



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**RIESGOS GEOLÓGICOS Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN
EN LA CUENCA DEL RÍO PENSATIVO Y ZONAS ALEDAÑAS
A LA CIUDAD DE LA ANTIGUA GUATEMALA**

JUAN CARLOS QUIROA ROJAS
Asesorado por: Ing. Carlos Tobar Jiménez

Guatemala, octubre de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**RIESGOS GEOLÓGICOS Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN
EN LA CUENCA DEL RÍO PENSATIVO Y ZONAS ALEDAÑAS
A LA CIUDAD DE LA ANTIGUA GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

JUAN CARLOS QUIROA ROJAS

ASESORADO POR ING. CARLOS TOBAR JIMÉNEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2004

UNIVERSIDAD DE 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 Ruiz
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. Jorge Alberto Lam Lan
EXAMINADOR	Ing. Martha Patricia Villatoro Estrada
EXAMINADOR	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
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:

RIESGOS GEOLÓGICOS Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO PENSATIVO Y ZONAS ALEDAÑAS A LA CIUDAD DE LA ANTIGUA GUATEMALA.

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil con fecha 13 de noviembre de 2001.

Juan Carlos Quiroa Rojas

DEDICATORIA

A DIOS

Porque de Él procede la sabiduría, el conocimiento y la inteligencia.

A MIS PADRES

Carlos Oswaldo Quiroa García

María Francisca Rojas de Quiroa

Con amor y eterno agradecimiento, por haberme inculcado las bases y principios de superación.

A MI ESPOSA

Norma Elizabeth Son de Quiroa

Por su apoyo moral y espiritual.

A MIS HIJOS

Gabriela Elizabeth, Juan Carlos y Axel.

Como un testimonio de superación.

A MIS HERMANOS

José Humberto, Jorge Estuardo, Patricia Guadalupe y especialmente a Henry Giovanni.

A MIS AMIGOS

En especial a Werner A. Rodas Alcázar.

A LA CIUDAD DE LA ANTIGUA GUATEMALA

Como un aporte para resguardar la seguridad de sus habitantes y su patrimonio cultural.

A LA FACULTAD DE INGENIERÍA

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECONOCIMIENTO

A Ing. Carlos Alberto Tobar Jiménez, por su tiempo y experiencia impartida en el asesoramiento del presente trabajo de graduación.

Al Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas –CESEM-.

A las autoridades de la ciudad de La Antigua Guatemala, en especial al gobernador departamental Dr. Gustavo Adolfo Parada Nájera.

Al Instituto Nacional de Sismología Vulcanología, Meteorología e Hidrología –INSIVUMEH-.

A la Escuela de Ingeniería Civil.

A mis catedráticos de la Facultad de Ingeniería, por sus conocimientos impartidos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	IV
GLOSARIO	VII
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1 GENERALIDADES DEL DEPARTAMENTO DE SACATEPÉQUEZ	
1.1 Generalidades de Sacatepéquez	1
1.2 Posición geográfica, demográfica, y accidentes físicos	2
1.3 Límites geográficos	2
1.4 Aspectos físicos	3
1.5 Montañas	4
1.6 Volcanes	4
1.7 Cerros	4
1.8 Ríos	4
1.9 Productos agrícolas y pecuarios	5
1.10 Productos industriales	5
1.11 Municipios, división política y datos relevantes del departamento de Sacatepéquez	6
2 GENERALIDADES DE LA CIUDAD DE LA ANTIGUA GUATEMALA	
2.1 Generalidades de la ciudad de La Antigua Guatemala	7
2.2 Importancia de la ciudad de La Antigua Guatemala	9
2.3 Edificios y lugares turísticos	12

