este aspecto es donde radica la importancia del presente estudio.

Para finalizar se enfatiza el deseo del autor de que el presente estudio contribuya con el desarrollo seguro de esta zona.

1 GENERALIDADES

1.1 Marco conceptual

1.1.1 ¿Qué es un estudio de riesgo geológico?

Estudia las variables geológicas que afectan el área de interés, con el objetivo de determinar cuál es el grado de riesgo que presenta el área en estudio pudiendo desde ésta perspectiva proponer medidas de prevención y mitigación eficientes al momento de concluido el estudio.

Además de lo ya expuesto, un estudio de riesgo geológico es una herramienta para la planificación urbana pudiendo definir de una manera eficiente y segura geológicamente áreas urbanas, comerciales, industriales, áreas verdes y de recreo; entre otras aplicaciones que se tienen para el estudio de riesgos geológicos, en caso de emergencia permite tomar la decisión óptima en lo referente a sitios más seguros para la ubicación de instalaciones estratégicas tales como albergues, hospitales, etc..

La importancia de los estudios de riesgo geológico para áreas determinadas radica en la visión que puede darle tanto a investigadores como a los encargados de tomar decisiones y la comunidad estudiada del grado de peligro en el que se encuentran, pudiendo desde esta panorámica tomar la decisión más acertada.

En Guatemala las amenazas naturales combinado con la alta vulnerabilidad han causado pérdidas irreparables tanto humanas como materiales. Algunas de estas pérdidas se hubieran podido evitar o minimizar si se hubiera evaluado el riesgo y se hubieran tomado las decisiones adecuadas, lo cual justifica los estudios de riesgo. En las tablas I y II se muestran los valores de pérdidas respecto del tipo de desastre y la priorización de las amenazas naturales respecto a los países centroamericanos respectivamente.

Tabla I. Valores de pérdidas estimadas para diferentes tipos de desastre

TIPOS DE DESASTRE	MUERTES	PÉRDIDAS (millones de dolares)
Inundaciones y Huracanes	6,054	1,896
Sequía, Granizo y Frentes Fríos	No datos	163
Terremotos y Erupciones Volcánicas	33,500	6,453
TOTAL	39,554	8,512

Fuente: Hernández F. Edgar. **EI DEPREDENAC y el proceso de reducción de desastres naturales en el sector energía.** Pag. 7

Tabla II. Prioridad de ocurrencia de amenaza

AMENAZA	Guatemala	El Salvador	Honduras	Nicaragua	Costa Rica	Panamá
Terremotos	1	1	3	1	3	5
Inundaciones	3	2	1	2	1	1
Deslizamientos	2	4	2	4	2	4
Erup. Volcánicas	4	5	n.d.	3	4	n.d.
Sequías	n.d.	3	4	5	5	4

Fuente: Hernández F. Edgar. **EI DEPREDENAC y el proceso de reducción de desastres naturales en el sector energía.** Pag. 8

1.1.2 Amenazas geológicas e hidrometeorológicas

Evento o fenómeno que puede causar daños. Las amenazas geológicas e hidrometeorológicas se pueden clasificar como:

- ✓ **De consecuencias directas:** Se refiere a fenómenos que tienen la capacidad de causar daños por sí mismo. Dentro de estos fenómenos podemos encontrar los sismos, huracanes y actividad volcánica.
- ✓ **De consecuencias indirectas:** se refiere a fenómenos que son desencadenados por otros fenómenos de consecuencia directa. Dentro de los fenómeno que causan amenaza indirecta se pueden nombrar los movimientos de masa, inundaciones y ráfagas de viento.

1.1.3 Vulnerabilidad

Es la susceptibilidad que una comunidad sea afectada por algún fenómeno, expresada en su incapacidad para absorber, mediante el autoajuste, los efectos de un determinado cambio en su medio ambiente.

1.1.4 Riesgo

Esta definido como la suma de la amenaza más la vulnerabilidad. El riesgo toma en cuenta la decisión del individuo o la comunidad respecto de la amenaza que asecha, siendo esta decisión un factor fundamental en el grado de exposición al riesgo.

1.1.5 Prevención

Es el conjunto de medidas encaminadas a la reducción del riesgo, disminuyendo la vulnerabilidad mediante el análisis de las amenazas que podrían llegar a afectar un área determinada.

1.1.6 Mitigación

Es el conjunto de acciones encaminadas a disminuir el daño producto de un fenómeno natural durante y después de que éste ha ocurrido, estas pueden variar, pero de la manera más general. Se dividen en:

- ✓ **Medidas estructurales**
- ✓ **Medidas no estructurales**

1.2 Geografía física

Guatemala, país de América Central. Se encuentra ubicado en medio de dos océanos al sur se tiene el océano Pacífico, al noroeste se tiene el océano Atlántico. Al este colinda con México y al oeste con Belice, Honduras y El Salvador. Se encuentra ubicado entre los meridianos 86°30' y 92°13', y los paralelos 13°40' y 18°30', al oeste del meridiano de Greenwich.

Guatemala cuenta con 22 departamentos, los cuales gozan de diversidad de climas y por lo tanto la producción agrícola es variada. Su riqueza cultural es amplia, la cual cuenta con veintitrés culturas diferentes con igual número de idiomas, entre los que se pueden mencionar los idiomas mayas como el quiché, kakchiquel, kekchi, mam, entre otros. Además el idioma garífuna y el idioma español, idioma oficial.

1.2.1 Departamento de Guatemala

El departamento de Guatemala se divide en diecisiete municipios. Cada municipio posee características diferentes en cuanto a cultura, condiciones climáticas y geográficas. En la tabla III, se describe altura y posición geográfica de los municipios del departamento de Guatemala.

Tabla III. Municipios del departamento de Guatemala, con su respectiva altura y ubicación geográfica

Municipio	Altitud (msnm)	Latitud	Longitud
Guatemala	1498	14°28'40"	90°37'05"
Petapa	1285	14°30'05"	90°37'05"
Villa Canales	1215	14°28'55"	90°32'00"
Raimundo	1570	14°45'55"	90°35'45"
Palencia	1340	14°40'05"	90°21'25"
Amatitlán	1189	14°28'40"	90°37'05"
Villa Nueva	1330	14°31'05"	90°35'15"
Chuarrancho	1350	14°49'10"	90°30'45"
Fraijanes	1630	14°27'45"	90°26'25"
Mixco	1789	14°40'05"	90°21'25"
San José del Golfo	930	14°45'35"	90°22'20"
San José Pinula	1752	14°32'45"	90°24'45"
Santa Catarina Pinula	1550	14°34'15"	90°29'45"
San Pedro Sacatépequez	2104	14°41'05"	90°38'30"
San Juan Sacatépequez	1845	14°43'00"	90°38'35"
Chinautla	1220	14°42'00"	90°30'05"
San Pedro Ayampuc	1660	14°46'40"	90°27'10"

El departamento de Guatemala está atravesado por numerosos accidentes geográficos. Teniendo un departamento con una topografía variable que va desde valles importantes en extensión a montañas que rebasan los dos mil doscientos metros sobre el nivel del mar. En la tabla IV se muestran las montañas más importantes del departamento de Guatemala, categorizadas por su altura.

Tabla IV. Montañas en el Departamento de Guatemala y su altura

NOMBRE MONTAÑA	ALTURA
Montaña Carmona	2,500
Montaña El Colorado	2,400
Sierra Palencia	2,400
Montaña Oscura	2,200
Montaña Las Nubes	2,000

Fuente: hojas 2059-I Ciudad de Guatemala y 2159-IV San José Pinula

La hidrografía del departamento de Guatemala denota dos vertientes principales una la del Pacífico y la otra la del Caribe. La divisoria de aguas parte el Valle de la Ciudad de Guatemala transversalmente en dirección aproximada Este-Oeste, dando al valle características particulares en las dos vertientes.

En la tabla V se muestra los nombres, puntos de referencia y extensión superficial de las cuencas y sub-cuencas del valle de la ciudad de Guatemala.

Tabla V. Cuencas y subcuencas del Valle de Guatemala

SUBCUENCAS DEL RÍO MICHATOYA		
SUBCUENCA	PUNTO REFERENCIA	SUPERFICIE Km²
Río El Molino	Puente Molino	43.94
Río San Lucas	Punto confluencia/río Molino	46.52
Río Parrameño	Punto confluencia/río Villalobos	16.21
Río Villalobos	Estación Piloto	148.55
Río Pinula	Estación aforo Piloto	46.52
Río Las Minas	Estación aforo las Mercedes	36.19
Río Platanitos	Punto confluencia/ río Villalobos	60.34
Río Tulujá	Estación Tulujá	11.66
Río El Bosque	Estación La Gasolinera	6.72
Río Villalobos	Estación el Cementerio	313.44
Lago Amatitlán	Estación Compuertas INDE	83.79
Laguna Calderas	Cuenca Cerrada	5.74
Río Michatoya	Estación Las Hamacas	86.38
Río Michatoya	Estación Palín	188.16
SUBCUENCAS DEL RÍO LAS VACAS		
SUBCUENCA	PUNTO REFERENCIA	SUPERFICIE Km²
Río El Zapote	Estación El Zapote/carretera	72.62
Río Chinautla	Estación Jocotales	46.17
Río Tzajá	Estación Primavera	36.12
Río Las Vacas	Estación de aforo Jocotales	59.08

Fuente: Muñoz P, Carlos E y otros. **Estudio de Aguas Subterráneas para el valle de la Ciudad de Guatemala**. Pag. 77

1.2.2 Límites departamentales

El departamento de Guatemala se encuentra ubicado en la latitud 14°38'30" longitud 90°30'50". Colinda al norte con el departamento de Baja Verapaz. Al sur con los departamentos de Escuintla y Santa Rosa. Al oeste con los departamentos de Chimaltenango y Sacatepéquez. Al este con El Progreso y Jalapa.

1.3 Caracterización del área de estudio

El área de estudio comprende las colonias Villa Hermosa 1 y 2 en jurisdicción municipal de San Miguel Petapa. En la zona existe un desarrollo urbanístico considerable. En el ámbito institucional, las colonias Villa Hermosa 1 y 2 cuentan con:

- ✓ Alcaldía auxiliar de Petapa
- ✓ Una sub-estación de bomberos municipales
- ✓ Una delegación de la policía nacional civil
- ✓ Cuatro escuelas públicas
- ✓ Un mercado municipal.

Además, por parte de la iniciativa privada se cuenta con numerosos colegios, comercios, servicios básicos y suntuarios.

El área de estudio es atravesada por el río Pinula, este río es uno de los desagües de la ciudad de Guatemala. El río Pinula es un ramal del río Villalobos, el cual a su vez desemboca en el lago de Amatitlán. El lago de Amatitlán es un importante recurso natural que en la actualidad sufre un acelerado deterioro, a causa de la intensa contaminación.

A continuación se presenta la figura 1 en la cual se ve la división por sectores observándose aquí la localización de los canales que recorren las colonias Villa Hermosa 1 y 2.

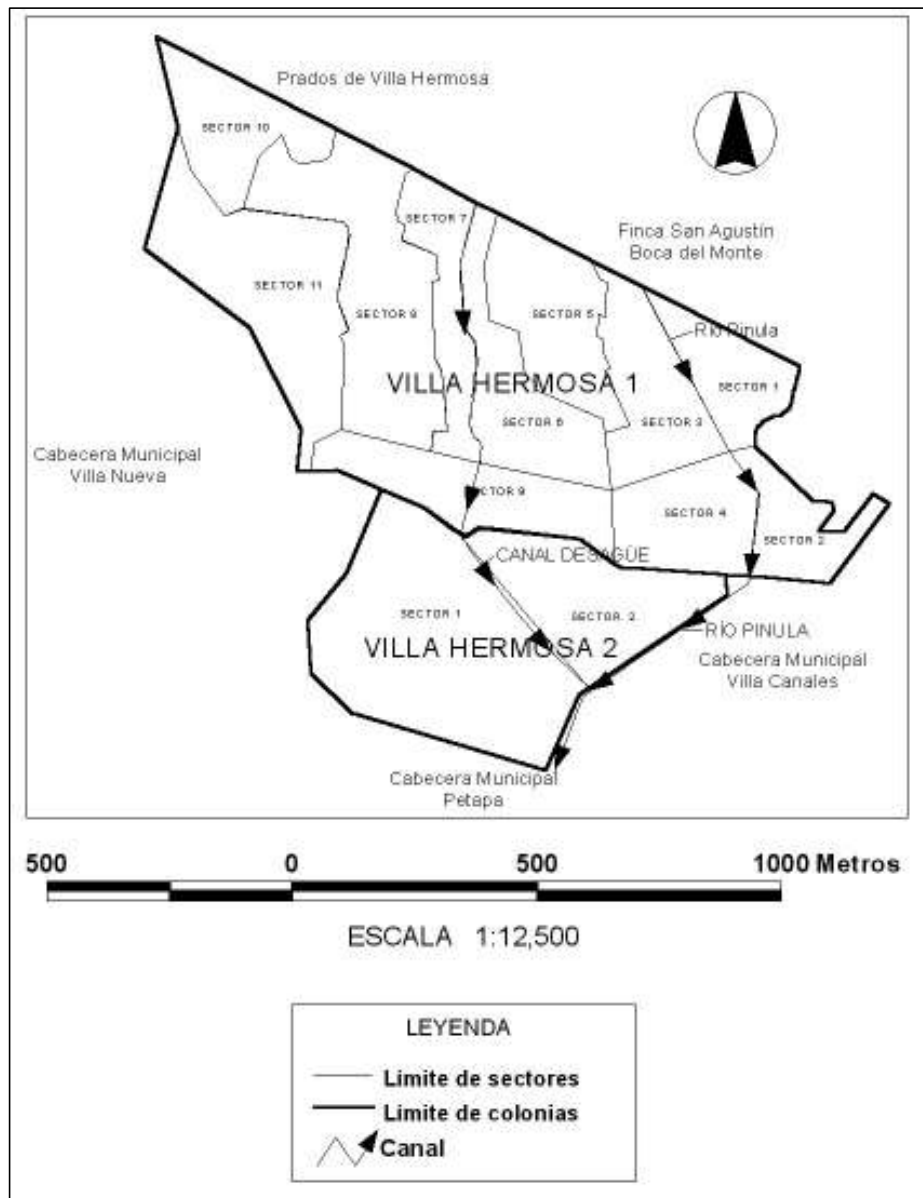
1.3.1 Geografía

Las colonias Villa Hermosa 1 y 2 están ubicadas en la coordenada 1607000mN y 765000mE con una extensión territorial de 1.75 Km². La colonia Villa Hermosa 1 cuenta con once sectores y la colonia Villa Hermosa 2 con dos. La colindancia entre las dos colonias la definen los sectores cuatro y nueve de la colonia Villa Hermosa 1 y el sector uno y dos de Villa Hermosa 2. El área en estudio es atravesada por el río Pinula y un desagüe de aguas negras ambos recorren las colonias en dirección norte sur.

1.3.2 Ubicación

El área de estudio son las colonias Villa Hermosa 1 y 2, las cuales limita al norte con la finca San Agustín aldea Boca del Monte jurisdicción del municipio de Villa Canales y la colonia Prados de Villa Hermosa. Al sur con la cabecera municipal de San Miguel Petapa, al este con la cabecera municipal Villa Nueva y al oeste con la cabecera municipal de Villa Canales. En la figura 1 se presenta dichas colindancia.

Figura 1. Ubicación del área de estudio



1.3.3 Topografía

El análisis topográfico para este estudio se realizó primero haciendo una descripción regional en el ámbito de cuenca y luego del área de estudio. La cuenca sobre la cual se realizó el estudio fue la cuenca del río Pinula, ya que influye directamente sobre las colonias Villa Hermosa 1 y 2.

La cuenca del río Pinula, presenta una topografía variable predominando pequeños cañones poco profundo probablemente producto de la erosión y otros fenómenos de tipo geológico. En su parte montañosa la cuenca alcanza elevaciones superiores a los mil novecientos metros sobre el nivel del mar. En la parte baja la altura varía entre mil doscientos y mil trescientos metros sobre el nivel del mar.

La cuenca del río Pinula incluye parte de la región sur del valle de la ciudad de Guatemala, presentando en este lugar poca pendiente, con una elevación de mil quinientos metros sobre el nivel del mar. En la figura 2 se muestran los rasgos topográficos de la cuenca del río Pinula y el área de influencia.

Las colonias Villa Hermosa 1 y 2 se encuentran localizadas en gran parte en un pequeño valle. Por tanto, se encuentra delimitado en su parte baja por laderas de alta pendiente.

La topografía general del área en estudio está dividida en dos escalones. La parte alta, con alturas de hasta mil doscientos cincuenta metros sobre el nivel del mar, correspondiendo a los sectores cinco, siete, diez y once de la colonia Villa Hermosa uno. El segundo escalón es la parte correspondiente a los sectores uno, dos, tres, cuatro, seis, ocho y nueve de Villa Hermosa uno y los sectores uno y dos de Villa Hermosa dos, estando éste en una altura aproximada de mil doscientos metros sobre el nivel del mar.

Se destaca que en estos dos escalones bien definidos las pendientes dentro de cada escalón, no son tan graves, observándose pendientes no mayores a los quince grados. Sin embargo, entre escalones se forman barrancos con pendientes que varían de treinta a noventa grados sobre la horizontal. Observándose taludes hasta de treinta metros.