3	DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	
3.1	Cuenca del río Pensativo y zonas aledañas	15
3.2	Clima	17
3.3	Topografía	17
3.4	Hidrografía	18
3.5	Geología	19
3.6	Mapa geológico	20
3.7	Agricultura	21
3.8	Mapa de uso de la tierra	22
3.9	Distribución de cultivos	23
3.10	Poblaciones que intervienen	23
4	RIESGOS EXISTENTES EN EL ÁREA	
4.1	Riesgo geológico por vulcanismo	27
4.1.1	Tipos de erupciones	31
4.2	Mapa de riesgo por vulcanismo	34
4.3	Riesgo geológico por sismicidad	35
4.4	Mapa de fuentes sísmicas	41
4.5	Riesgo geológico por inundación y azolvamiento	42
4.5.1	Hidrología y meteorología	42
4.5.2	Estaciones meteorológicas e hidrológicas	42
4.5.3	Precipitación en la cuenca	45
4.5.4	Precipitación media	47
4.5.5	Precipitación máxima en 24 horas	47
4.5.5.1	Régimen de caudales	48
4.5.6	Escorrentía probable	50
4.5.6.1	Método Racional	50
4.5.6.2	Método Regional	53
4.5.6.3	Método BR o del hidrograma unitario triangular	54

4.5.7	Determinación del caudal de diseño	55
4.5.8	Sedimentos	55
4.5.8.1	Cambio del curso y nivel	56
4.5.9	Fuentes de sedimentos	60
4.5.10	Mapa por inundación	62
4.5.11	Mapa por azolvamiento	63
5	EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS Y ZONIFICACIÓN	
5.1	Evaluación de los riesgos geológicos y zonificación por vulcanismo	65
5.2	Evaluación de los riesgos geológicos y zonificación por sismicidad	68
5.2.1	Análisis determinístico	68
5.2.2	Análisis probabilístico	70
5.3	Evaluación de los riesgos geológicos y zonificación por inundación y azolvamiento	75
5.3.1	Zonificación de riesgos por inundación y azolvamiento	77
5.4	Mapa de zonificación de riesgos por inundación y azolvamiento	78
6	MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTIVAS	
6.1	Medidas preventivas y correctivas por vulcanismo	79
6.2	Medidas preventivas y correctivas por sismicidad	80
6.3	Medidas preventivas y correctivas por inundación y azolvamiento	81
	CONCLUSIONES	83
	RECOMENDACIONES	85
	BIBLIOGRAFÍA	87

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Ubicación del departamento de Sacatepéquez	3
2	Localización de la cuenca del río Pensativo	16
3	Perfil del río Pensativo	19
4	Mapa geológico de la cuenca del río Pensativo	20
5	Mapa de uso de tierra de la cuenca del río Pensativo	22
6	Poblaciones que intervienen en la cuenca del río Pensativo	24
7	Vías de acceso a la cuenca del río Pensativo	25
8	Mapa fisiográfico de la República de Guatemala	27
9	Ubicación de volcanes en la República de Guatemala	29
10	Comparación entre el volcán más alto del mundo y los 10 más altos de Guatemala	30
11	Mapa de zonificación de riesgo por vulcanismo	34
12	Antiguo continente de Pangea	36
13	Situación tectónica de Guatemala	37
14	Situación tectónica de Guatemala y el sistema de fallas del Motagua	38
15	Mapa de fuentes sísmicas y riesgo por terremoto	41
16	Estaciones meteorológicas en la cuenca del río Pensativo	44
17	Isoyetas en la cuenca del río Pensativo	46
18	Curva de duración de caudales medidos en la estación San Juan Gascón año 81-82	49
19	Curva de duración de caudales medidos en la estación San Juan Gascón año 82-83	49
20	Curva de variación de caudales del río Pensativo	51

21	Mapa de zonificación de riesgo por inundación	62
22	Mapa de zonificación de riesgo por azolvamiento	63
23	Evaluación de la amenaza sísmica	73
24	Mapa de zonificación de riesgo por inundación y azolvamiento	78

TABLAS

I	Ubicación y datos demográficos del departamento de Sacatepéquez	2
II	Municipios, división política y datos relevantes del departamento de Sacatepéquez	6
III	Distribución de cultivos en porcentajes de área en la cuenca del río Pensativo	23
IV	Población de los municipios que conforman la cuenca del río Pensativo	23
V	Principales volcanes de Guatemala	28
VI	Lista de los diez volcanes más altos de Guatemala y el más alto del mundo	30
VII	Lista de estaciones meteorológicas en la cuenca del río Pensativo	43
VIII	Lluvia máxima en 24 horas para la cuenca del río Pensativo	48
IX	Tabla obtenida del método Racional para la cuenca del río Pensativo	51
X	Período de retorno por el método Racional y el método Regional	52
XI	Coeficientes de escorrentía según usos de la tierra en la cuenca del río Pensativo	52
XII	Periodo de retorno en años por los métodos Racional y Regional	53
XIII	Caudales del río Pensativo en la entrada de La Antigua Guatemala y en su desembocadura	54
XIV	Resumen de distribución de tierra y sus coeficientes de suelo	55

XV	Resumen <i>Bureau of Reclamation</i>	55
XVI	Estados de alerta para erupción volcánica (UNDRO, 1987)	67
XVII	Comparación entre los datos de “Esteva y Villaverde” y “Taylor Castillo”	74
XVIII	Datos arrojados por el sistema EQRISK	74
XIX	Resumen de zonificación por inundación y azolvamiento	77

GLOSARIO

Afluentes	Corrientes de agua que se unen a una corriente o río principal.
Cohesión	Características 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	Área que es drenada por una corriente principal y sus afluentes, está hidrográfica 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.
Escorrentía 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.
Geología	Ciencia natural que estudia la tierra.
Graben	Depresión alargada limitada a lo largo por sistemas de fallas normales.
Hidrológica	Lo relacionado con el ciclo del agua.
Homogéneo	Que tiene una composición igual o similar en todo su volumen.
Ladera	Declive de un monte o de las paredes de un valle.
Litología	Características químicas y mineralógicas de las rocas.

Magma	Material fundido que se encuentra dentro de la corteza terrestre.
Magnitud de Ritcher	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.
Piroclastos	Material sólido roto por el fuego y eruptado por los volcanes.
Precipitación	Se refiere a la caída de agua en cualquiera de sus formas sobre la superficie de la tierra.
Sismo	Vibración del terreno provocada por el desplazamiento de una falla geológica.
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.

RESUMEN

En el informe, se hace la presentación de el departamento de Sacatepéquez porque es allí donde se localiza la cuenca del río Pensativo. Se indica la importancia que tiene la ciudad de La Antigua Guatemala para nuestro país y el mundo. Se describe el área de estudio tomando en cuenta los factores que intervienen en los cálculos para cuantificar los riesgos existentes en el área. Los riesgos geológicos que se valúan son: el vulcanismo, sismicidad, inundación y azolvamiento para presentar las medidas preventivas y correctivas.

Al escribir las generalidades de departamento de Sacatepéquez se han incluido la posición geográfica, demográfica y aspectos físicos. Además su división política.

De La Antigua Guatemala se estudian las generalidades y su importancia cultural, turística e industrial.

En la descripción del área de estudio se localiza geográficamente y se toman en cuenta las condiciones de La Antigua Guatemala y las zonas aledañas para el estudio que son: topografía, hidrografía, geología y agricultura.

Para estudiar el riesgo geológico por vulcanismo se describe la ubicación de los volcanes más importantes de Guatemala y también los tipos de erupciones.

La situación tectónica de Guatemala es el factor principal para determinar el riesgo por sismicidad.

Se utilizan tres métodos aproximados: el método Racional, el método Regional y el método BR o del hidrograma unitario triangular para determinar caudales cuando se carece de registros. Esto para determinar cuantitativamente el riesgo por inundación.

El riesgo por azolvamiento se estudia a partir de los sedimentos del río.

Para la evaluación de riesgos el informe contiene el método determinístico y el método probabilístico para evaluación de riesgos por sismicidad. Además de la evaluación de riesgos por vulcanismo, inundación y azolvamiento.

Se incluyen medidas preventivas y correctivas a un nivel de ingeniería para reducir las pérdidas ante los fenómenos naturales.

OBJETIVOS

- **General**

Determinar el riesgo geológico en la cuenca del río Pensativo y zonas aledañas, por vulcanismo, sismicidad, inundación y azolvamiento. Y proponer soluciones, recomendaciones, alternativas a nivel de ingeniería con la finalidad de minimizar los riesgos y mitigarlos.

- **Específicos**

1. Determinación de la implicación de riesgo por vulcanismo.
2. Determinación de la implicación de riesgo por sismicidad.
3. Determinación de la implicación de la inundación y azolvamiento.