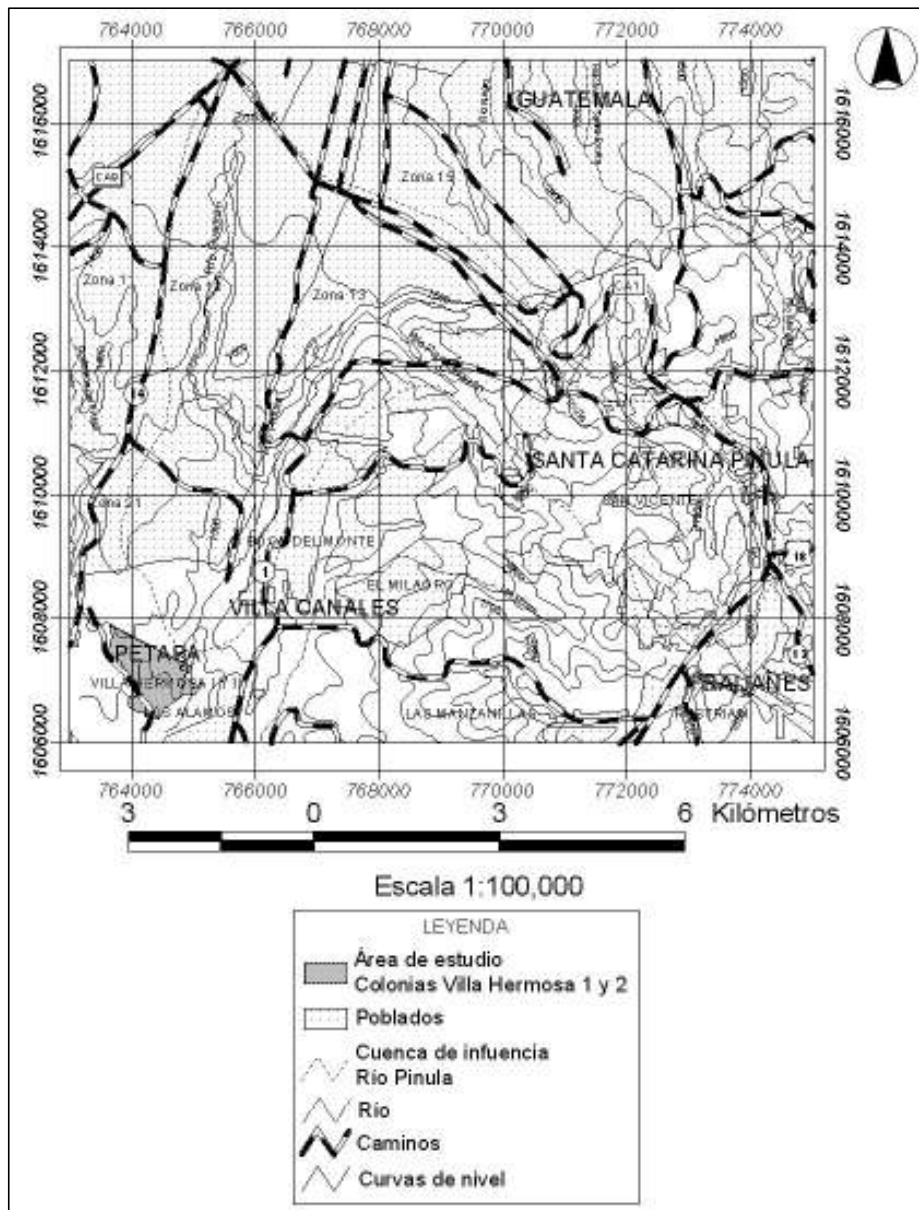
1.3.4 Vías de acceso

El acceso a la colonia Villa Hermosa se hace a través de la carretera departamental número uno avenida, Hincapie zona 13, la cual recorre la aldea Boca del Monte; al llegar al kilómetro 16 se vira hacia la derecha.

Otra vía de acceso es a través de la avenida Petapa. Dicha arteria comunica con la carretera departamental número catorce. Esta ruta transita en el límite de las colonias Venezuela, Nimajuyú y Ciudad Real.

El acceso a la cabecera municipal se hace a través de la carretera que comunica la departamental número catorce y la carretera 2N.

Figura 2. Mapa de curvas de nivel del área de influencia



1.3.5 Clima

La situación climática del municipio San Miguel Petapa es predominantemente cálido con alta concentración de humedad. En lo referente a las colonias Villa Hermosa 1 y 2, se presenta una sensible disminución de humedad con respecto a la cabecera municipal.

En el área de estudio se distinguen dos estaciones marcadas con sus respectivas variantes. La época seca se presenta del mes de noviembre al mes de abril y la época de lluvias que corresponde a los meses de mayo a octubre.

La precipitación media anual es de mil trescientos milímetros.

En la época seca se presentan temperaturas promedio de 24 grados centígrados, con una humedad promedio de treinta y cinco por ciento.

1.3.6 Geología

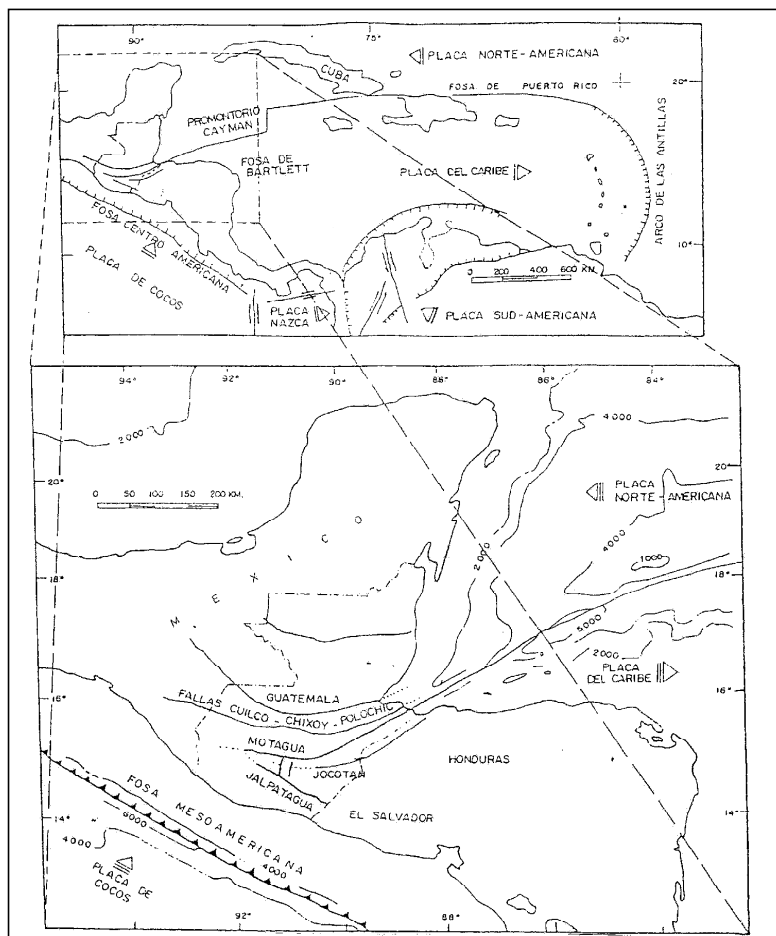
El aspecto geológico en este estudio es enfocado tanto a nivel regional como local.

1.3.6.1 Geología regional

Guatemala tiene condiciones geológicas especiales. Por su ubicación convergen tres placas tectónicas, las cuales son:

- ✓ Placa de Cocos
- ✓ Placa del Caribe
- ✓ Placa de Norteamérica

Figura 3. Posición geotectónica de Guatemala



Definiéndose frente a la costa sur en el litoral del Pacífico, la zona de subducción. En este lugar la placa de Cocos subduce bajo la placa del Caribe, en esta zona se produce una sismicidad profunda, con un potencial sísmico alto. Característica de la zona de subducción es la cadena volcánica, paralela a la zona de subducción a ciento cincuenta kilómetros aproximadamente de la fosa. Encontrándose vulcanismo activo, ver figura 3.

A lo largo de los ríos Motagua y Polochic-Chixoy se encuentra la zona de transcurrencia. Interactuando aquí las placas de Norteamérica y la placa del Caribe, sistema denominado falla del Motagua-Polochic. Producto de la actividad de este sistema se tiene una sismicidad de alta peligrosidad.

Como dato relevante el terremoto de Guatemala en 1976 que provocó aproximadamente 20,000 víctimas fatales y numerosos daños materiales, se produjo en la falla del Motagua.

Debido a la compleja situación tectónica en Guatemala la petrografía es variable, teniéndose definidas tres zonas donde se encuentran los tipos fundamentales de rocas, son estas:

- ✓ **Igneas:** localizando estas rocas en la meseta central y la cordillera volcánica.
- ✓ **Sedimentarias:** localizadas en la parte norte del país y al norte de la cordillera central.
- ✓ **Metamórficas:** localizadas en parte noroccidental del país así como en la parte sur de la cordillera central.

1.3.6.2 Geología local

Para la descripción de la geología local se procede primero a la interpretación estructural de la cuenca; seguidamente se describe la litología de la cuenca. Adicionalmente se presenta gráficamente los detalles geológicos trascendentes en la figura 4.

La cuenca del río Pinula, está ubicado al sureste del graben de ciudad de Guatemala. Dentro de esta cuenca se encuentra el sistema de fallas activo de tipo normal denominado Pinula, con una orientación predominante norte sur. Marcando la cuenca con una morfología característica de falla normal.

A un kilómetro del área de estudio se encuentra la falla del Frutal. Este fallamiento estuvo intensamente activo en el año 1989, con un enjambre sísmico alarmando a la población del área sur de la ciudad de Guatemala, Villa Nueva y Petapa.

Además en la fotointerpretación de la cuenca se encontraron varios fallamientos con orientación paralela a la falla de Pinula. Entre estos el río Pinula circula en un tramo considerable con una orientación bien definida de norte a sur, se sospecha un fallamiento en esta zona. El río Guadrón tienen una alineación predominante de norte a sur, también se sospecha una debilidad o fractura geológica, ver figura 4.

A continuación se presenta la descripción de las unidades litológicas que se pueden encontrar dentro de la cuenca en estudio; extractado del mapa geológico escala 1:50,000 hojas 2059I-G y 2159IV-G, ver figura 4.

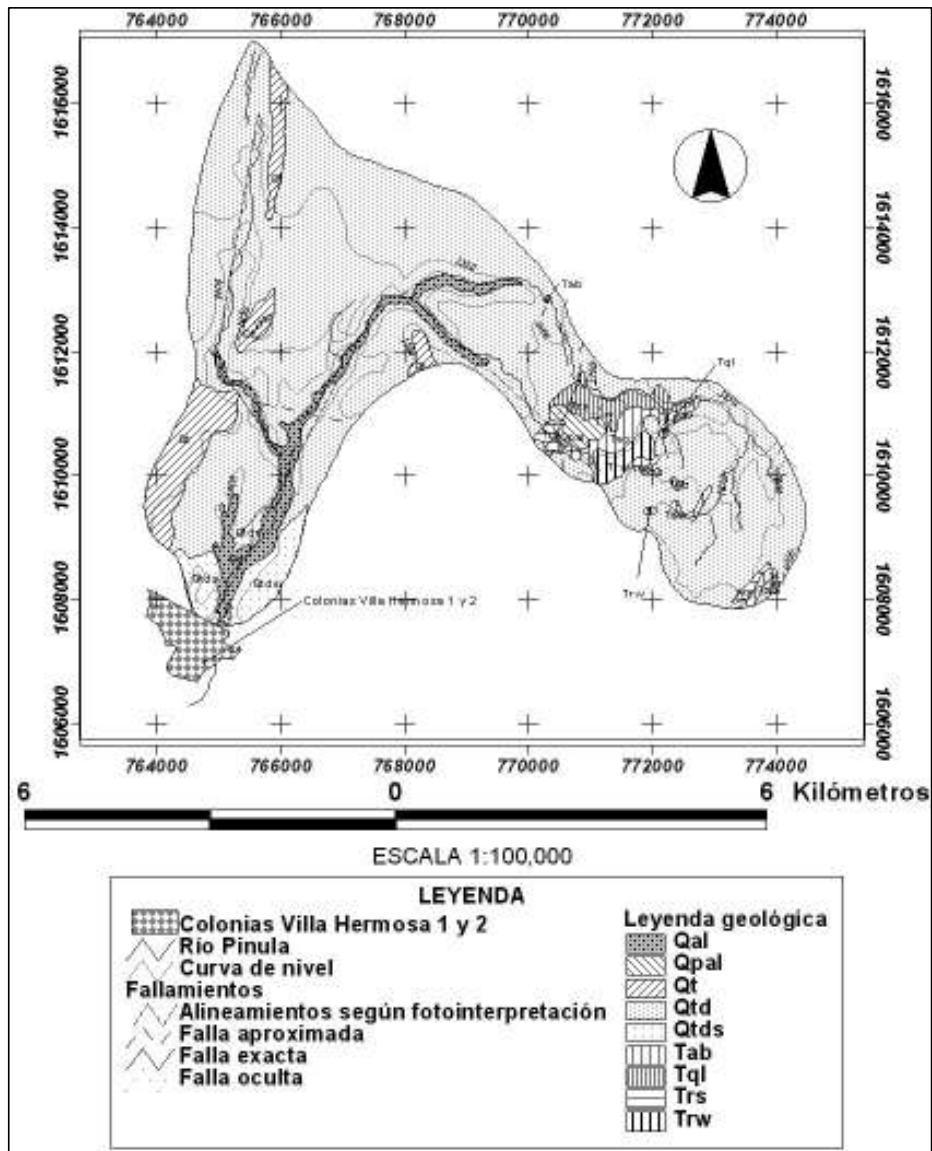
En la cuenca del río Pinula predominan las rocas volcánicas del cuaternario tipo tephra interestratificada (Qtd) con diamictones pomáceos y sedimentos fluvio-lacustres. Diamictones son rellenos de valle no clasificados, con sus cimas localmente estratificadas. El espesor máximo de diamictones individuales es de unos 50 metros.

En la parte alta de la cuenca se encuentran rocas andesíticas y basálticas (Tab). Además, hay Cuarzo latita, Toba soldada (Tql), Toba soldada riolítica, sedimentos volcánicos (Trs), Toba riolítica (Trw).

También se encuentra en el área circundante tephra (Qt), pómez blanca a gris y ceniza gris a negra ínter estratificada con paleosuelo.

El suelo de la colonia Villa Hermosa es un relleno aluvial (Qal) y del tipo piroclástico en la parte baja, Tephra y diamictones (Qtds) pomáceos interestratificados con sedimentos lacustres tobáceos-diatomáceos en la parte más alta. Además, se destaca la existencia en algunos lugares rellenos y cortes de origen antrópico reciente.

Figura 4. Mapa geológico de la cuenca del río Pinula



Fuente: IGN. Mapas geológicos escala 1:50,000 hojas 2059-I-G y 2159-IV-G

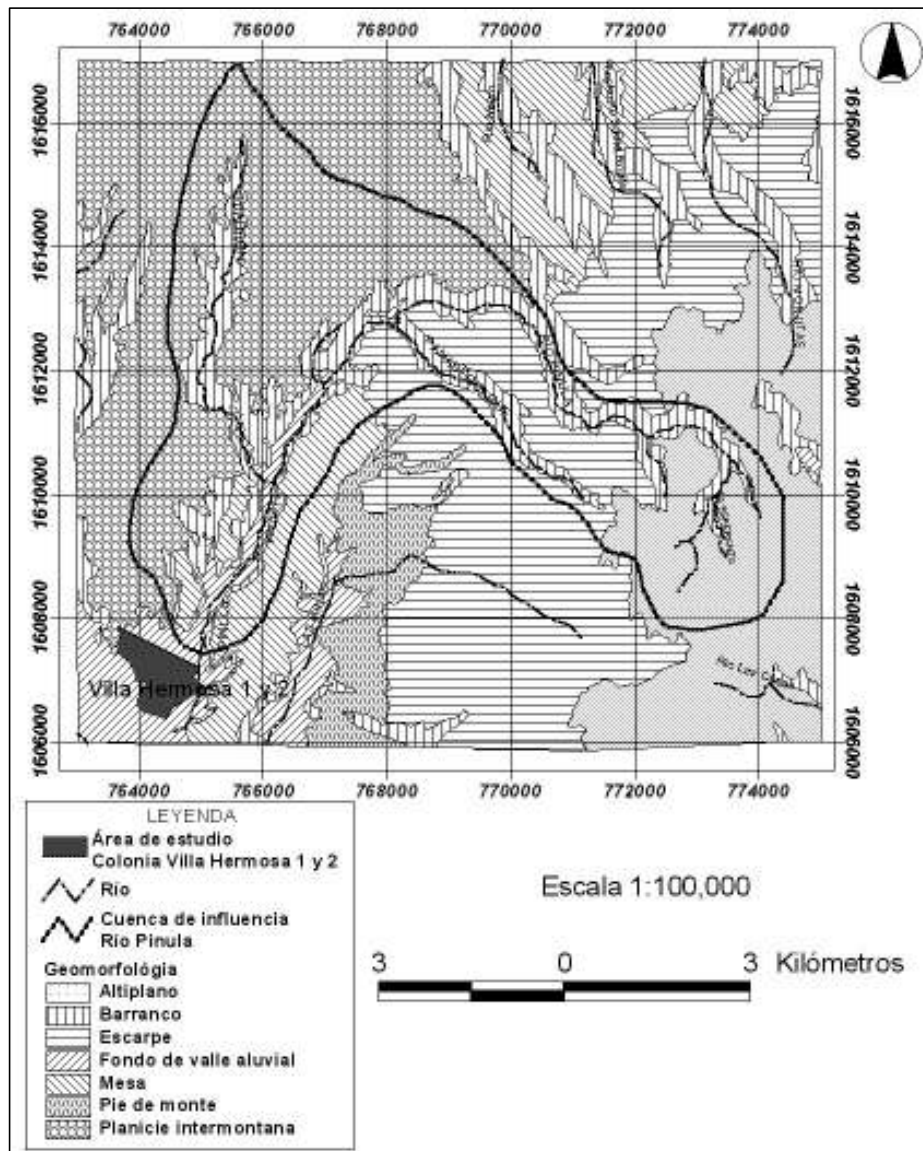
1.3.6.2.1 Geomorfología

La morfología del valle de la Ciudad de Guatemala ha sido modelada por la actividad volcánica, los movimientos tectónicos, la meteorización y la erosión fluvial. Se realizó un estudio geomorfológico para la cuenca del río Pinula y sus alrededores, ésta región se define por los paralelos 763000mN al 775000mN y 1606000mE al 1617000mE, ver figura 5. En dicho estudio se definieron siete unidades geomorfológicas las cuales se describen a continuación:

- ✓ **Altiplano:** esta unidad se localiza en la parte alta del área. Con elevaciones sobre los mil setecientos metros sobre el nivel del mar. Teniendo rocas de origen volcánico, predomina la pómez.
- ✓ **Barrancos:** son laderas con alta pendiente, producto de la intensa actividad erosiva que tienen los ríos sobre el material pomáceo. observándose una marcada alineación con orientación normoroeste, esto evidencia la existencia de debilidades tectónicas.
- ✓ **Escarpe de falla:** definiendo esta unidad la falla de Pinula, provocando una elevación de cuatrocientos metros sobre el pie de monte.
- ✓ **Fondo de valle aluvial:** provocado por la intensa actividad erosiva y acarreo de material. Presentando diversidad de suelos producto del arrastre de material en toda la rivera del río.
- ✓ **Mesa:** son extensiones de planicie que han quedado en medio de dos barrancos, su forma es dada por el patrón de drenaje y la erosión de los ríos circundantes.
- ✓ **Pie de monte:** es define por la planicie previa al escarpe de falla, lo conforma el piso de la falla.
- ✓ **Planicie intermontana:** esta unidad se define por la planicie propia del graben de Guatemala que es formado por las fallas de Mixco al oeste y Pinula al este, en esta unidad predomina el material pomáceo.

Como se ha observado la geomorfología del área está intensamente influenciada por el patrón de drenaje. En el área que define el estudio geomorfológico se toman en cuenta numerosos ríos pero se enfocó predominantemente a los afluentes de la cuenca del río Pinula y el río Las Minas por su cercanía a la colonia Villa Hermosa.

Figura 5. Mapa geomorfológico del área de influencia



1.3.6.2.2 Estratigrafía

Los rellenos piroclásticos que se encuentran en el pequeño valle que forma la parte baja de la colonia Villa Hermosa y la parte alta de la misma tiene su origen en la intensa actividad volcánica de distintas fuentes. Encontrándose en capas de distintos espesores.

La descripción de la estratigrafía regional se extractó de Pérez 1991 presentando la columna estratigráfica adaptada al área en estudio figura 6, adicionalmente se analizaron las unidades que presenta dicha columna.

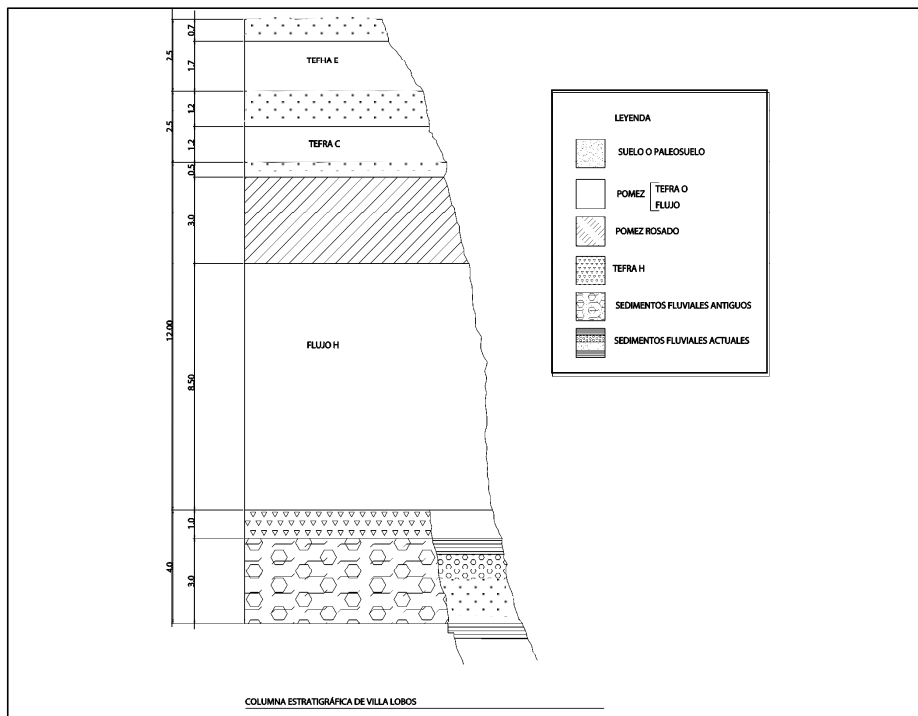
A continuación la descripción de las unidades estratigráficas de la más antigua a la más reciente, determinando las siguientes:

- ✓ **Flujo H:** capa de pómez de color blanco o rosado. Compuesta principalmente de ceniza y lapillis; también se presentan algunas bombas. En el techo de la capa se encuentra un paleosuelo de 0.5 m de espesor, el cual consiste de un limo color café amarillento, de tamaño bastante uniforme, a veces esta parte se presenta cementada. En la parte superior, esta capa muestra un característico color rosado, el cual puede servir como elemento de correlación. En el área estudiada, alcanza un espesor de aproximadamente 12 m y su origen se asocia a la formación de la caldera de Atitlán.
- ✓ **Tefra C:** la tefra C es una capa de pómez blanca de tamaño principalmente de lapillis, bien graduada la cual en el área estudiada tiene un espesor de 2.5m, los cambios de espesor no son tan notables. Debido a que el flujo H rellenó en buena parte la topografía preexistente y al depositarse la tefra H se encontraba una topografía bastante plana.

En esta capa es fácil de identificar por microscopio, siendo bastante vesicular, su origen se asocia a una de las últimas actividades de la caldera de Amatitlán.

- ✓ **Tefra E:** la tefra E es uno de los depósitos más voluminosos y se encuentra en la parte más superficial, la tefra E es de grano grueso y presenta graduación inversa en los afloramientos. En el área de Villa Nueva Presentan bombas de hasta 23 cm de diámetro, la capa consiste de pómez blanca de bloques, lapillis y ceniza. Esta es una de las más voluminosas y recientes tefras asociadas a la caldera de Amatitlán.

Figura 6. Columna estratigráfica de los alrededores del área en estudio



Fuente: Perez Arias, Carlos Leonel. **Cartografía de amenaza por deslizamientos en los barrios marginales del sur de la ciudad capital.** Par. 26

1.4 Análisis socioeconómico

La colonia estudiada tiene una variedad sociocultural, ya que en un buen porcentaje los habitantes son migrantes del interior de la república. Por la diversidad de culturas las costumbres son diferentes, al igual que su condición económica. Evidencia de esto es que en el área se pueden encontrar zonas residenciales con viviendas de hasta cuatro niveles mientras en otros sitios dentro del área de estudio se pueden observar viviendas muy pobres. Lo anterior podría motivar a un estudio más detallado sobre índices y porcentajes de pobreza en esta región. Siendo en todo caso la población pobre la más vulnerable.

Teniéndose en el área de estudio una alta densidad de población ya que en 0.8451 Km² habitan 15,591 personas, donde el 52% son mujeres y el 48% son hombres. El 91% de la población sabe leer y escribir, y el 9% es analfabeta, el mayor porcentaje de la población curso la primaria.

Los habitantes viven principalmente del comercio y trabajos asalariados, en un mínimo porcentaje propietarios de negocios y profesionales. De lo anterior se puede deducir que los ingresos promedios son de 1,500 a 3,500 quetzales mensuales. Los integrantes por familia son de seis en promedio, tomando en cuenta dos padres y cuatro hijos. En su mayoría las familias son jóvenes con hijos menores de edad. Datos obtenidos del banco de datos del Instituto Nacional de Estadística (INE).

1.5 Hidrografía

La cuenca de influencia para este estudio es la cuenca del río Pinula, y se encuentra entre los municipios de Santa Catarina Pinula, Villa Canales, Guatemala y Petapa. El punto de control está ubicado en la entrada del río a la colonia Villa Hermosa.

La cuenca tiene un área 41 km². El río Pinula es un sistema de pequeñas quebradas que desembocan en el ramal principal. La longitud total del río Pinula es de 31 km. Cuenta con un ramal principal cuya longitud es de 15 km, un río secundario denominado Guadrón con 6.3 km de longitud, un riachuelo llamado Panasequeque con una longitud de 4.2 km y tres afluentes menores con una longitud total de 5.5 km. En la figura 7 se observa la red de drenaje de la cuenca del río Pinula, además la identificación de cada ramal.

El caudal del río Pinula es bajo la mayor parte del año, pero en invierno produce crecidas instantáneas que afectan las riveras bajas, a partir de la colonia Villa Hermosa de este punto, río abajo.

La precipitación promedio anual en la cuenca del río Pinula es de mil trescientos milímetros de lluvia. Dato tomado de la estación INSIVUMEH ubicada en la zona trece de ciudad Guatemala, correspondiente a un período de treinta años comprendidos del 1970 al 2000.

En la tabla VI se presenta la precipitación anual a partir de 1970, datos proporcionados por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH).

Tabla VI. Precipitación promedio por año en milímetros estación INSIVUMEH

Año	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1979	1980
Precipitación	1498	1201	848	1449	1059	1090	1078	813	1219	892
Año	1981	1982	1983	1981	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Precipitación	1052	1090	1115	1100	1015	958	1037	1651	1201	998
Año	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Precipitación	1121	1036	1191	975	1475	1078	792	1515	1448	1047

En las figuras 8 y 9 se presentan las isoyetas correspondientes a año seco 1972 y año húmedo 1973, las cuales ilustran el potencial de precipitación con que cuenta la cuenca. Es de notar que en la parte de la cuenca donde las alturas son superiores a los 1700 metros sobre el nivel del mar la precipitación es mayor que en la parte baja.

El área baja es cruzada por dos canales que conllevan aguas negras. Sus orientaciones son de norte a sur. En el caso del canal mayor que divide los sectores uno y dos del resto de la colonia, lleva los drenajes provenientes de la parte sur de ciudad de Guatemala, drenando principalmente las zonas trece, catorce, y parte de las aguas negras de la zona nueve, diez y doce.

En el caso del canal pequeño, drena insuficientemente las colonias que están en la parte alta de la zona veintiuno así como las colonias Prados de Villa Hermosa. En la figura 10 se presentan las colonias Villa Hermosa 1 y 2 y la ubicación del río Pinula y el canal ya mencionado.

Figura 7. Afluentes que alimentan el río Pinula

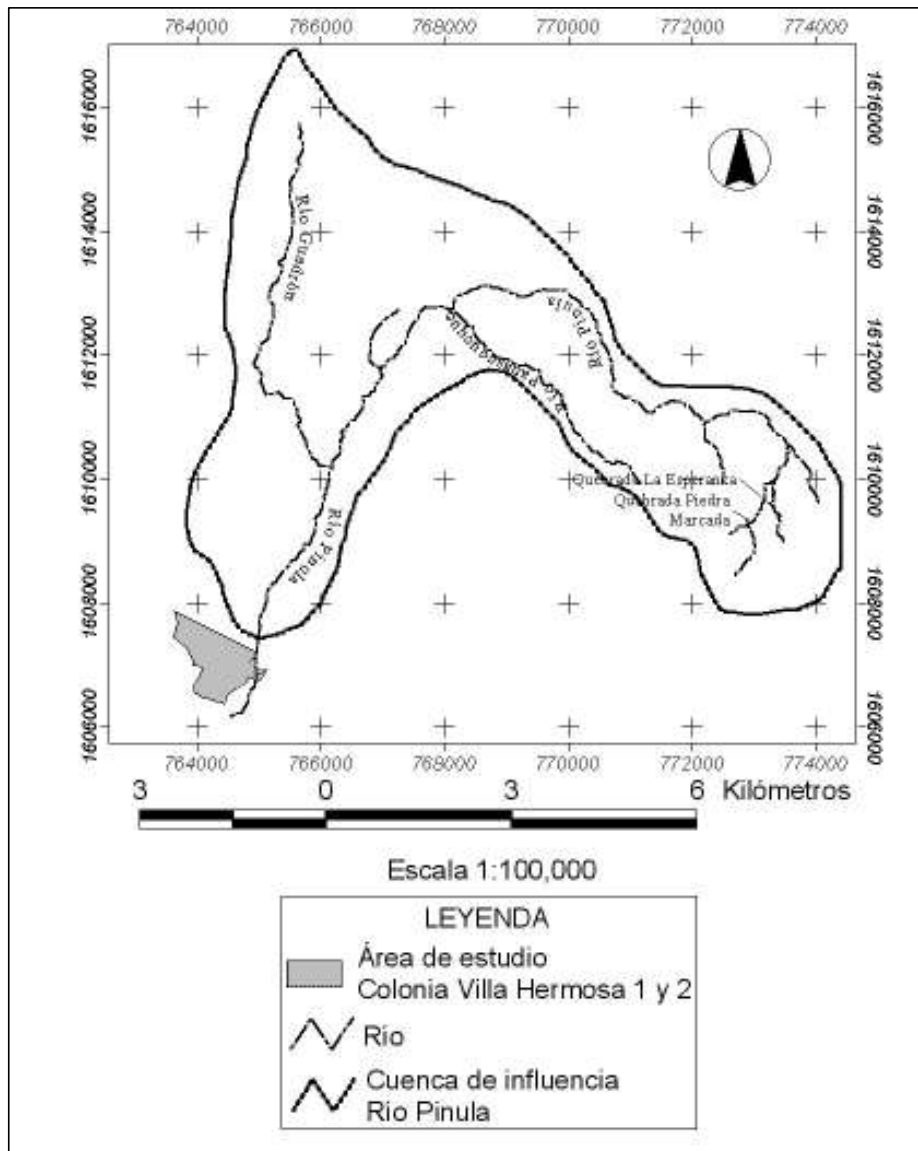


Figura 8. Isoyeta de precipitación año seco 1972

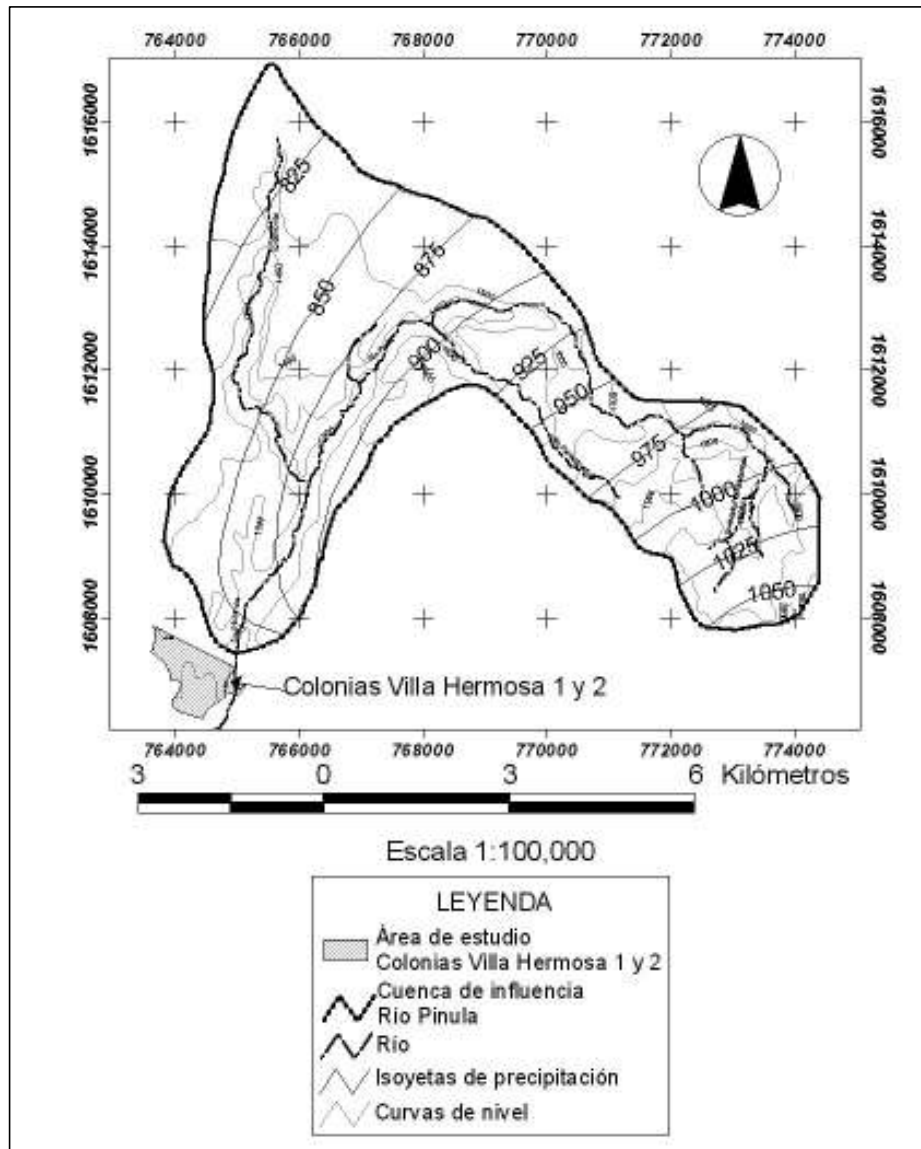


Figura 9. Isoyetas de precipitación año húmedo 1973

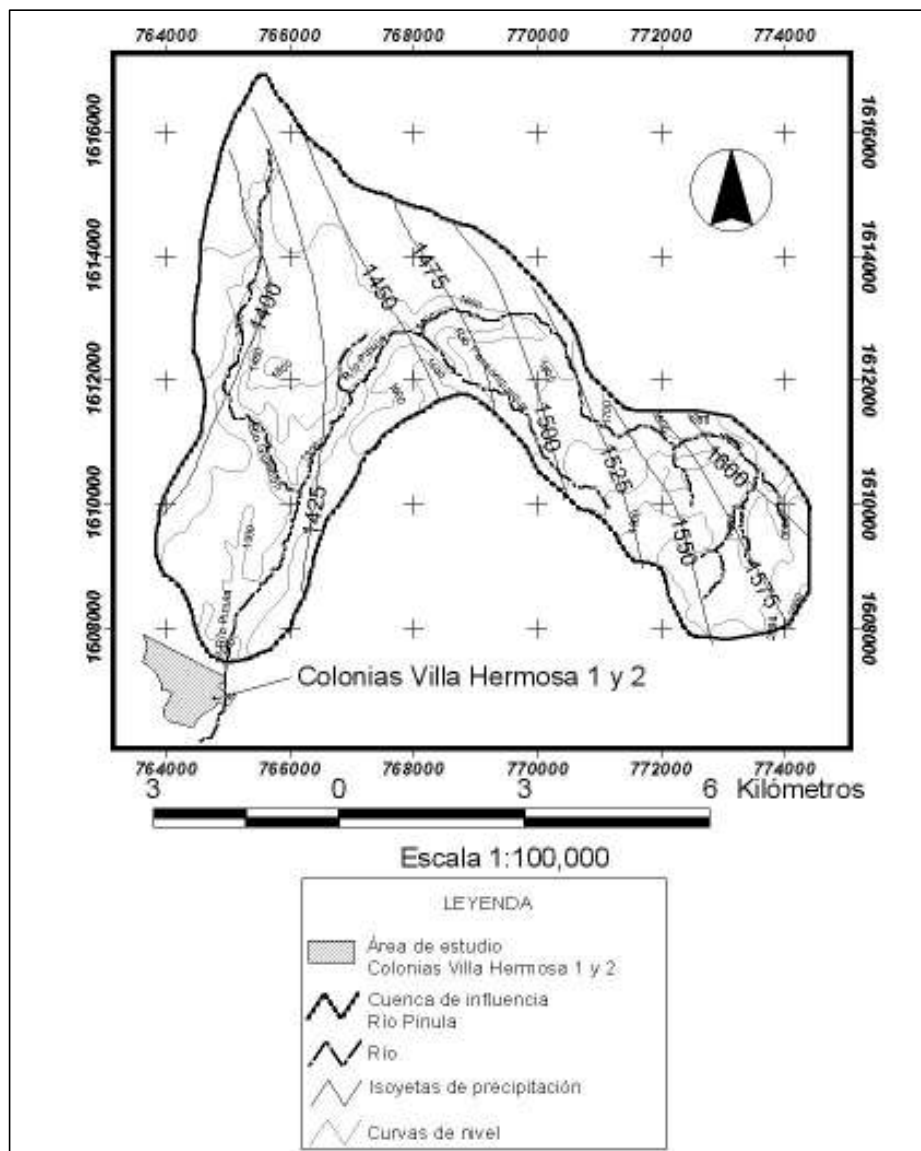
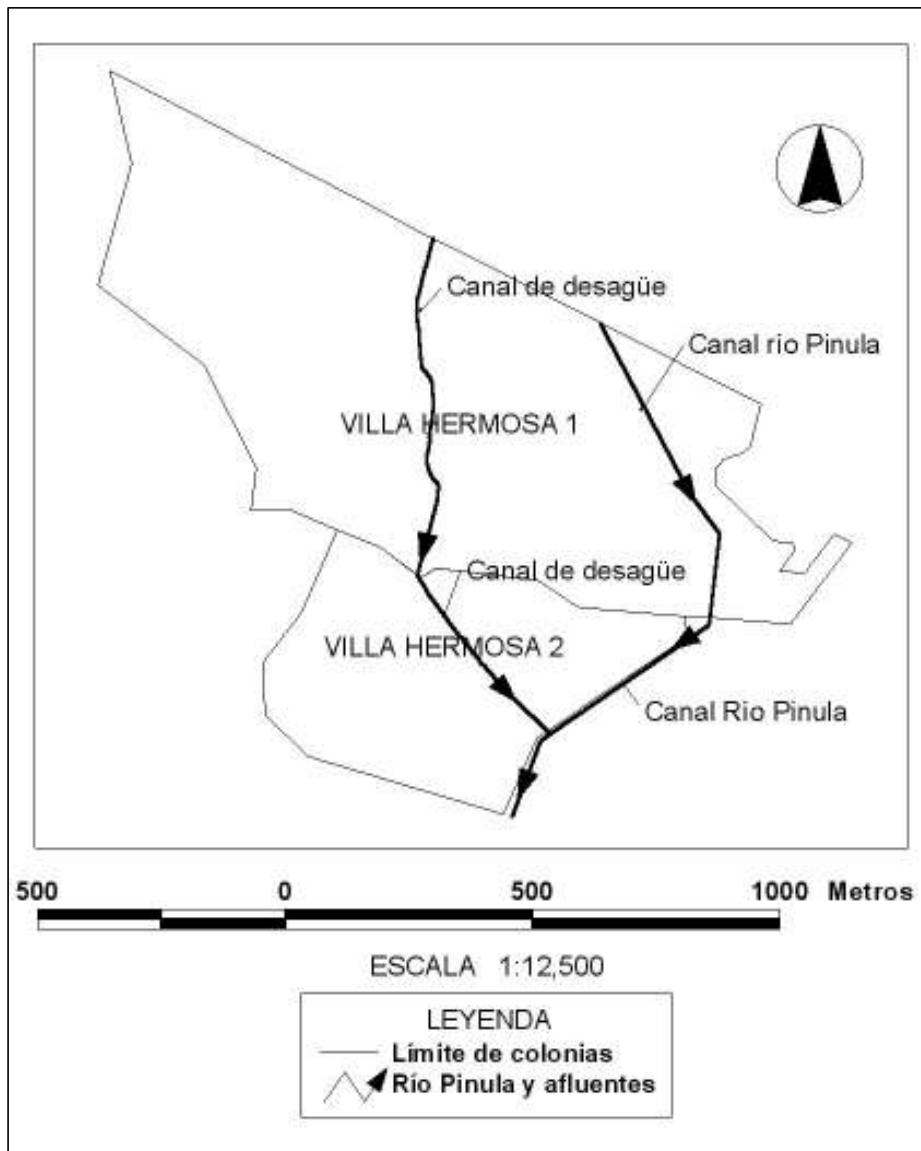