INTRODUCCIÓN

Actualmente se ha tenido un avance significativo sobre la calidad del entorno, como el aire, agua, tierra y recursos naturales, por otra parte existe un incremento de la sensibilidad pública hacia los riesgos. Las investigaciones de catástrofes alrededor del mundo, han arrojado información sorprendente, gracias a personas e instituciones que se han dedicado a la investigación de incertidumbres de estos eventos.

Estas investigaciones se hacen con la única finalidad de tener elementos científicos como punto de partida de una evaluación de riesgo, proporcionando guías de aplicación de recursos para proteger el patrimonio cultural, la salud pública y medio ambiente.

La evaluación de riesgo da un marco cuantitativo para la toma de decisiones y acciones acorde a la comprensión de la naturaleza y juicios relativos a riesgos aceptables, brinda además criterios como beneficio-costos, alternativas tecnológicas, valores sociales y culturales, reglamentos de orden y control, además refleja un valor neutral entre la ciencia, economía y seguridad pública.

El riesgo de desastre se define en términos objetivos como una probabilidad de pérdida por parte de la sociedad o un componente de la misma, sin embargo el riesgo tiene una dimensión subjetiva, que consiste en los niveles diferenciados de pérdida en los distintos sectores u segmentos de la sociedad dispuestos a aceptar.

La existencia de riesgo a desastre está sujeta a la presencia de dos factores íntimamente relacionados los cuales son: amenaza y vulnerabilidad.

La amenaza, constituida por diversos contextos de naturaleza física, los cuales al transformarse en un evento real, constituyen un factor de daño o destrucción. La amenaza comprende eventos propios de la naturaleza, eventos que se crean en la intersección de la naturaleza con la sociedad, en donde por diversas prácticas humanas se transforman en elementos de aquella. De tal forma que constituyen amenazas en lugar de recursos.

La vulnerabilidad que comprende aspectos de la sociedad, que preconditionan o hacen propensos a los individuos, grupos familiares, sectores sociales de sufrir pérdidas y de encontrar dificultades en recuperarse de éstas. La vulnerabilidad es una condición social, producto de los procesos y forma de cambio y transformación de la sociedad, explicada en gran parte por el acceso diferenciado a recursos económicos, sociales, organizacionales y de poder.

Tiene expresiones en términos de los niveles económicos y el bienestar de la población, en sus niveles de organización y educación, en sus características culturales e ideológicas y de forma, relacionada en términos de su localización en el territorio, con el manejo de su medio y en las características y resistencia de sus estructuras habitacionales, productivas y de su adecuación al medio físico.

El riesgo se convierte en una situación cambiante de acuerdo con la variación que los dos factores amenaza y vulnerabilidad sufren en el tiempo y en el territorio, producto de cambios en el ambiente natural y en la sociedad.

A medida que el riesgo es producto de los procesos sociales particulares, se convierte en un indicador de desarrollo y de desarrollo humano sostenible, aún en aquellos casos donde no se acompaña por un aumento importante en los niveles económicos de la población.

Frente a la vulnerabilidad como una expresión de lo social, las amenazas naturales se clasifican en cuatro tipos según su origen: Geotectónico, entre los que se consideran los sismos, la actividad volcánica, los desplazamientos verticales y horizontales de porciones de tierra y los Isunamis. Geomórfico, entre los que se tienen en cuenta los fenómenos como lo deslizamientos, las avalanchas, los hundimientos y la erosión. Meteorológico o climático, en donde se hallan los huracanes, tormentas tropicales, tomados, trombas, granizadas, sequías, tormentas de nieve, oleajes fuertes y los incendios espontáneos. Hidrológico, se incluyen las inundaciones, los desbordamientos, anegamientos y el agotamiento de acuíferos.

La región de La Antigua Guatemala ha sufrido daños a causa de fenómenos naturales, históricamente en la época de la conquista fue afectada por las avalanchas de lodo e inundaciones provenientes del volcán de Agua. Actualmente al río Pensativo se le ha dado el crédito de ser el causante de las inundaciones, atentando contra el patrimonio nacional, infraestructura, salud pública y la vida de sus habitantes.

Por todo ello, la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos De Guatemala, por medio del CENTRO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE ENERGÍA Y MINAS, ha aprobado el estudio de RIESGOS GEOLÓGICOS Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN DE LA CUENCA DEL RIO PENSATIVO Y ZONAS ALEDAÑAS A LA CIUDAD DE LA ANTIGUA GUATEMALA.