Figura 10. Ubicación del río Pinula y sus afluentes



2 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN EXISTENTE

2.1 Inundación

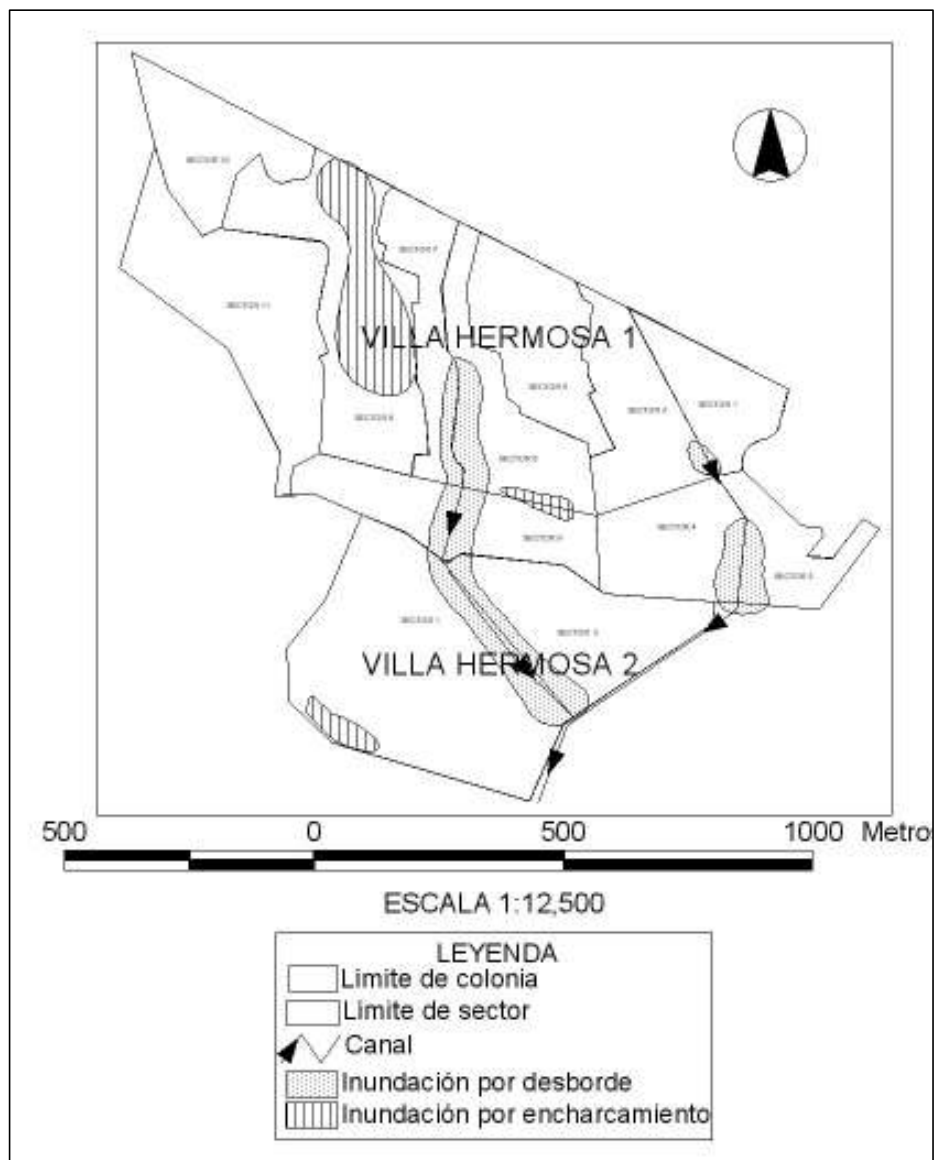
El área en estudio es potencialmente inundable en la parte baja y plana. Evidencia de lo anterior es que cada año los habitantes de las colonias Villa Hermosa 1 y 2 sufren pérdidas e inconvenientes por este fenómeno.

En las colonias Villa Hermosa 1 y 2 se presentan dos situaciones en las cuales la lluvia provoca inundaciones y éstas son:

- ✓ **Inundación por desborde**
- ✓ **Inundación por encharcamiento**

Ambas situaciones se pueden apreciar en el mapa de zonas de inundación en la figura 11, además, a continuación se analizan los elementos por separado.

Figura 11. Ubicación de las zonas de inundación en el área en estudio



2.1.1 Inundación por desborde

Se le llama inundación por desborde al fenómeno que ocurre cuando el agua que circula por un canal sale de su cauce, e inunda los alrededores. El afluente sale de su cauce como consecuencia de crecidas extraordinarias, azolvamiento, y otros factores naturales y antrópicos.

En la zona en estudio existe un canal y el río Pinula circulando de norte a sur. Afluentes que conservan un régimen regular con poco caudal la mayor parte del año. Dichos caudales son el producto del desagüe del drenaje sanitario de la parte sur de la ciudad capital y otras comunidades aguas arriba.

Las inundaciones por desborde en el área en estudio se dan por la combinación de los siguientes factores:

- ✓ **Alta precipitación**
- ✓ **Canales insuficientes para drenar**
- ✓ **Azolvamiento**
- ✓ **Deforestación de la cuenca**
- ✓ **Transporte de suelos**
- ✓ **Descontrol en el desfogue de aguas negras**

Las zonas afectas por inundaciones por desborde en la colonia Villa Hermosa 1 son los sectores 1, 2, 3, 4, 6 y 9. En la colonia Villa Hermosa 2 los dos sectores con que cuenta.

2.1.1.1 Análisis de datos

En el presente apartado se hace una recopilación de datos de precipitación. Seguidamente se analizan los caudales probables. Finalmente se comparan los caudales probables con la infraestructura existente.

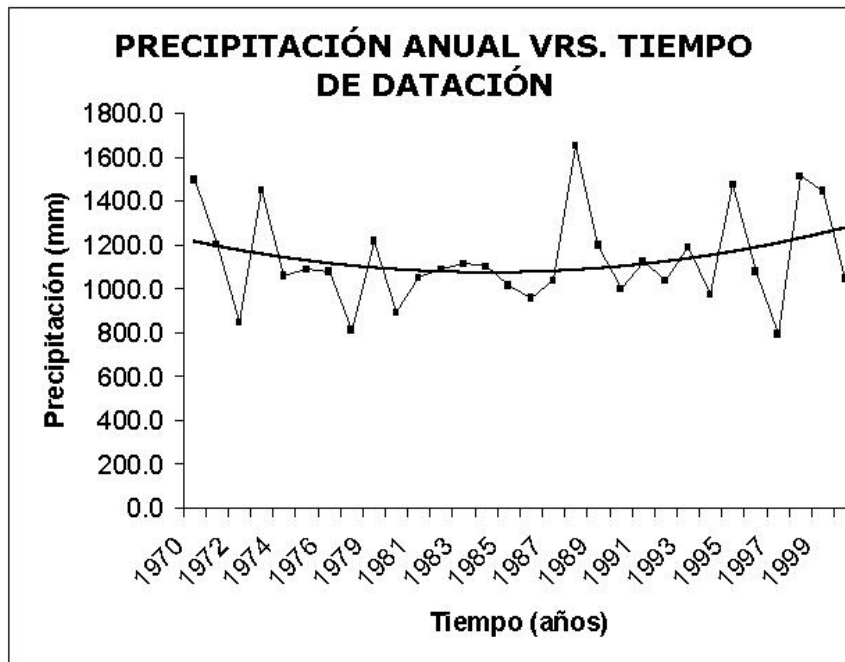
La VII muestra la precipitación anual en un periodo de 30 años. Datos obtenidos de la estación INSIVUMEH ubicada en la zona 13. Esta estación se encuentra dentro de la cuenca de influencia.

Tabla VII. Precipitación promedio por año en milímetros estación INSIVUMEH.

Año	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1979	1980
Precipitación	1498	1201	848	1449	1059	1090	1078	813	1219	892
Año	1981	1982	1983	1981	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Precipitación	1052	1090	1115	1100	1015	958	1037	1651	1201	998
Año	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Precipitación	1121	1036	1191	975	1475	1078	792	1515	1448	1047

En la tabla VII se tiene una mayor apreciación del régimen de lluvias anuales que se presenta en la cuenca en un periodo de 30 años. También se tiene un análisis a través de la figura 12, en la cual se presentan los datos visualmente, teniendo una idea más general de la situación hidrológica de la cuenca. Observando la irregularidad de las lluvias en algunos periodos, y la estabilidad en otros, es de notar que la ocurrencia de los eventos mayores es relativamente corta ya que si estudiamos la tabla existe por lo menos un año de diez en el cual la precipitación sobrepasa los 1,400 mm. Los anteriores factores deben tomarse en cuenta para futuras planificaciones.

Figura 12. Precipitación anual con su año respectivo



La precipitación en toda la cuenca escurre, se evapotranspira o se infiltra, el porcentaje que se infiltra es mucho menor que el agua que escurre. Teniendo entonces que el agua que precipita es evacuada por el río Pinula.

A continuación se presenta el análisis de datos, en los cuales se establece los caudales esperados según su periodo de retorno (Tabla VIII).

Tabla VIII. Caudales esperados según el Método de Análisis Regional de Crecidas

			Cuenca	Río Pinula
			A (Km ²)	41.8
			QM (m ³ /s)	33.6
Tr (años)	q (%)	p (%)	QI (-)	Qtr (m ³ /s)
1000	0.100	99.900	9.000	302.4
500	0.200	99.800	7.900	265.4
100	1.000	99.000	6.000	201.6
50	2.000	98.000	5.150	173.0
30	3.333	96.667	4.550	152.9
25	4.000	96.000	4.350	146.2
20	5.000	95.000	4.100	137.8
10	10.000	90.000	3.388	113.8
5	20.000	80.000	2.706	90.9
2	50.000	50.000	1.677	56.3
1.111	90.009	9.991	0.586	19.7
1.0101	99.000	1.000	0.300	10.1

El análisis de los datos fue realizado por el método de Análisis Regional de Crecidas. Se tomo como base para el área de la cuenca 41.8 Km²., el caudal QM y Qtr ambos en m³/s de las siguientes fórmulas:

$$QM=0.322*A^{1.245}$$

$$Qtr=QM*QI$$

Donde:

- QM : Caudal medio (m³/s),
- A : Área de la cuenca (Km²),
- QI : parámetro estadístico que depende de la precipitación y el periodo de retorno,

Q_{tr} : Caudal según su periodo de retorno (m^3/s),

De la tabla:

T_r : periodo de retorno (años),

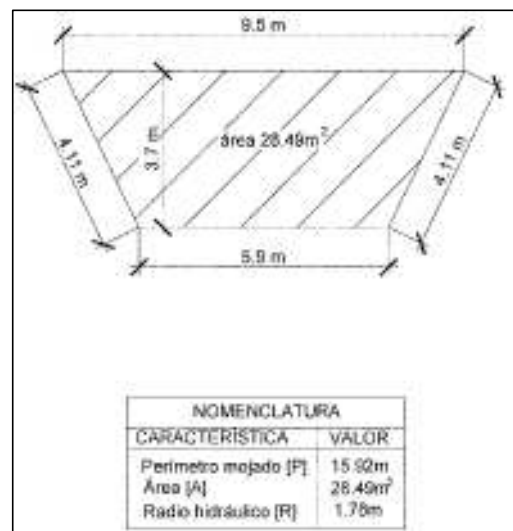
q : probabilidad de ocurrencia (%)

p : probabilidad de no-ocurrencia (%)

La tabla VIII muestra el caudal esperado para determinado periodo de retorno. La utilidad de esta tabla es para entender el comportamiento del río Pinula. Además, son datos necesarios para el diseño de infraestructura, puentes, canales y desarrollos urbanísticos.

A continuación se analizara el caudal que circulará por el canal (ver sección del canal en la figura 13), ya existente, a través del modelo hidráulico de Manning-Strickler.

Figura 13. Sección transversal del canal y sus características geométricas



Se tiene un canal con forma trapezoidal, ver figura 13. El canal tiene una pendiente de 1.5% y con un coeficiente de rugosidad según la fórmula de Manning de 0.020. Teniendo entonces un caudal de conducción por el canal de 250 m³/s. Este dato se obtuvo de la fórmula de Manning-Strickler para encontrar la velocidad y la fórmula tradicional para caudales:

$$V=1.49R^{2/3}S^{1/2}/n$$

$$V=1.49 \cdot 1.782^{2/3} / 0.020^{1/2}$$

$$V = 8.99 \text{ m/s}$$

$$Q=V \cdot A'$$

$$Q=(8.99 \text{ m/s}) \cdot (28.49 \text{ m}^2)$$

$$Q = 256.24 \text{ m}^3/\text{s}$$

Donde:

- V: velocidad (m/s),
- R: Radio hidráulico (área de la sección de agua sobre perímetro mojado),
- Q: caudal que circula en la sección (m³/s),
- A: área de la sección del canal (m²),
- n: coeficiente de rugosidad,
- S: pendiente del canal.

Comparando el caudal probable de la tabla VIII y el caudal que tiene capacidad de transportar el canal del río Pinula se encontró que el canal es eficiente para un periodo de retorno menor a los 100 años. Sin embargo, esa capacidad de conducción es reducida por el azolvamiento y el aumento de la escorrentía superficial por la impermeabilización de los suelos y deforestación en la cuenca.

2.1.2 Inundación por encharcamiento

El encharcamiento es un fenómeno que se da en zonas de bajo relieve respecto del punto de evacuación. Donde las condiciones hidráulicas del suelo no permiten una evacuación inmediata del agua de lluvia.

Para mayor comprensión del fenómeno se hará una descripción de los sectores donde se presenta el encharcamiento, también se presenta la figura 11 en la cual se observa gráficamente las zonas donde se inunda por encharcamiento.

Es así como en el sector 8 el encharcamiento fenómeno que se da cada invierno por la topografía, este sector se encuentra en un desnivel aproximado de 2 metros respecto del punto mas bajo donde podría evacuarse la lluvia. Además, por su desnivel, el manto freático se encuentra próximo a la superficie. Otro factor de peso es que la colonia Prados de Villa Hermosa evacúa parte de la precipitación hacía este punto, convirtiendo a los drenajes en ineficientes.

El efecto en el sector 8 recae en la escuela primaria, área recreativa y viviendas. En este sector se reportan subidas de nivel de agua de 1.5 metros sobre la superficie.

En el sector 1 de Villa Hermosa 2 ocurre el fenómeno de encharcamiento, producto de que dicho sector se encuentra en desnivel, en estado natural la pendiente hace que el agua evacúe eficientemente. Pero colonias vecinas han circulado sus propiedades, provocando que el agua quede estancada hasta evacuar en otros canales que no se dan abasto. El área más afectada es el área escolar y algunas viviendas.

En el sector 6 y 9 de Villa Hermosa 1 ocurre el fenómeno de encharcamiento en menor proporción dándose aquí una escasa evacuación de agua cuando existen fenómenos meteorológicos mayores, afectando aquí la calzada Villa Hermosa, vía principal y algunos comercios. El agua alcanza hasta 30 cm de altura.

2.2 Sismicidad

El estudio de la sismicidad en el área de investigación es de particular trascendencia. Las colonias Villa Hermosa 1 y 2 son desarrollos urbanísticos posteriores al terremoto de 1976 el último evento sísmico considerable. Esta razón motiva a un análisis de cada uno de los posibles focos sísmicos. Es así como en este apartado se estudian dichas posibilidades.

Las fuentes sísmicas por su origen pueden ser:

- ✓ **Tectónicas**
- ✓ **Volcánicas**

Las fuentes sísmicas tectónicas son fallamientos de la corteza terrestre. El área de estudio es influenciada por los siguientes fallamientos mayores:

- ✓ **Falla del Motagua**

- ✓ **Falla de Jalpatagua**
- ✓ **Zona de subducción**

Estos fallamientos tienen una alta peligrosidad además de tener una constante actividad.

El área de estudio es también influida por fallamientos secundarios. El potencial sísmico de estas fallas secundarias es menor que el de las fallas mayores, sin embargo, para sitios cercanos son fuente de peligro. Las fallas secundarias de mayor efecto son:

- ✓ **Falla de Pinula**
- ✓ **Falla de Mixco**
- ✓ **Falla del Frutal**

Además, en el fotoestudio de la cuenca se han localizado alienaciones que evidencian la existencia de fallamientos no activos o fallas ocultas. En la figura 14 se puede observar los distintos fallamientos en el área de influencia.

Las fuentes sísmicas volcánicas son zonas de intensa actividad volcánica que por lo violento de sus procesos provocan ondas sísmicas antes, durante y después de las erupciones volcánicas. En el área de estudio influyen las siguientes fuentes sísmicas volcánicas:

- ✓ **Volcán de Pacaya**
- ✓ **Volcán de Fuego**
- ✓ **Caldera de Amatitlán**

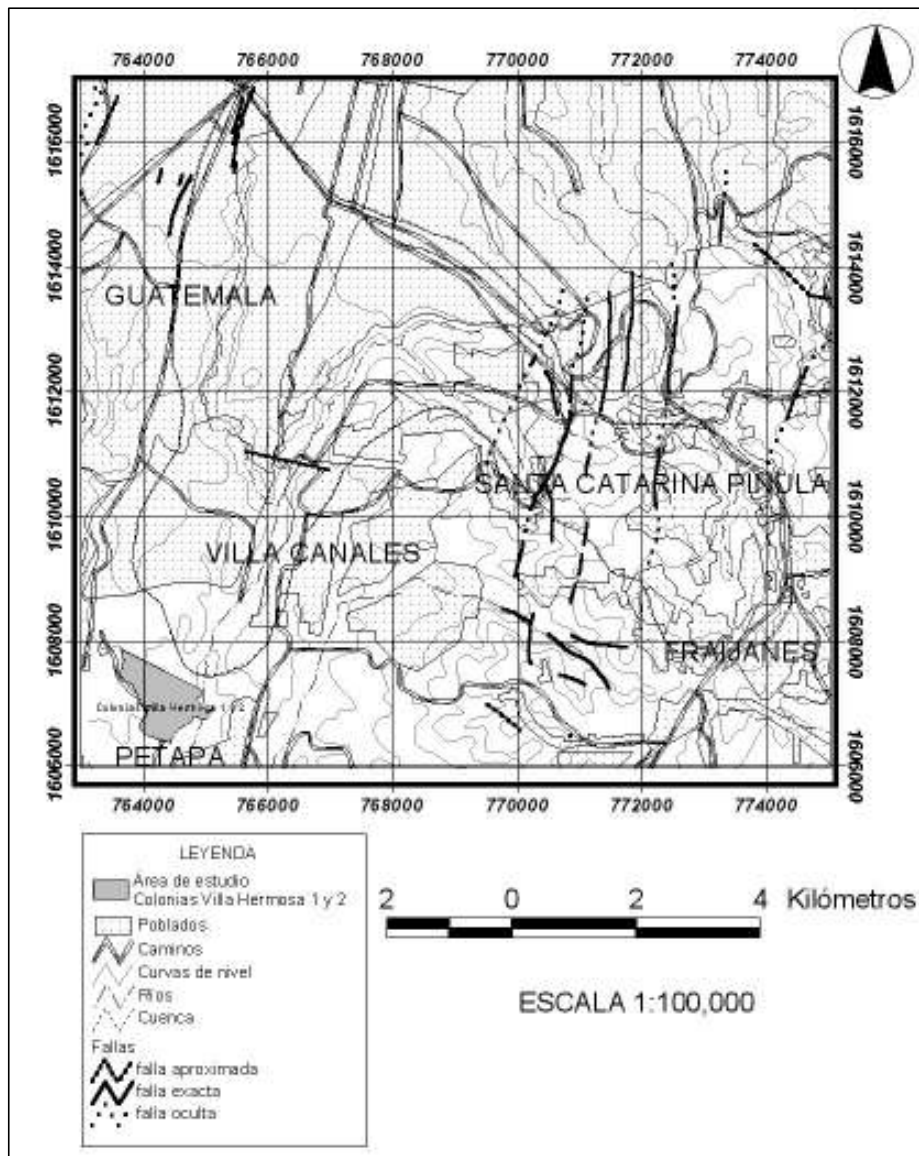
A continuación se presenta la tabla IX donde se presenta la clasificación de los sismos y sus posibles magnitudes extractada de Pérez 1991.

Tabla IX. Clasificación de los sismos

CLASIFICACIÓN DE LOS SISMOS SUPERFICIALES DE ACUERDO A SU AMBIENTE EN LA PLACA TECTÓNICA			
Lugar de ocurrencia	Zona de subducción falla transcurrente Mayor	Placa (Cuerpo)	Cordillera oceánica
Posible magnitud (m)	8.5	7.5	Pequeña
Descenso de esfuerzo	30 bar	10 bar	?
Repetición	100 años	1,000 a 10,000 años	?
Observaciones	Regularidad (periodicidad sísmica reconocible)	Complejo	?

En el figura 14 se muestran las fuentes sísmicas locales.

Figura 14. Fallamientos en el área de influencia



2.3 Vulcanismo

Los volcanes son estructuras desarrolladas alrededor de un cráter a través del cual se han emitido materiales que se han acumulado formando un cono. Los volcanes se ubican generalmente en el borde de las placas tectónicas y su fin es la liberación de energía a través de la expulsión de lava, material sólido y gases. La peligrosidad de los volcanes radica en su sismicidad y la explosividad de sus erupciones.

Los productos volcánicos según su estado son:

- ✓ **Líquidos (Lava)**
- ✓ **Sólidos (piroclastos)**
- ✓ **Gases**
- ✓ **Inundaciones y lahares** (fenómenos asociados a las edificaciones volcánicas).

Las fuentes volcánicas que podrían afectar las colonias Villa Hermosa 1 y 2 son tres:

- ✓ **Volcán de Pacaya**
- ✓ **Volcán de Fuego**
- ✓ **Caldera de Amatitlán**

En las colonias Villa Hermosa 1 y 2 se ha evidenciado por observación que la actividad volcánica que afecta es la caída de ceniza. Fenómeno que se presenta cuando la columna eruptiva inyecta partículas muy finas en las capas más altas de la atmósfera. La ceniza es material muy fino que se produce por la fragmentación de los materiales. Esta es transportada por el viento a grandes distancias. Sus dimensiones son menores a los 2.0 mm.

Aunque las cenizas dispersadas en esta forma son poco peligrosas para la vida humana, pueden causar grandes daños económicos en una región. La ceniza depositada en los techos puede ocasionar el colapso de las construcciones, además, ocasiona el taponamiento de bajadas de agua y drenajes públicos. La ceniza causa daños a la salud humana por la acumulación en las vías respiratorias. También en una caída de ceniza se dificulta la visibilidad peligrando la circulación vehicular e interrumpe la navegación aérea.,

En la agricultura la caída de ceniza arruina la producción agrícola y ocasionar enfermedades al ganado. En este estudio la importancia radica en como afecta el peso de la ceniza a las construcciones, una capa de 10 cm de ceniza pesa alrededor de 100 kilos por metro cuadrado y aún más sí está húmeda.

Los volcanes de Fuego y Pacaya en las dos décadas anteriores han producido numerosas erupciones de ceniza. Los informes de daños provocados por estas caídas de ceniza han sido el taponamiento de drenajes, desplome de techos y molestias respiratorias para la población.

De la caldera de Amatitlán podría llegar a producir gases volcánicos en pequeñas proporciones, que según las condiciones del viento podrían afectar las colonias Villa Hermosa. 1 y 2. Los gases volcánicos son producto de la liberación de gases durante la actividad volcánica y sobre todo durante el clímax de la erupción. Los gases son principalmente vapor de agua, dióxido carbono y varios compuestos de azufre, flúor y nitrógeno en diferentes proporciones.

La figura 15 muestra la ubicación de las fuentes volcánicas de influencia.

2.4 Deslizamientos

Son deslizamientos desplazamientos de masas el de material que es removido, por acción de la gravedad, de las laderas de cerros o bien en los barrancos. Una ladera es una superficie inclinada del terreno formada por agentes naturales. Las características geométricas de las laderas son:

- ✓ **Pendiente:** representa el ángulo de inclinación en una relación porcentual entre la altitud y la longitud.
- ✓ **Amplitud:** es la diferencia de cotas entre la base y la parte alta de la ladera.
- ✓ **Perfil:** son las variaciones del declive a lo largo de su extensión transversal.

La clasificación de los movimientos de laderas es diversa escogiéndose dependiendo de la utilidad. Para el propósito de esta evaluación se adoptó la clasificación de Varnes expuesta en la tabla X.

Tabla X. Clasificación resumida de los movimientos de laderas

TIPO DE MOVIMIENTO		ROCA	TIPO DE MATERIAL SUELO (INGENIERÍA)	
			Grueso	Fino
CAIDAS		de roca	de detritos	de tierra
VOLCAMIENTO		de roca	de detritos	de tierra
DESLIZAMIENTO	ROTACIONAL	Caída de rocas	Caída de detritos	caída de tierra
	TRANSLACIONAL	De bloques de Roca	de bloques de detritos	de bloques de tierra
PROPAGACIÓN LATERAL		de roca	de detritos	de tierra
FLUJO		de roca	de detritos	de tierra
		(arrastre profundo)		
COMPLEJOS: Combinación de 2 ó más de los principales tipos de movimientos				

Cada tipo de movimiento tiene diferentes formas de manifestarse. Es importante conocer el comportamiento en cada caso para tener un mayor criterio en el diseño. Según Varnes estas características se presentan en la tabla XI.

Tabla XI. Características de los principales movimientos de ladera

PROCESO	CARACTERÍSTICAS DEL MOVIMIENTO, MATERIAL Y GEOMETRÍA
ARRASTRE	<ul style="list-style-type: none"> ▪ varios planos de deslizamiento (internos) ▪ velocidades muy bajas (cm/año) a bajas y decrecientes con la profundidad ▪ movimientos constantes, zonales o intermitentes ▪ suelo, depósitos, roca alterada/fracturada ▪ geometría definida
DESLIZAMIENTOS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ pocos planos de deslizamiento (externos) ▪ velocidades medias (m/h) a altas (m/s) ▪ pequeños y grandes volúmenes de material ▪ geometría y materiales variables: ▪ planares (suelos poco compactos, suelos y rocas con un plano de fragilidad) ▪ circulares (suelos poco compactos, suelos y rocas con un plano de fragilidad) ▪ circulares (suelos compactos homogéneos y rocas muy fracturadas) ▪ en cuña (suelos y rocas con dos planos de fragilidad)
CAÍDAS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ sin planos de deslizamiento ▪ movimientos tipo caída libre o en plano inclinado ▪ velocidades muy altas (varios m/s) ▪ material rocoso ▪ pequeños a medianos volúmenes ▪ geometría variable: lascas, placas, bloques, etc.

El área en estudio varía topográficamente teniendo sitios en laderas. Se pueden observar laderas que se catalogaron en tres rangos los cuales se presentan cuantificados en la tabla XII, la cantidad de taludes fue extractada de la figura 16.

Tabla XII. Rango de pendiente de taludes con la cantidad en que aparecen en la zona de influencia de las colonias Villa Hermosa 1 y 2

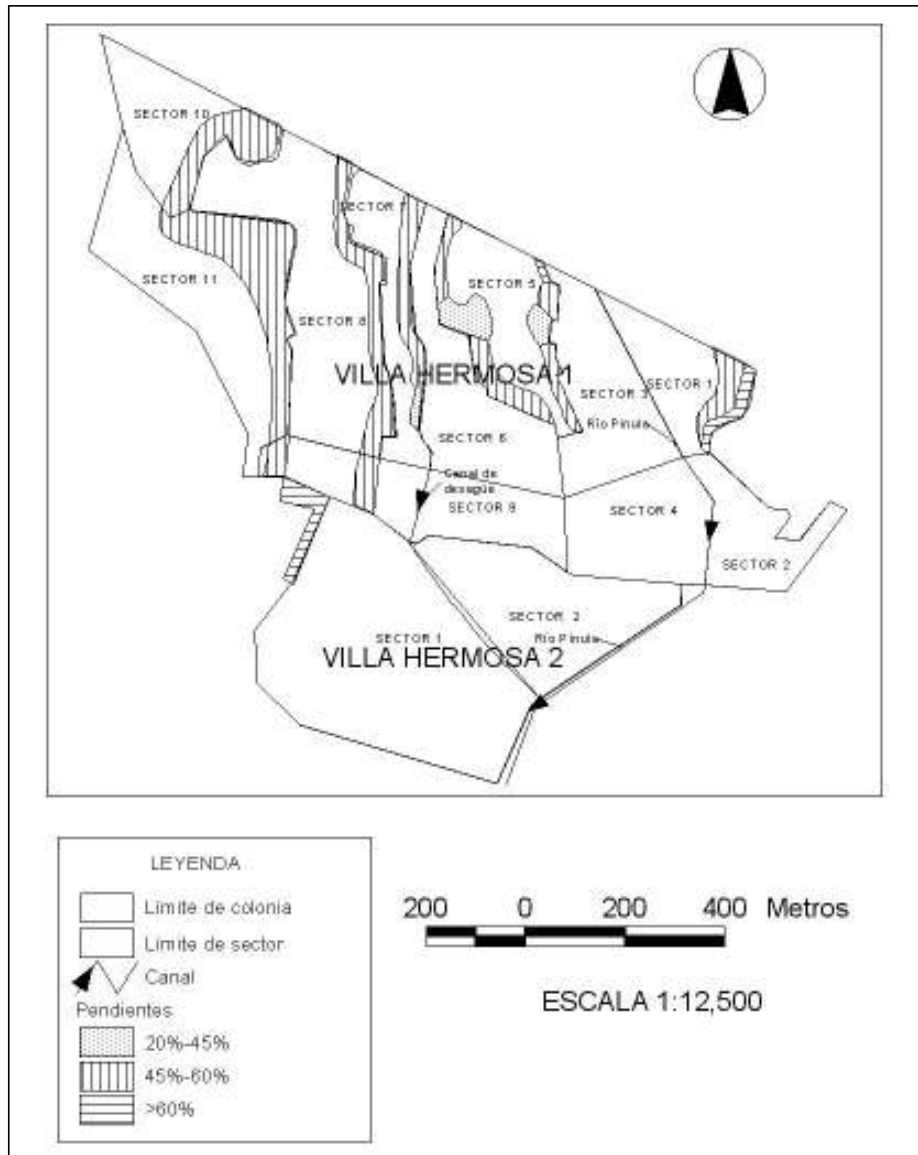
Ángulo de talud	Cantidad
20%-45%	3
45%-60%	9
>60%	3

Los taludes en la colonia Villa Hermosa 1 son variados en pendiente y altura. El tipo de material es pomáceo de origen volcánico (ver sección geológica figura 4), con capas horizontales que denotan varios eventos.

Las laderas en las colonias Villa Hermosa 1 y 2 son utilizadas como áreas verdes. El 75% de las laderas estudiadas posee cubierta vegetal. En la actualidad se observa que las viviendas no han respetado el límite de propiedad construyendo en el borde del talud, no respetando la distancia de seguridad.

Existen algunas instalaciones al pie de taludes. El mercado se encuentra al pie de un talud vertical de aproximadamente 15 metros, observándose vermas de seguridad. La escuela del sector 1 de la colonia Villa Hermosa 1 está al pie de un talud de pendiente aproximada a los 45 grados y altura máxima de 10 metros.

Figura 16. Mapa de pendientes en el área en estudio



3 EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN

3.1 Evaluación del riesgo por inundación

El riesgo está definido por dos variables que son vulnerabilidad y amenaza. Cuando la suma de estos dos factores es alta es entonces cuando se tiene un riesgo considerable. En el caso de las inundaciones la vulnerabilidad está definida por el tipo de construcción y el nivel socioeconómico de los afectados, además factores como el mantenimiento de la infraestructura, el interés de los mismos habitantes por saber de su situación. La amenaza para el caso particular de las colonias Villa Hermosa 1 y 2 serian las lluvias y las condiciones topográficas.

La cantidad de agua que precipita y los factores topográficos definen en buena proporción el riesgo. Si se tienen pendientes altas en el canal provoca erosión en las riberas. Las tierras bajas están propensas a inundación por encharcamiento, además del efecto que tiene el nivel freático cuando sube. En el área en estudio el riesgo de inundación es alto tanto por desborde como por encharcamiento.

La precipitación en la zona es alta. Teniendo una precipitación promedio de 1,100 milímetros cúbicos. Este promedio fue tomado de 30 años de observación en la estación INSIVUMEH, zona 13 que se encuentra dentro de la cuenca del río Pinula.

Las colonias Villa Hermosa 1 y 2 tienen problemas de inundación por desborde en las partes planas y bajas a la orilla del río Pinula y el canal de desagüe. Los sectores amenazados por este tipo de inundación se presentan en la tabla XIII teniendo en la misma el número de viviendas afectadas y los sitios.

Tabla XIII. Sectores afectados por inundación por desborde

Sector	# afectados	Tipo de afectados	Fuente
1	6	Viviendas	Río Pinula
2	30	Viviendas	Río Pinula
3	3	Viviendas y Comercios	Río Pinula
4	30	Viviendas	Río Pinula
9	29	Viviendas	Canal Desagüe

Además de los efectos del desborde del río Pinula y el canal de desagüe hay que tomar en cuenta los problemas de erosión. Debido a la infraestructura que conduce el río Pinula por la colonia Villa Hermosa 1.

Otra amenaza es el azolvamiento. Gran cantidad de desechos que se vierten en el río Pinula y el canal de desagüe. El efecto de este fenómeno es el desborde y la erosión. El azolvamiento es producido por la falta de mantenimiento de los canales y la poca cultura de limpieza y la disposición de desechos sólidos que los habitantes de la zona muestran.