1 GENERALIDADES DEL DEPARTAMENTO DE SACATEPÉQUEZ

1.1 Generalidades de Sacatepéquez

Guatemala cuenta con 22 departamentos entre los cuales se encuentra el departamento de Sacatepéquez, el cual está ubicado en la zona central del país el cual fue creado por Decreto de la Asamblea Nacional Constituyente del 4 de febrero de 1825. Según el historiador guatemalteco don Francisco Antonio de Fuentes y Guzmán, el nombre de Sacatepéquez, tiene su origen en dos dicciones del idioma PIPIL: SACAT = HIERBA y TEPET = CERRO, de donde Sacatepéquez significa “CERRO DE HIERBA O DE PASTOS”; la cabecera departamental es La Antigua Guatemala.

El grupo étnico mayoritario en algunas regiones es el Cakchiquel, su extensión territorial es de 465 kilómetros cuadrados.

Por sus monumentos históricos, hospitalidad de sus habitantes, la belleza natural que lo circunda, su clima, sus tradiciones y por la variedad de sus productos que en él se elaboran, Sacatepéquez es uno de los centros de mayor afluencia turística, no sólo de América sino de otros continentes, cuenta con todos los servicios esenciales de primera clase, para brindar al turista una grata estadía. Su cabecera departamental ha sido declarada por la UNESCO en 1979 “MONUMENTO COLONIAL DE LA HUMANIDAD”.

Los principales lugares turísticos con que cuenta Sacatepéquez son: La Antigua Guatemala, Ciudad Vieja, San Antonio Aguas Calientes, San Felipe de Jesús, San Juan del Obispo, Santa María de Jesús, Santiago Sacatepéquez, Sumpango; a esto se agrega la ascensión a los volcanes de Agua, Acatenango y Fuego.

1.2 Posición geográfica, demográfica, y accidentes físicos

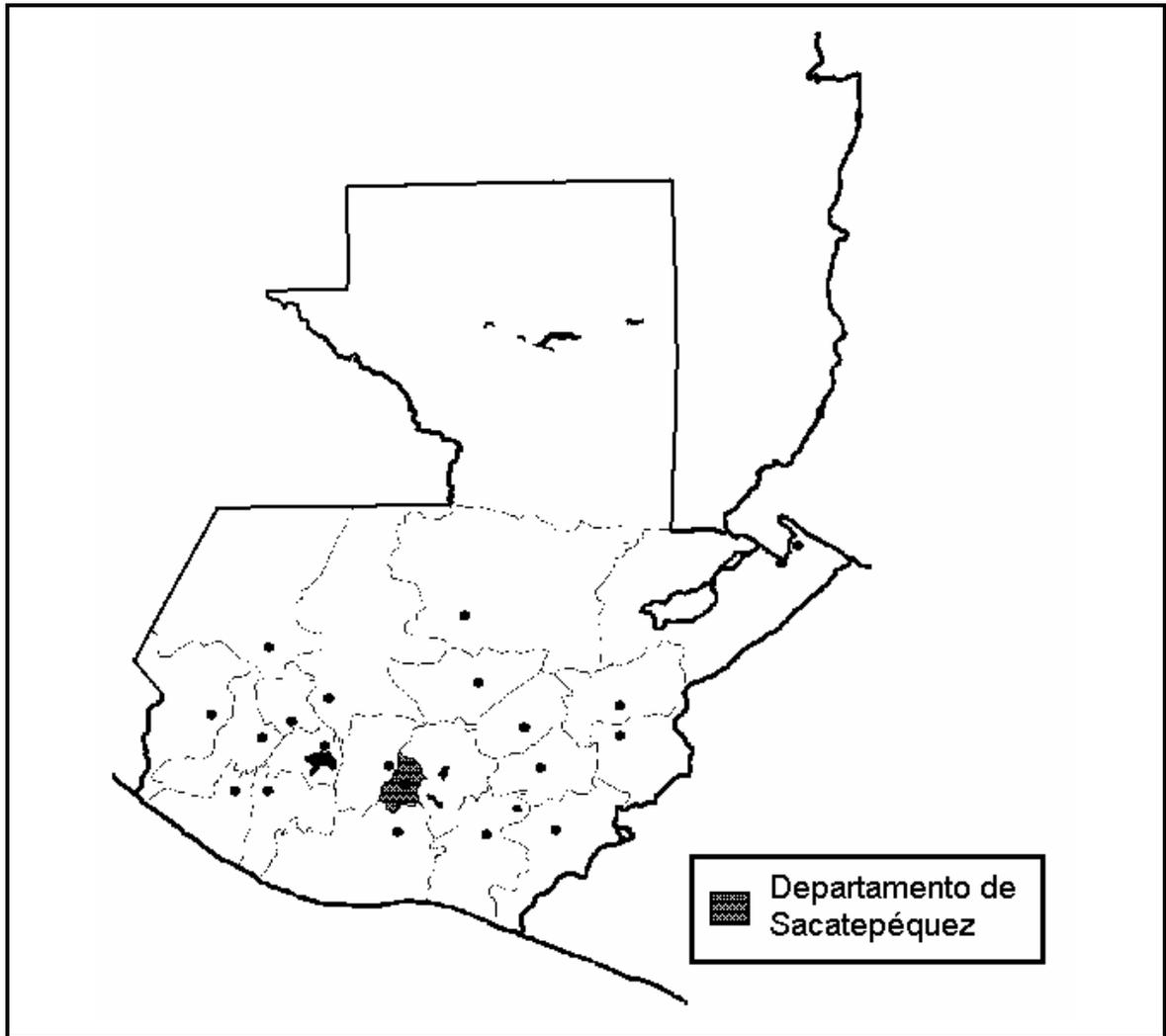
Tabla I. Ubicación y datos demográficos del departamento de Sacatepéquez