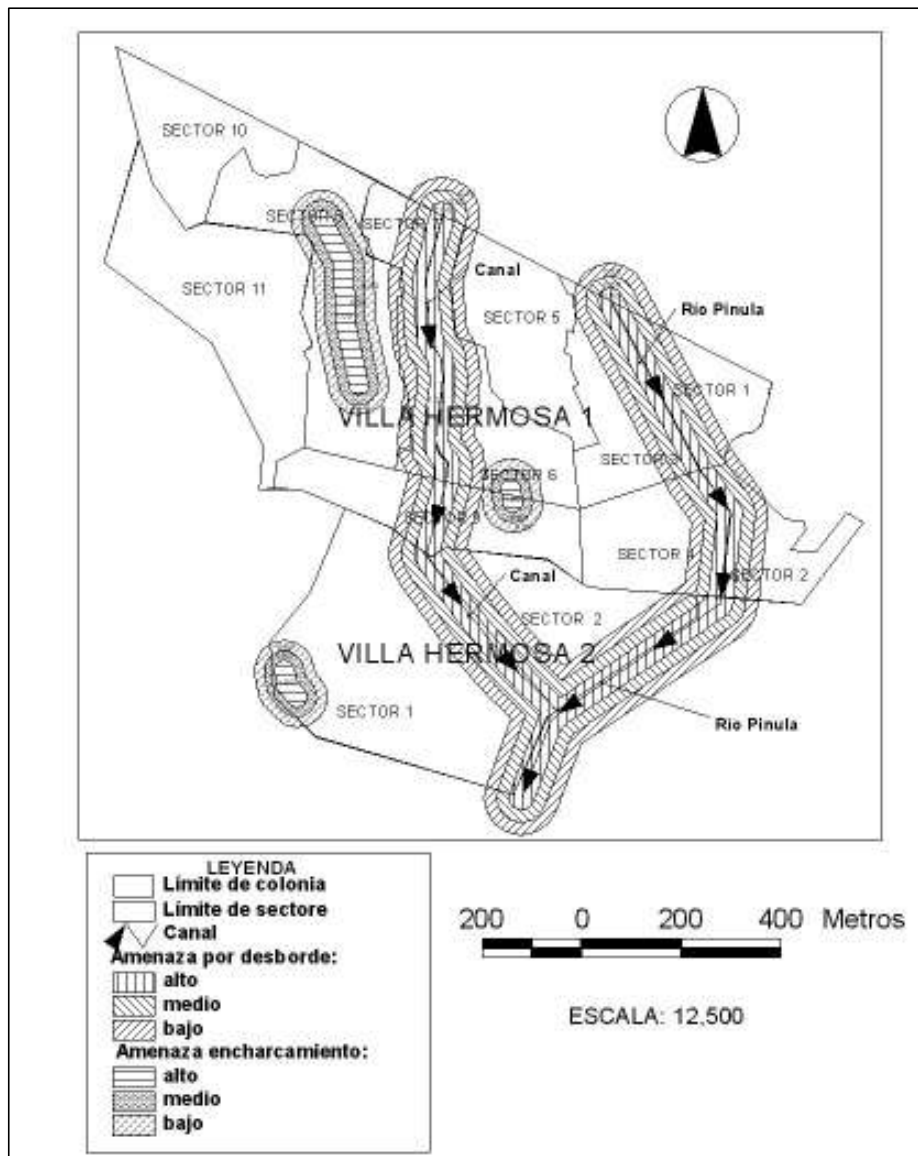
El área en estudio es afectada también por inundación por encharcamiento. Este fenómeno se produce en las zonas bajas que presentan un nivel superficial muy bajo y además tienen un inadecuado drenaje natural. Básicamente son áreas en las que naturalmente y según la memoria de pobladores se encharcaba el agua antes que esas áreas fueran habitadas. Sumado a los factores antes mencionados la obra civil de drenaje es insuficiente.

Los sectores afectados por inundación por encharcamiento se presentan en la tabla XIV. Además, se presenta la figura 17 la cual muestra de manera gráfica los sectores afectados y el nivel máximo que el agua ha alcanzado, según registros históricos.

Tabla XIV. Sectores afectado por inundación por encharcamiento

Sector	Afectados	Tipo de afectados
6	10	Comercios
6	1	Vía de acceso principal
9	10	Comercios
8	1	Escuela
8	1	Área recreativa
8	203	Viviendas
1 Villa Hermosa 2	1	Escuela
1 Villa Hermosa 2	5	Viviendas

Figura 17. Mapa de riesgo por inundación por desborde y encharcamiento en las colonias Villa Hermosa 1 y 2



3.2 Evaluación de riesgo sísmico

De los capítulos anteriores se establece que Guatemala es un país altamente sísmico. A partir del Terremoto de 1976 se ha evaluado y zonificado el país. Datos de mucha importancia para el desarrollo de la nación. El interés del presente estudio es realizar una evaluación y zonificación para las colonias Villa Hermosa 1 y 2. Se ha dispuesto presentar datos a nivel país para posteriormente compararlos con las condiciones propias del área de estudio.

Uno de los esfuerzos hechos para zonificar la república fue elaborado por Monzón H. en 1984. Estudio que es tomado como base para elaborar las normas sismo-resistentes de Guatemala. Esta zonificación se basa en dividir al país en cuatro áreas específicas donde se espera igual aceleración del suelo en un evento sísmico. Esta zonificación se presenta en la figura 18, además, se describe la zonificación realizada en dicho estudio.

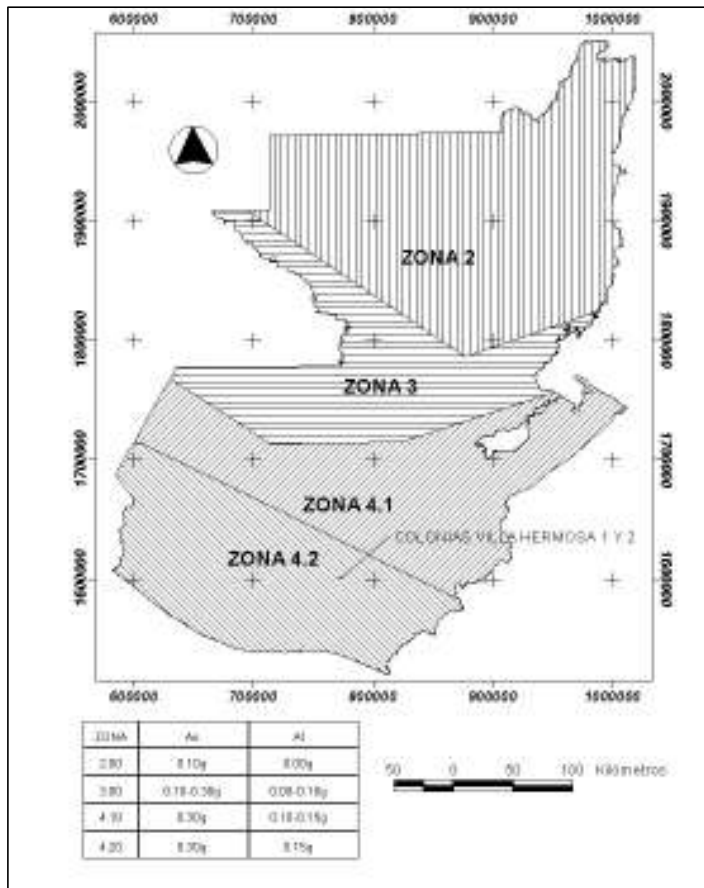
El objetivo de presenta la macrozonificación es el de establecer los parámetros generales. Ubicando a las colonias Villa Hermosa 1 y 2 en la zona 4.2. esperando aceleraciones aproximadas de 0.3g para un periodo de retorno de cien años. El valor de aceleración 0.3g, es de mucha importancia en el diseño estructural, ya que a partir de este valor podemos deducir la fuerza en cortante que soporta la estructura. La zona 4.2 es la que presenta mayor aceleración para este periodo de retorno, esto por la condición tectónica y del suelo, entre otras.

Además de la onda sísmica un evento de este origen produce las siguientes situaciones locales:

- ✓ **Cambios en la amplitud y contenido de la frecuencia del movimiento.**
- ✓ **Deformaciones permanentes,**

- ✓ Deslizamientos y derrumbes
- ✓ Hundimientos y subsidencias
- ✓ Agrietamiento del terreno
- ✓ Licuefacción.

Figura 18. Mapa de zonificación sísmica para Guatemala



Monzón H. Informe sobre la Fase 2. Programa de Cooperación Técnica en Ingeniería de Terremotos. Pag. 90

Es de notar que estos fenómenos podrían llegar a darse en determinado momento y grado. Esto ya que el área tiene las características propicias por ser un suelo arenoso, con pendientes fuertes, y con un nivel freático próximo a la superficie.

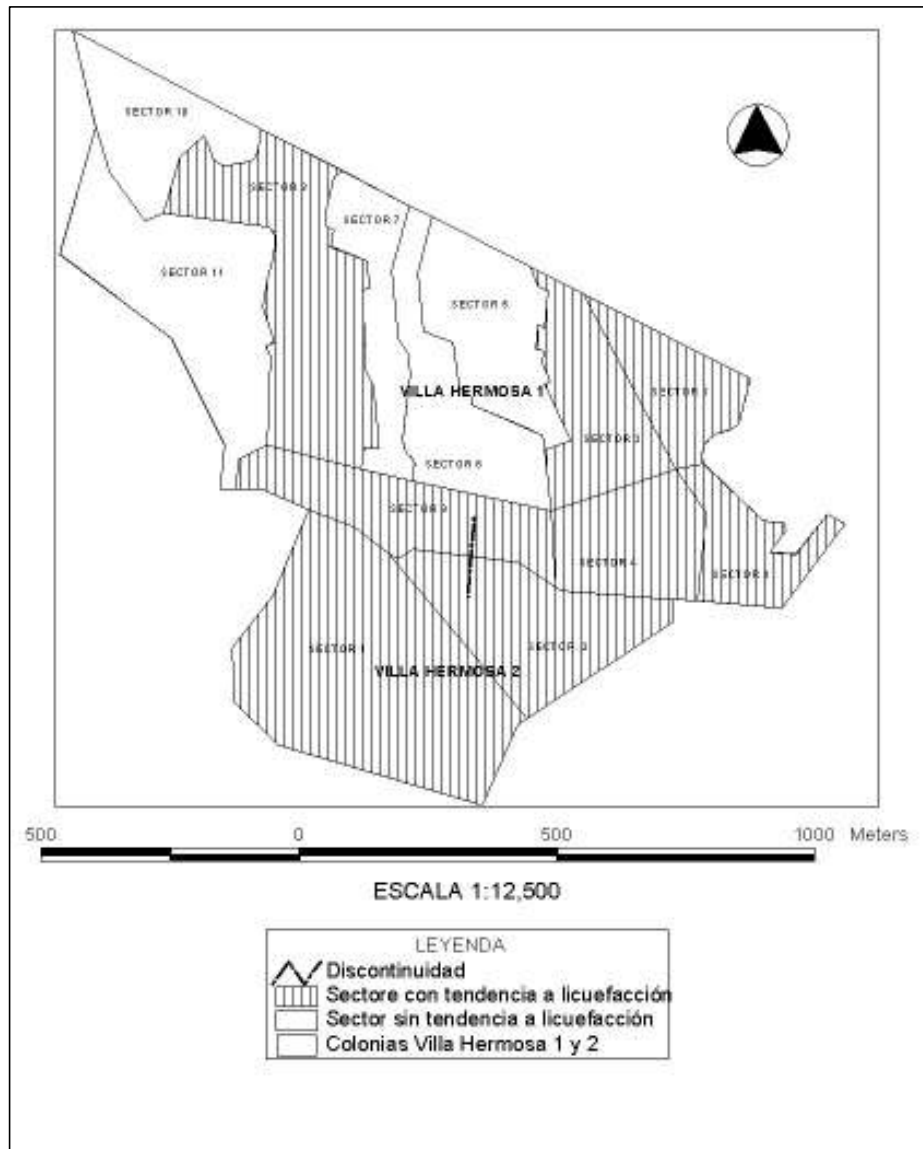
Por factores geodinámicos en el material pomáceo, presente en toda la región, se pueden producir amplificaciones de ondas. Esta afirmación es tomada del estudio realizado en la ciudad de Guatemala por Monzón, H. y E., Molina en el documento Diagnóstico de la prevención de desastres naturales en Guatemala con motivo del XX aniversario del terremoto del 4 de febrero de 1976.

El área en estudio es propensa a la licuefacción. El material pomáceo presente en las partes bajas y el nivel freático cercano a la superficie hacen que el riesgo de licuefacción esté presente. Los sectores más propensos están ubicados en las riberas de los ríos y zonas bajas.

La construcción en el área en estudio es vulnerable a la sismicidad. La vulnerabilidad de las construcciones se debe al escaso diseño estructural de cada vivienda. Además, existe evidencia de discontinuidades o fracturas, dentro de las colonias Villa Hermosa 1 y 2.

La figura 19 muestra los sectores que presentan las diferentes amenazas que causan los efectos secundarios asociados a sismicidad.

Figura 19. Mapa de riesgos producto de efectos secundarios a la sismicidad



3.3 Evaluación del riesgo volcánico

Siendo los volcanes una de las fuerzas más violentas de la naturaleza, es importante establecer el grado de riesgo al cual está expuesta la humanidad. Estadísticamente en Guatemala los volcanes tienen una alta prioridad con relación a pérdidas materiales. Bajo esta justificación se ha determinado el valor del riesgo volcánico para el área en estudio.

Basándose en la estimación de la peligrosidad de las fuentes volcánicas se determina la probabilidad de ocurrencia de un evento catastrófico. Interpolando la probabilidad con el área específica se ha estimado el grado de amenaza y de riesgo.

Como se analizó en la sección 3.3 las fuentes volcánicas cercanas al área en estudio serán el volcán de Pacaya, volcán de Fuego y Caldera de Amatitlán. Además las amenazas a las que exponen estas fuentes volcánicas son la caída de ceniza y la emanación de gases.

El índice de peligrosidad que se utiliza en este estudio es el de la clasificación de Yokoyama *et al.* 1984. Esta clasificación asigna un valor máximo de 15 cuando se trata de un volcán altamente peligroso. Es así como para los volcanes de influencia para las colonias Villa Hermosa 1 y 2 se dan los siguientes valores:

- | | |
|-------------------------------|----------------------|
| ✓ Volcán Pacaya | 13 |
| ✓ Volcán de Fuego | 14 |
| ✓ Caldera de Amatitlán | no registrado |

Observándose entonces que los volcanes de Pacaya y de Fuego presentan gran peligrosidad. Además, por el tipo de actividad los volcanes son clasificados en:

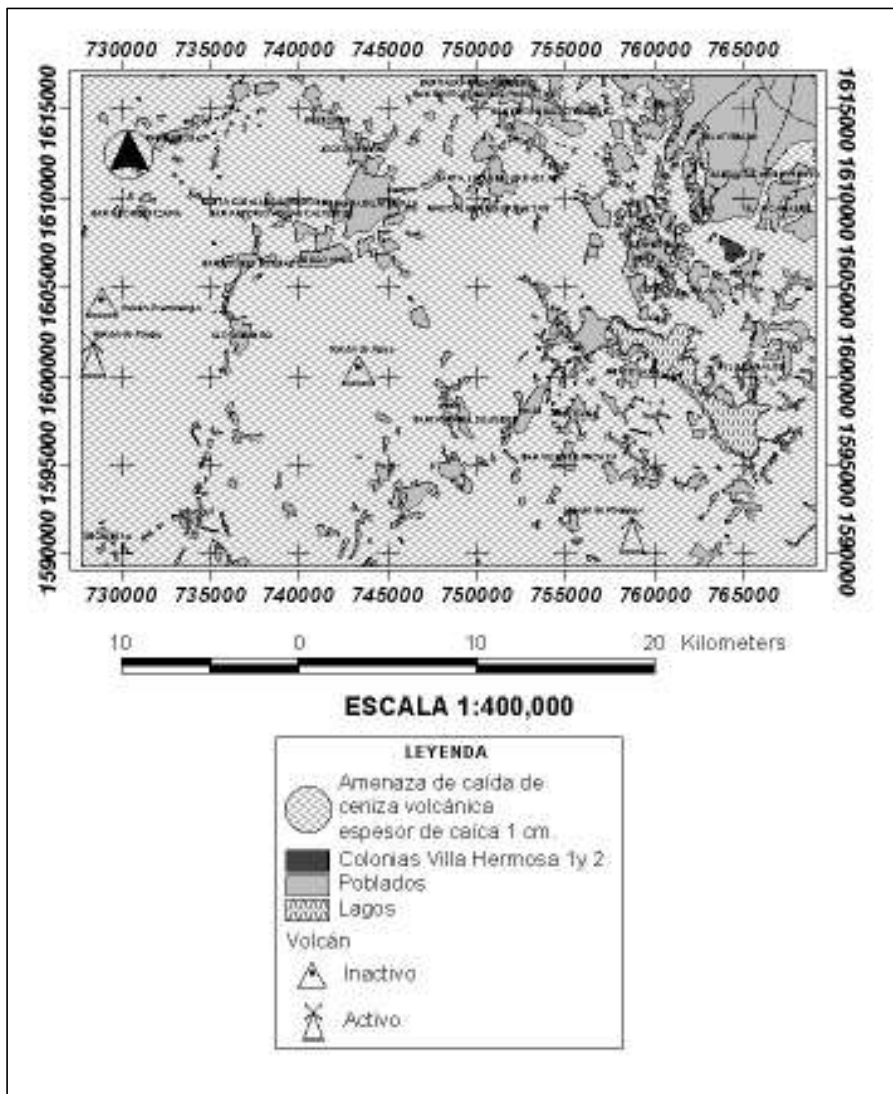
- ✓ **Hawaiano:** emisión de lava fluida y no violenta, con estructuras volcánicas extensas y de pendiente suaves.
- ✓ **Estromboliano:** su actividad es regular y moderada, con explosiones de moderadas a violentas de material candente. La lava es moderadamente fluida. Suelen edificar conos de escoria con bastante rapidez.
- ✓ **Vulcaniano:** las erupciones son menos frecuentes y más explosivas. Forman grandes nubes de ceniza y arena. Las cuales pueden alcanzar varios kilómetros de altura. La lava es más viscosa, forman conos de ceniza y bloques.
- ✓ **Peleano:** esta es el más explosivo. Forma grandes nubes cargadas de gases y piroclásticos calientes. La lava es muy viscosa y pueden llegar a formar conos de lava.
- ✓ **Pliniano:** se producen grandes explosiones de una chimenea taponada al final de una erupción anterior.

Siendo el volcán de Pacaya del tipo Estromboliano y el volcán de fuego del tipo Estromboliano-Vulcaniano.

Las colonias Villa Hermosa 1 y 2 están expuestas a la actividad los volcanes que rodean al área a caída de ceniza y la emanación de gases en el caso de actividad por parte de la caldera de Amatitlán. Tanto la caída de ceniza y la emanación de gases produce daños a la salud y a las viviendas. Las viviendas de estructura liviana (techos de lamina) son afectadas por el peso de la ceniza. Los gases contribuyen a la acelerada oxidación de los metales, pudiendo ser estos estructuras de columnas sin recubrimiento de cemento y techos de lamina.

En la figura 20 se visualizan las amenazas y riesgos que presentan las fuentes volcánicas para las colonias Villa Hermosa 1 y 2.

Figura 20. Amenaza volcánica por caída de ceniza



3.4 Evaluación de riesgo por deslizamiento

Los deslizamientos son movimientos de masas de suelo provocando por sobre peso en la cresta de un talud. También pueden ser causados por razones tectónicas, las vibraciones del terreno provocadas por eventos sísmicos desestabilizan los taludes. El sobre peso se entiende como exceso de carga, pudiendo ser esta agua o viviendas ubicadas el límite del talud o ladera.

Otros aspectos determinantes en los movimientos de masa son las pendientes y el tipo de material. Para el aspecto tectónico influyen directamente las fallas de influencia y el ángulo transversal del talud respecto a la falla.

El riesgo por deslizamiento es importante debido a la existencia de laderas en el área de estudio. Provocando con ello que esta parte de la población se encuentre en alto riesgo.

Como se analizó en la sección 3.4 las colonias Villa Hermosa 1 y 2 tiene laderas no habitadas pero con construcciones muy cercanas a la cresta y al pie del talud. Hace trascendente analizar las variables para posteriormente zonificar el riesgo por deslizamiento. En el presente estudio se ha utilizado para la zonificación la metodología de Mora y Vahrson.

La metodología de Mora y Vahrson basa la determinación de la amenaza por deslizamiento en determinar numéricamente los factores morfodinámicos más importantes.

Los parámetros a utilizar son:

- ✓ **Índice de Relieve Relativo Rr:** mide la rugosidad del terreno mediante un factor $Rr=(dh)/A$ donde dh es la mayor diferencia de elevación y A el área. Clasificando los valores en la tabla XV.

Tabla XV. Clasificación de los valores de relieve relativo y los valores paramétricos asignados

Relieve Relativo	Calificativo	Valor del parámetro (Rr)
0-75	Muy bajo	0
76-175	Bajo	1
176-300	Moderado	2
301-500	Mediano	3
501-800	Alto	4
> 801	Muy alto	5

Fuente: Mura, S. And Vahrson, W. **Macrozonation methodology for landslide hazard determination**. Pag. 85.

- ✓ **Índice Litológico L:** es el que analiza la resistencia del material, cohesión, grado de alteración estructural (diaclasas, estratigrafía, etc.), capacidad de drenaje y la profundidad del nivel freático. Definiendo de una forma subjetiva para cada área de estudio una tabla haciendo uso de los calificativos y valores utilizados en la tabla XVI.

Tabla XVI. Índice litológico y los calificativos respectivos

Calificativo	Valor del parámetro (L)
Muy bajo	0
Bajo	1
Moderado	2
Mediano	3
Alto	4
Muy alto	5

Fuente: Mura, S. And Vahrson, W. **Macrozonation methodology for landslide hazard determination**. Pag. 86.

- ✓ **Índice de Humedad del Suelo (H):** en el caso ideal se determina por mediciones directas, en el caso de no tener esta situación se analiza esta variable mediante la precipitación promedio mensual y de la evaporación potencial mensual. La precipitación promedio mensual se categoriza según la tabla XVII, se suman los doce valores asignados a cada mes en una estación se llega aun valor acumulado entre 0 y 24, el cual se clasifica en cinco grupos según la tabla XVIII.

Tabla XVII. Clasificación de los promedios mensuales de la precipitación

Precipitación promedio (mm/mes)	Valor asignado
< 125	0
125-250	1
>250	2

Fuente: Mura, S. And Vahrson, W. **Macrozonation methodology for landslide hazard determination.** Pag. 87.

Tabla XVIII. Índice humedad del suelo y los calificativos respectivos

Calificativo	Valor del parámetro (H)
Muy bajo	0
Bajo	1
Moderado	2
Mediano	3
Alto	4
Muy alto	5

Fuente: Mura, S. And Vahrson, W. **Macrozonation methodology for landslide hazard determination.** Pag. 87.

- ✓ **Índice de la Actividad Sísmica (S):** con el objeto de establecer los criterios para definir las clases de influencia de la actividad sísmica sobre la generación de remociones en masa. Se realiza un análisis retrospectivo de la actividad sísmica en el lugar para determinar cuál es el potencial de generación de remociones en masa por parte de los sismos.

La tabla XIX indica la capacidad generadora de remociones en masa de los sismos según su intensidad MM y el valor del factor respectivo. En esta tabla se han definido 10 clases (peso relativo) para cada situación específica. Es importante recalcar que debido a que la sismicidad es el elemento de disparo más importante, se le ha asignado un valor máximo de 10 para su índice de influencia.

Tabla XIX. Calificación del factor sismicidad (S)

IMM	Calificativo	Valor de (S)	IMM	Calificativo	Valor de (S)
III	Leve	1	VIII	Elevado	6
IV	Muy bajo	2	IX	Fuerte	7
V	Bajo	3	X	Bastante fuerte	8
VI	Moderado	4	XI	Muy fuerte	9
VII	Medio	5	XII	Extremadamente fuerte	10

Fuente: Mura, S. And Vahrson, W. **Macrozonation methodology for landslide hazard determination**. Pag. 89.

- ✓ **Índice de las lluvias intensas (LI):** para la caracterización de la intensidad de las lluvias, se pueden seguir varios métodos, siendo uno de ellos, el siguiente. Se calcula la precipitación máxima esperada para un período de retorno de 100 años para las estaciones que existen en el área, o se puede utilizar un sistema más práctico y sencillo, que consiste en utilizar los registros de precipitación pluvial de una década, y con ellos calcular la precipitación máxima para cada estación meteorológica. Con estos valores de precipitación, se asignan los valores correspondientes del parámetro lluvia (LI), según la tabla XX.

Tabla XX. Clasificación de los valores de lluvias intensas y los valores paramétricos asignados

Precipitación promedio (mm)	Calificativo	Valor del parámetro (LI)
<50	Muy bajo	1
51-90	Bajo	2
91-130	Medio	3
131-175	Alto	4
> 175	Muy alto	5

Fuente: Mura, S. And Vahrson, W. **Macrozonation methodology for landslide hazard determination**. Pag. 90.

Para determinar la amenaza por remociones de masa en un área, se realiza la combinación de los pesos relativos de los valores paramétricos ya descritos, haciendo uso de la ecuación.

$$Ar = (Rr * L * H) * (S * LI)$$

Donde:

- Ar = amenaza por remociones de masa
- Rr = índice de influencia del relieve relativo
- L = índice de influencia de las condiciones litológicas
- H = índice de influencia de la humedad usual del suelo
- S = índice de influencia de la intensidad sísmica máxima
- LI = índice de influencia de la intensidad de las lluvias

La combinación de los factores se realiza considerando que las remociones en masa ocurren cuando en determinada ladera, compuesta por determinada litología, con cierto grado de humedad y con cierta pendiente, adquiere un grado de susceptibilidad (elementos pasivos). Con estas condiciones, los factores externos y dinámicos (sismicidad y lluvia intensa), actúan como elementos de disparo que alteran el equilibrio de las laderas.

Con las combinaciones realizadas para cada unidad de área, se obtiene una serie de rangos y clases que reflejan la amenaza de generación de remociones en masa en determinada zona. En la tabla XXI, se muestra una clasificación de niveles de amenaza que puede ser utilizada para la evaluación en un área.

Tabla XXI. Clasificación de la amenaza de remociones en masa

Potencial	Clase	Grado de amenaza
0-5	I	Muy bajo
6-31	II	Bajo
32-161	III	Moderado
162-512	IV	Mediano
513-1,249	V	Alto
> 1,250	VI	Muy alto

Fuente: Mura, S. And Vahrson, W. **Macrozonation methodology for landslide hazard determination**. Pag. 101.

Seguidamente se implementa el método de Mora-Vahrson modificado para la determinación de la amenaza. Se ha hecho necesario la modificación de la escala de relieve relativo. Ya que los parámetros iniciales presentaban datos poco reales para la escala 1:10,000 en la que se trabajó. La metodología es realizada a través de sistemas de información geográfica.

A continuación se presenta la determinación de parámetros utilizados en la determinación de la amenaza por movimientos de masa en las colonias Villa Hermosa 1 y 2:

- ✓ **Relieve relativo (Rr):** Debido a que el área de estudio es pequeña se utilizó una cuadrícula de 10 metros por 10 metros. La escala fue calibrada las modificaciones se encuentran en la tabla XXII. Además, el figura 21 presenta la valorización de manera gráfica.

Figura 21. Mapa de estimación del relieve relativo (Rr) para las colonias Villa Hermosa 1 y 2

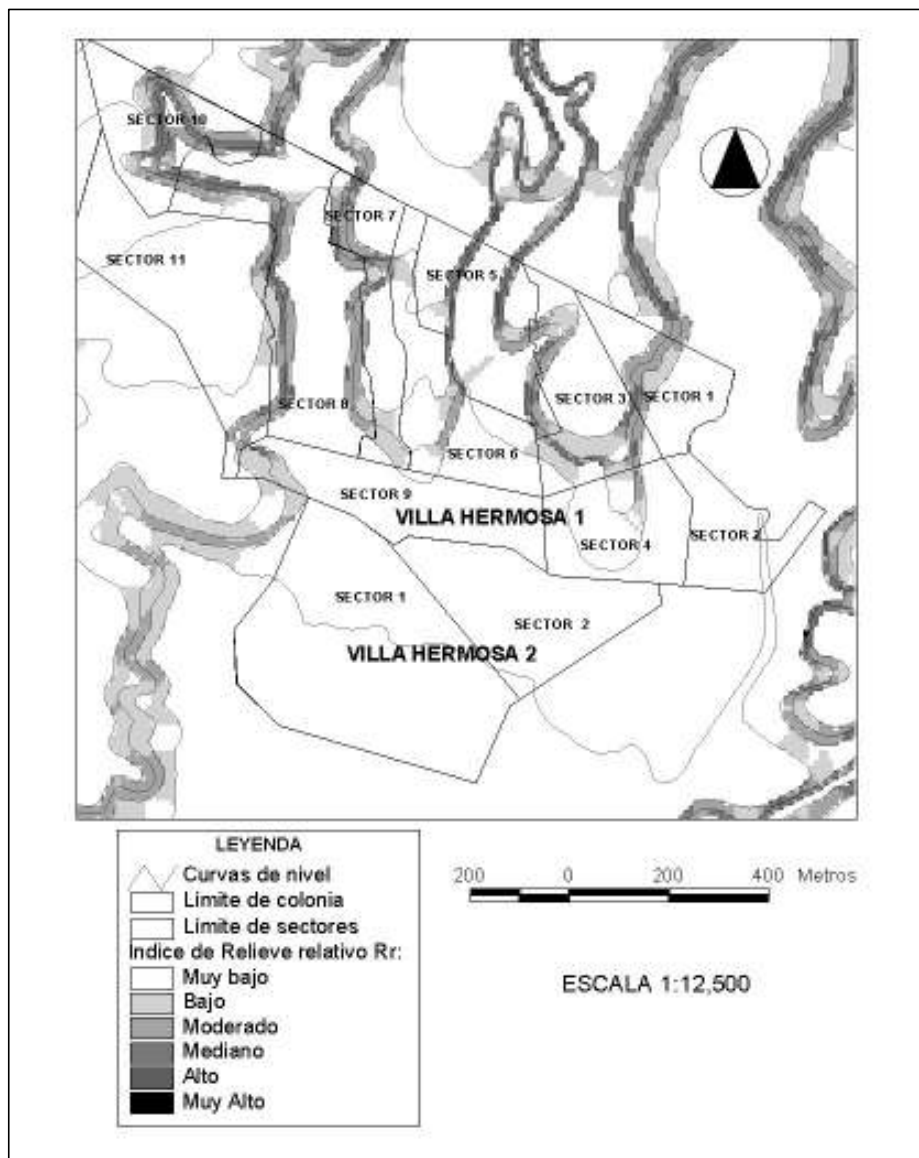


Tabla XXII. Clasificación de Relieve Relativo según Mora y Varhson modificado

Relieve Relativo	Calificativo	Valor del parámetro (Rr)
0-26.79	Muy bajo	0
26.79-57.74	Bajo	1
57.74-100	Moderado	2
100-173.20	Mediano	3
173.20-373.205	Alto	4
> 373.205	Muy alto	5

- ✓ **Índice Litológico (L):** por la cercanía del nivel freático y siendo un material pomítico se determina que el valor de este índice para el área en estudio es 3 correspondiendo a un calificativo de medio.
- ✓ **Índice de la Humedad del suelo (H):** se ha categorizado según la tabla XVII, tomando la precipitación media mensual en un periodo de 30 años que corresponde de enero de 1970 a diciembre del 2000. Los resultados de la categorización se presentan en la tabla XXIII.

Tabla XXIII. Clasificación de valores según promedio mensual en la estación INSIVUMEH

Mes	Precipitación promedio (mm/mes)	Valor asignado
Enero	4.1	0
Febrero	6.61	0
Marzo	9.49	0
Abril	25.9	0
Mayo	110.60	0
Junio	231.08	1
Julio	176.70	1
Agosto	179.20	1
Septiembre	248.79	1
Octubre	114.72	0
Noviembre	31.74	0
Diciembre	6.05	0

De lo anterior, el valor acumulado es de 4, teniendo un calificativo según la tabla XVIII de Alto con un valor de parámetro igual a 4.

- ✓ **Índice de actividad Sísmica (S):** Siendo un área cercana a la ciudad de Guatemala podría presentar un valor S de 8 teniendo un calificativo de bastante fuerte.
- ✓ **Índice de las Lluvias Intensas (LI):** Siendo la precipitación máxima de un día en una década de 365.4 mm obteniendo un calificativo según la tabla XX de muy alto y un valor paramétrico de 5.

Con los valores de peso relativo para cada parámetro se aplica a la ecuación:

$$Ar = (Rr * L * H) * (S * LI)$$

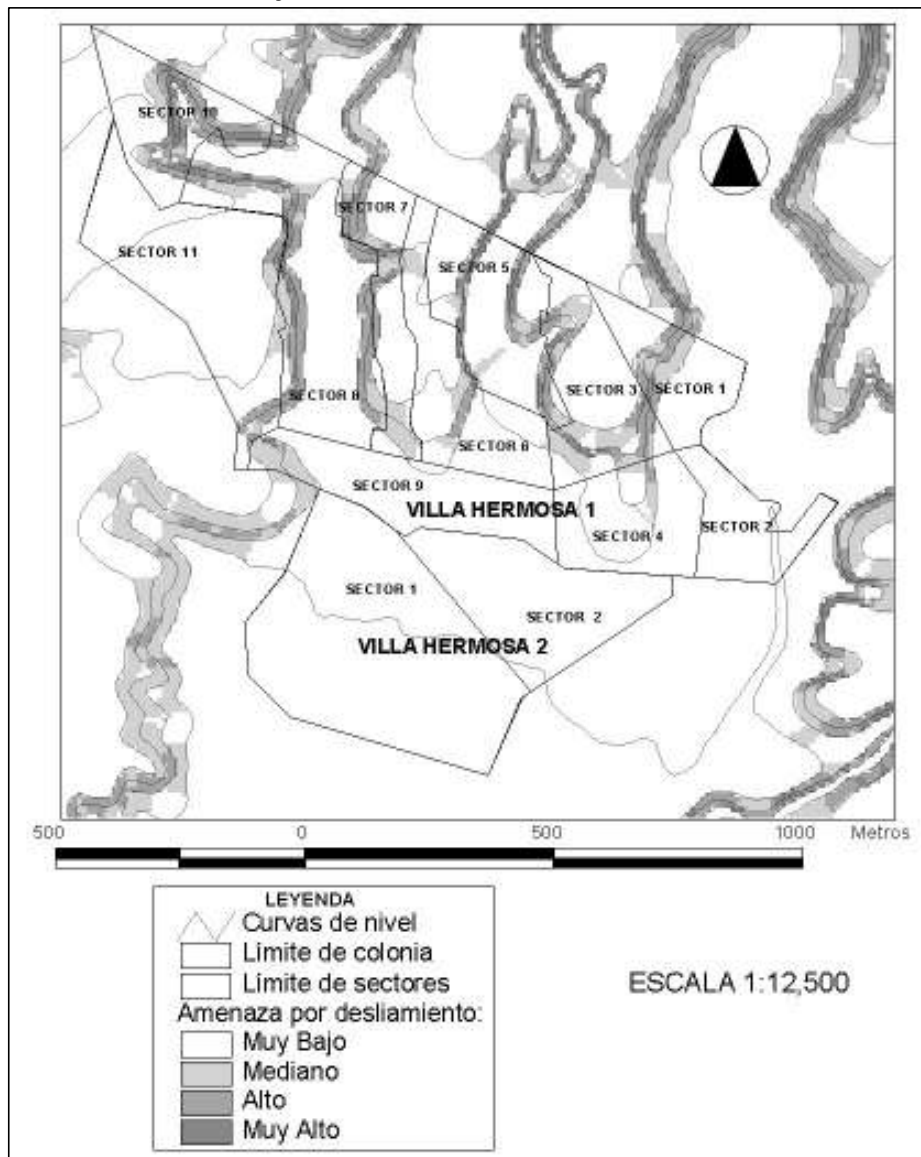
$$Ar = (Rr * 3 * 4) * (8 * 5)$$

De donde Ar presenta los siguientes valores de amenaza en la tabla XXIV según la tabla XXI. También se presenta la figura 22 donde se presenta de manera gráfica los resultados de la amenaza por remoción de masa en las colonias Villa Hermosa 1 y 2.

Tabla XXIV. Resultados del análisis de amenaza por remociones de masa

Relieve Relativo (Rr)	Amenaza por remociones de masa (Ar)	Clase	Grado de amenaza
0	0	I	Muy bajo
1	480	IV	Mediano
2	960	V	Alto
3	1440	VI	Muy Alto

Figura 22. Mapa de amenaza por deslizamiento en las colonias Villa Hermosa 1 y 2



4 MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN

Se entiende por medidas de prevención y mitigación a las tomadas para evitar y/o minimizar un desastre natural o humano, antes, durante y después de un evento catastrófico. Estas medidas tienen el objetivo que la población aprenda a vivir con el riesgo y reducir el número de víctimas fatales. Las medidas de prevención y mitigación pueden ser estructurales y no estructurales, ambas funcionan de forma complementaria.

Las medidas de prevención no estructurales son aquellas que buscan minimizar el riesgo mediante la implementación de reglamentos, incentivos, educación y toda medida que no incluya la construcción de obra civil. Las medidas de prevención estructurales son construcciones y obras civiles, encaminadas a proteger a la población ante una amenaza geológica o hidrometeorológica.

Este capítulo se basa en los datos y las descripciones hechas en los capítulos anteriores. Haciendo observaciones de los riesgos tomando en cuenta en el presente estudio.

4.1 Prevención y mitigación del riesgo por inundación

Se pretende tener control sobre la inundación. Minimizando los efectos de la misma en la población. En esta sección se analiza posibles opciones para mitigar y prevenir el riesgo por inundación. Tomando en cuenta que en las colonias Villa Hermosa 1 y 2 se presentan inundaciones por desbordes y encharcamiento.

4.1.1 Medidas no estructurales inundación por desborde

En los sectores dos y cuatro, seriamente afectados por este fenómeno se propone legislar y hacer cumplir la ley. Prohibiendo tirar desechos sólidos como ripio y basura en el río Pinula. Evitando así el azolvamiento, optimizando la sección transversal del canal. Educando a la población respecto a la disposición de adecuada de los desechos.