Posición geográfica latitud norte	14° 33'30"
Población departamental	248,019 habitantes
Población de la cabecera departamental	41,097 habitantes
Longitud oeste	90° 43'50"
Extensión territorial del departamento	465 Km cuadrados
Extensión territorial de la cabecera departamental	78 Km cuadrados.
Clima	Templado
Altura sobre el nivel del mar	1,530.17 metros

1.3 Límites geográficos

El departamento de Sacatepéquez limita al norte, con el departamento de Guatemala; al sur, con el departamento de Escuintla; al oriente, con el departamento de Guatemala y al poniente con el departamento de Chimaltenango.

Figura 1. Ubicación del departamento de Sacatepéquez



1.4 Aspectos físicos

La topografía del departamento de Sacatepéquez, es montañosa y volcánica, pero existen algunas mesetas y llanuras. Sus tierras son muy fértiles. Debido a que en algunas regiones del departamento el clima es frío, se disfruta de un ambiente agradable y sano.

1.5 Montañas

Entre las montañas principales del departamento, pueden citarse la de Sumpango, en el municipio del mismo nombre; la de Xenacoj, en el municipio del mismo nombre; La de Santa María Cauqué, en el municipio de Santiago Sacatepéquez; la de Soledad y la de Sunay, en Alotenango.

1.6 Volcanes

Los Volcanes del departamento de Sacatepéquez son: el de Agua, (Junajpú o Hunahpú) que mide 3,765 metros de altura sobre el nivel del mar; el de Fuego con 3,763 metros de altura sobre el nivel del mar y el de Acatenango con 3,975 metros de altura sobre el nivel del mar.

1.7 Cerros

Entre los principales cerros están: el cerro de “El tigre” en el municipio de San Miguel Dueñas; El cerro de “La bandera”, en San Lucas Sacatepéquez, célebre porque allí se libró la última batalla de la Revolución Liberal de junio de 1871, llamada la batalla de San Lucas; el cerro de “Monte Rico” y “El Carmen” en el municipio de San Miguel Milpas Altas.

1.8 Ríos

El departamento de Sacatepéquez está regado por los siguientes ríos, el Guacalate que atraviesa los municipios de Pastores, Jocotenango, La Antigua Guatemala, Ciudad Vieja, y Alotenango; luego sigue su curso atravesando el departamento de Escuintla, para desembocar finalmente en el océano Pacífico.