Evitar que urbanizaciones dentro de la cuenca del río Pinula hagan uso inadecuado de los suelos. En el sentido que no se deje el suelo desprotegido ante los agentes erosivos (lluvia y vientos). Esta medida va encaminada a evitar el arrastre de suelo que a su vez provoca el azolvamiento del río Pinula.

La implementación de sistemas de alerta temprana ante crecidas. Dando así oportunidad a los pobladores de una adecuada evacuación. Para que dicho sistema funcione deben hacerse campañas de educación mediante charlas y simulacros.

El sistema de alerta temprana está en proyecto por medio de INSIVUMEH y la CONRED. Los responsables del proyecto por medio de la parte técnica sería la CONRED en cooperación con el comité de vecinos de las colonias Villa Hermosa 1 y 2.

Los afectados por el canal de desagüe sector 9 de Villa Hermosa 1 y sectores 1 y 2 de Villa Hermosa 2 se recomienda simulacros de evacuación. Tomando en cuenta el poco recorrido desde donde nace el afluente, un sistema de alerta temprana no sería eficiente.

Identificar sitios altos cercanos donde se puedan ubicar las personas en albergues temporales mientras ocurre la inundación, por ejemplo los sectores 7, 10 y 11 de Villa Hermosa 1.

Las medidas preventivas de índole legislativa deben estar coordinadas por personal profesional y técnico. Siendo ellos de los municipios que tienen influencia en la cuenca del río Pinula. Estas municipalidades son las de Guatemala, Villa Canales, Petapa, Villa Nueva y Amatitlán. Con el objetivo del bien común.

4.1.2 Medidas estructurales inundación por desborde

Estas medidas van encaminadas al control de inundaciones por medio de obra civil. En el caso de la colonia Villa Hermosa 1 en los sectores 2 y 4, se recomienda la reconstrucción de la sección del canal que se ha destruido, recuperando de esta manera los terrenos que han sido erosionados por el río Pinula. También la protección del canal existente.

Dar un mantenimiento permanente al canal y los puentes peatonales y vehicular en la colonia Villa Hermosa 1.

En el sector 9 de Villa Hermosa 1 y los sectores de Villa Hermosa 2 se recomienda la construcción de bordas para la contención de crecidas extraordinarias además de la protección y mantenimiento del canal.

4.1.3 Medidas no estructurales inundación por encharcamiento

Se recomienda hacer simulacros en las escuelas afectadas por inundaciones por encharcamiento. Siendo estas la escuela del sector 8 colonia Villa Hermosa 1 y la del sector 1 de Villa Hermosa 2. El objeto de estos simulacros es el de orientar al estudiante sobre cómo vivir en un lugar en constante riesgo. La coordinación en este caso debe estar a cargo de el Ministerio de Educación y los Bomberos Municipales.

En el sector 8, el más afectado por este tipo de inundación se recomienda elaborar un plan de evacuación y cooperación entre vecinos. Realizar periódicamente simulacros, priorizando la seguridad infantil. La coordinación de este plan debe estar a cargo de los bomberos en colaboración con el comité de vecinos del sector 8.

En los sectores 6 y 9 deben realizarse pequeños simulacros. Por tratarse de una zona donde el nivel no rebasa los 50 centímetros las soluciones estructurales son más factibles.

4.1.4 Medidas estructurales inundación por encharcamiento

Para el sector 8, se deben diseñar un drenaje más eficiente de las aguas pluviales. Este diseño debe tomar en cuenta que parte de las aguas a drenar provienen de la colonia Prados de Villa Hermosa. También debe considerarse la topografía proclive a la inundación. Estas obras deben ser coordinadas por la municipalidad de Petapa en colaboración con la lotificadora de Prados de Villa Hermosa y el comité de vecinos del sector 8.

En el caso del sector 1 de Villa Hermosa 2 se debe redistribuir la evacuación de las aguas pluviales. La canalización de las aguas hacia lugares donde no se vean afectados los intereses de las colonias aledañas. Debe tomar en cuenta que la estructura más afectada es la escuela primaria de la colonia Villa Hermosa 2.

4.2 Prevención y mitigación del riesgo sísmico

Tiene como objetivo minimizar los daños que podría causar un terremoto. Tomando en cuenta que la prioridad será la conservación de la vida humana, procurando un menor número de heridos y víctimas fatales. Las medidas que en este tipo de fenómeno se toman son del tipo no estructurales y estructurales. La educación adquiere gran relevancia para que se tenga buen resultado en estas medidas.

4.2.1 Medidas no estructurales prevención y mitigación de riesgo sísmico

Las colonias Villa Hermosa 1 y 2 por encontrarse en una zona altamente sísmica debe tenerse especial cuidado en las medidas a tomar, para invertir los recursos más eficientemente. En este sentido las medidas no estructurales tienen el objetivo de llevar a la población a una adecuada educación, respetando la jerarquía institucional que existe en el país.

Se recomienda campañas de concientización y educación respecto a la convivencia con la amenaza sísmica . Partiendo de la idea que una población preparada emocionalmente es una población con menos pérdidas en un desastre sísmico. Además, una población educada afronta la crisis de forma eficiente, optimizando recursos. Este tipo de campañas pueden difundirse en escuelas, colegios y medios de comunicación.

Las campañas educativas deben tomar en cuenta la cultura y la idiosincrasia de la población guatemalteca. Deben hacerse periódicamente y con la participación de todos. Las entidades responsables de este tipo de proyectos es la CONRED, bomberos y comités de vecinos.

Se recomienda hacer un código para la urbanización y construcción en el municipio de Petapa. Este código deberá contemplar el aspecto sísmico para la obtención de licencias de construcción, imponiendo sanciones drásticas para los infractores.

En el caso particular de las colonias Villa Hermosa 1 y 2 las viviendas en general están construidas sin ningún diseño sismo resistente. Por lo cual no se toma en cuenta en la construcción el aspecto sísmico en la estructura. Se recomienda hacer una evaluación de las construcciones existentes, analizando la vulnerabilidad de las estructuras ante un sismo. Posteriormente reforzar la estructura que no califique.

4.2.2 Medidas estructurales de prevención y mitigación de riesgo sísmico

En la actualidad la mayor parte de la colonia se encuentra construida, por lo cual la medida no estructural de legislar la construcción el municipio de Petapa no se podría aplicar. Se recomienda en tal caso la revisión de las estructuras a nivel estructural (cimientos, columnas, vigas, soleras etc.), esto a nivel particular. El estudio deberá ser realizado por profesionales en la construcción para mayor seguridad. Haciendo las modificaciones y reforzar según sea necesario en cada caso.

En caso de estructuras vitales como vías de comunicación, escuelas, redes de distribución de agua, electricidad, drenajes, puestos de salud y otros que se consideren de importancia, la municipalidad debe evaluar el estado actual de las estructuras. Se debe considerar su diseño y disponiendo de una manera adecuada de estos edificios para hacer los refuerzos necesarios.

Se recomienda para el diseño de estructuras un análisis sismo-resistente. Deberá considerarse las condiciones de aceleración del área en estudio, refiriéndose a la tabla XXV, en la cual se exponen las aceleraciones respecto al periodo de diseño que se crea conveniente. El criterio a utilizar dependerá del diseñador y factores como la importancia de la obra, período de diseño, vida útil y otros.

Tabla XXV. Aceleraciones esperadas respecto a la probabilidad de excedencia

Probabilidad anual de excedencia	0.1	0.05	0.02	0.01	0.005	0.002	0.001
Periodo de retorno (años)	10	20	50	100	200	500	1000
Aceleración (cm/seg²)	151.19	187.23	235.03	279.19	333.75	407.40	473.73
Aceleración	0.154g	0.191g	0.240g	0.285g	0.340g	0.416g	0.483g

4.3 Prevención y mitigación de riesgo volcánico

En este caso la prevención y mitigación de riesgo volcánico pretende minimizar los riesgos a los que las colonias Villa Hermosa 1 y 2 están expuestas por la actividad volcánica del área. Las colonias Villa Hermosa 1 y 2 están sometidas a la acción de sismos de origen volcánico, por lo cual referirse a la sección de prevención y mitigación de riesgo sísmico. La presente sección está dedicada a la caída de ceniza.

4.3.1 Medidas no estructurales para la prevención y mitigación de riesgo volcánico

Se recomienda campañas educativas e informativas acerca de los volcanes a través de afiches, charlas en las escuelas, capacitaciones y toda aquella actividad que difunda la conciencia de los habitantes, sobre los volcanes y su actividad.

La creación y fortalecimiento de entidades encargadas de la vigilancia de la actividad de los volcanes de Pacaya y de Fuego. Estos volcanes tienen influencia directa sobre el área en estudio. Las instituciones encargadas de prestar esta vigilancia son INSIVUMEH y CONRED.

4.3.2 Medidas estructurales para la prevención y mitigación de riesgo volcánico

Con relación a la caída de ceniza en las colonias Villa Hermosa 1 y 2, las medidas estructurales a tomar son el reforzamiento de estructuras livianas. Interpretese como estructura liviana los techos de lamina con refuerzo de madera, techos de materiales como cartones plásticos etc..

En caso de caída de ceniza se debe organizar cuadrillas de limpieza pública. Estas cuadrillas deberán remover la ceniza de alcantarillas y calles. Además, individualmente cada responsable de una vivienda debe limpiar sus techos inmediatamente después del fenómeno, evitando así el colapso de techos y taponamiento del drenaje pluvial.

4.4 Prevención y mitigación de riesgo por deslizamiento

El fin es evitar las pérdidas materiales y de vidas humanas, mediante la implementación de decisiones por medio de las cuales se conduzca a la seguridad de los pobladores. Es así como se han considerado medidas estructurales y no estructurales para tal efecto.

4.4.1 Medidas no estructurales para la prevención y mitigación de riesgo por deslizamiento

En la zona en estudio se deben implementar medidas educativas para la prevención de tragedias, dando a la población capacitación sobre el manejo de laderas. Haciendo conciencia en no habitar sitios no propicios para la construcción, pues ponen en riesgo sus vidas. Además, de respetar las distancia mínima a la cual se puede construir. La distancia mínima para la colonia Villa Hermosa es de diez metros tanto al pie como en la cresta del talud o ladera, ver figura 23.

Hay que incentivar la protección de laderas mediante vegetación. Este tipo de medida se puede hacer mediante la colaboración de los estudiantes, a fin de reforestar las zonas no habitadas.

Legislar respecto a la no-construcción de viviendas en laderas que circundan las colonias Villa Hermosa. Evitar la extracción de materiales de los taludes y laderas.

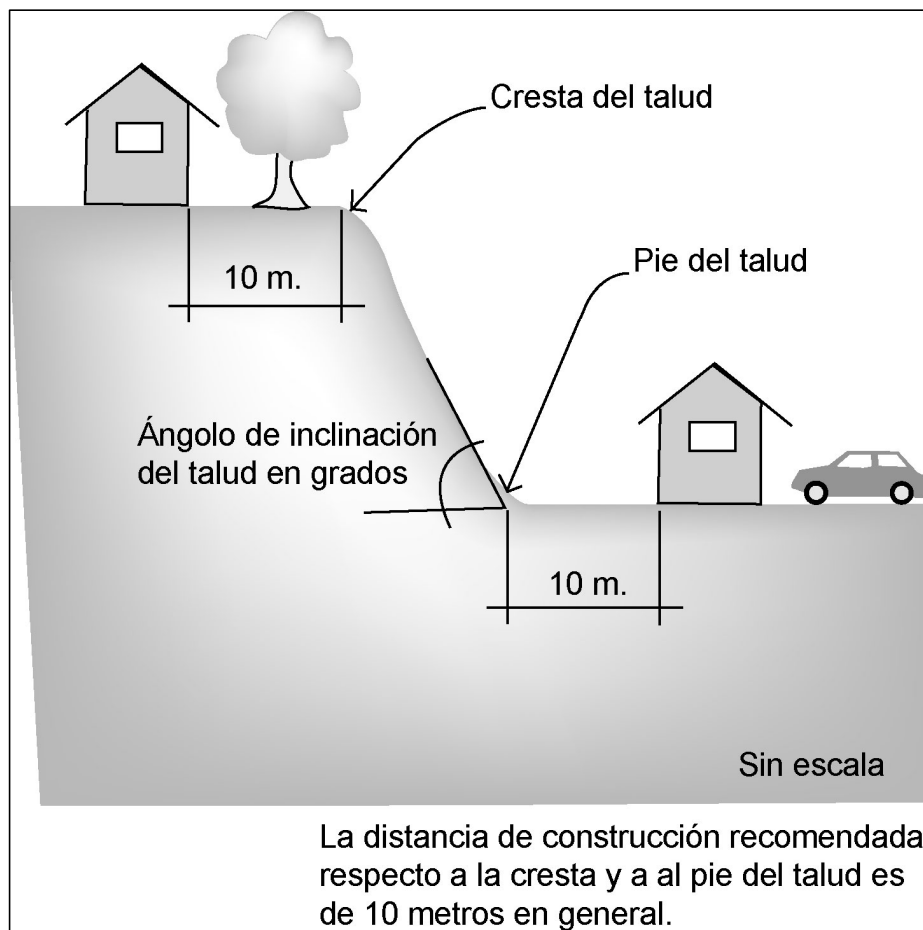
4.4.2 Medidas estructurales para la prevención y mitigación de riesgo por deslizamiento

En el sector 1 de Villa Hermosa 1 existe un talud con pendiente de 85 grados el cual debe ser estabilizado. Se propone una estabilización por medio de hombros. En los sectores 1, 3, 5, 6 de Villa Hermosa 1 existen taludes con pendientes entre 40 y 45 grados los cuales deben ser estabilizados mediante algún sistema, dentro de los cuales podemos implementar, muros de contención, tierra armada, etc.. Se puede estabilizar mediante cualquier sistema pero se recomienda un método que tome en cuenta el concepto ecológico.

En los sectores 2, 7 y 8 se tienen taludes con pendientes entre los 50 y 60 grados. Estos taludes se recomienda estabilizarlos con prioridad pues son un latente riesgo para los habitantes de estas áreas. Se recomienda un método de estabilización en el cual se tome en cuenta la cercanía de los lotes al talud. Como en el caso anterior se recomienda un sistema que tome en cuenta el aspecto ecológico.

En los sectores 9 de Villa Hermosa 1 y sector 1 de Villa Hermosa 2 existen taludes con pendientes entre 80 y 90 grados. Los cuales deben tomarse seriamente en cuenta y con prioridad ya que afecta tanto viviendas como a uno de los accesos a las colonias. Es de notar que en la actualidad esos taludes en su parte superior, cresta del talud, no está ocupado, pudiendo tomar cualquier sistema de estabilización de taludes. Se recomienda el tipo gradas o bermas pudiendo a su vez combinarse con vegetación y un buen drenaje.

Figura 23. Descripción de un talud típico



CONCLUSIONES

1. Guatemala es un país con alta probabilidad de que ocurran eventos catastróficos de diversos tipos, poniendo en alto riesgo a un cuantioso número de habitantes, principalmente las comunidades con bajo nivel cultural y económico.

Con formato: Numeración y viñetas

2. Las colonias Villa Hermosa 1 y 2 están amenazadas por fenómenos geológicos e hidrometeorológicos en diferente magnitud según el sector.

Con formato: Numeración y viñetas

3. Las amenazas geológicas e hidrometeorológicas determinan la condición de riesgo en la que se encuentra actualmente las colonias Villa Hermosa 1 y 2.

Con formato: Numeración y viñetas

RECOMENDACIONES

1. En la actualidad es necesaria la realización de evaluaciones de riesgo en las urbanizaciones tanto nuevas como ya desarrolladas. Esto para crear condiciones seguras de viviendas en Guatemala. **Con formato:** Numeración y viñetas

2. La organización de las comunidades para realizar actividades encaminadas a la búsqueda de la minimización de los riesgos. **Con formato:** Numeración y viñetas

3. La capacitación de técnicos respecto a la problemática del manejo de riesgo. **Con formato:** Numeración y viñetas

4. Implementar en los pensa de Ingeniería cursos sobre prevención de desastres. **Con formato:** Numeración y viñetas

BIBLIOGRAFÍA

1. **Diagnóstico de la prevención de desastres naturales en Guatemala con motivo del XX aniversario del terremoto del 4 de febrero de 1976.** Guatemala: s.e., 1996. 376 pp.
2. Filho, Oswaldo Augusto. **Caracterização geológico-geotécnica voltada á estabilização de encosta: uma proposta metodológica.** In: **Conferência brasileira sobre estabilidade de encosta.** Brasil: s.e., 1992. 733 pp.
3. Filho, Oswaldo Augusto. Carta de risco de escorreamientos cuantificada en ambiente de GIS como subsidio para planos de seguridad en áreas urbanas: um ensaio em Caraguatatuba. Tesis Post Grado. Brasil, universidade Estadual Paulista. 2001. 177 pp.
4. Gómez López, Fredy Antonio. Determinación de la permeabilidad en el laboratorio de relleno piroclástico del valle de Guatemala. Tesis Ing. Civil. Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1989. 98 pp..
5. Hernández F. Edgar. **El CEPREDENAC y el proceso de reducción de desastres naturales en el sector energía.** Guatemala: CEPREDENAC, 1995. 45 pp.
6. López, D. E. Estudio geotécnico para la evaluación de la amenaza por deslizamientos en las colonias "El Incienso" y "La Ruedita" zona 3 de la Ciudad de Guatemala. Tesis Ing. Civil. Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2000. 65 pp..

7. Monzón H. **Informe sobre la Fase 2. Programa de cooperación Técnica en Ingeniería de Terremotos.** Guatemala: GTZ Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH F.R. Germany e INDE Instituto Nacional de Electrificación, 1984. 160 pp.
8. Mora, S. and Vahrson, W. **Macrozonation Methodology for Landslide Hazard Determination.** USA: Bull. Intl. Ass. Eng. Geology, 1993. 305 pp.
9. Mota Chavarría, Manuel Antonio. Evaluación de la amenaza por deslizamientos para un área en el municipio de Chinautla, Guatemala. Tesis Ing. Civil. Guatemala, universidad de San Carlos De Guatemala, Centro Universitario del Norte, 1997. 126 pp.
10. Muñoz Juárez. La falla de Pinula y su incidencia en los problemas de ingeniería. Tesis Ing. Civil. Guatemala, universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1990. 132 pp.
11. Muñoz P. Carlos y otros. **Estudio de aguas subterráneas en el valle de la ciudad de Guatemala. Guatemala.** Guatemala: INSIVUMEH, IGN, ONU, 1978. 303 pp.
12. Pérez Arias, Carlos Leonel. **Cartografía de amenaza por deslizamiento en los barrios marginales del sur de la ciudad capital.** Guatemala: USAC, Facultad de Ingeniería, CESEM, 1991. 61 pp.