El río Pensativo en el municipio de La Antigua Guatemala el cual se une al río Guacalate, en jurisdicción del municipio de Ciudad Vieja, Sacatepéquez.

El río los Encuentros en el municipio de Sumpango; el río Las Cañas en el municipio de Magdalena Milpas Altas el cual es afluente del río Pensativo; el río Sumpango en el municipio de Santiago Sacatepéquez; el río Sacatepéquez, que nace en San Juan Sacatepéquez, departamento de Guatemala, y que parte de su curso sirve de límite entre los departamentos de Guatemala, Sacatepéquez y Chimaltenango.

1.9 Productos agrícolas y pecuarios

Entre los principales, pueden citarse, café, maíz, frijol, trigo, verduras variadas, flores, árboles frutales de diversas clases, carbón y leña, crianza de ganado vacuno, caprino, bovino, etc.

1.10 Productos industriales

Productos alimenticios, hilaturas, sacos agrícolas, fábricas de calzado, ladrillo refractario, madera pirograbada, cerámica, tejidos típicos, piezas de alfarería, esculturas en madera, yeso, barro cocido, piedra labrada, talabartería, licores, objetos de jade, muebles tallados en diferentes estilos, pieles curtidas, artículos de arcilla, aceite de higuero, estructuras de hierro forjado, bronce etc.

1.11 Municipios, división política y datos relevantes del departamento de Sacatepéquez

Tabla II. Municipios, división política y datos relevantes del departamento de Sacatepéquez

No	MUNICIPIO	Área Km ²	Altura sobre el nivel del mar [m]	Censo 2002 INE	Distancia a la Cabecera [km]
1	La Antigua Guatemala	78	1,530	41,097	0
2	Alotenango	95	1,356	15,848	12
3	Ciudad Vieja	51	1,550	25,696	5
4	Dueñas	35	1,440	8,966	8
5	Jocotenango	9	1,530	18,562	2
6	Magdalena Milpas Altas	8	2,045	8,331	12
7	Pastores	19	1,600	11,682	7
8	San Antonio Aguas Calientes	10	1,520	8,632	9
9	San Bartolomé Milpas Altas	7	2,140	5,291	19
10	San Lucas Sacatepéquez	5	1,800	18,394	19
11	Santa Catarina Barahona	38	1,520	2,957	11
12	Santa Lucía Milpas Altas	19	1,600	10,126	9
13	Santa María de Jesús	34	2,054	14,460	9
14	Santiago Sacatepéquez	15	2,000	22,038	25
15	Sumpango	5	1,900	27,999	38
16	Xenacoj	37	2,140	7,940	39

2 GENERALIDADES DE LA CIUDAD DE LA ANTIGUA GUATEMALA

2.1 Generalidades de la ciudad de La Antigua Guatemala

Con este nombre es conocida oficialmente la ciudad desde el 24 de julio de 1774, que en aquel tiempo fuera la MUY NOBLE Y MUY LEAL CIUDAD DE SANTIAGO DE LOS CABALLEROS DE GUATEMALA, entonces metrópoli del reino de Guatemala, siendo en esa fecha cuando por primera vez se consigna en un documento oficial el de La Antigua Guatemala.

La Antigua Guatemala fue asentada oficialmente en el **Valle de Panchoy o Pancán**, que significa: “**Laguna Grande**”, el 10 de marzo de 1543 por disposición del licenciado Francisco Marroquín, primer obispo de Guatemala, y el licenciado Francisco de la Cueva, en la calidad de gobernadores interinos del reino de Guatemala.

Esta ciudad limita al norte con los municipios de Jocotenango, Sumpango y San Bartolomé Milpas Altas; al oriente con San Bartolomé Milpas Altas y Santa María de Jesús; al sur con Santa María de Jesús y al poniente con Santa Catarina Barahona, San Antonio Aguas Calientes y Ciudad Vieja, todos ellos del departamento de Sacatepéquez.

La ciudad de La Antigua Guatemala está unida a la capital del país por una excelente carretera asfaltada, distante de la misma a 43 kilómetros. Su altura sobre el nivel del mar es de 1,530 metros y su extensión superficial de 78 kilómetros cuadrados.

Dentro de su jurisdicción municipal cuenta con las siguientes aldeas:

- San Felipe de Jesús, que comenzó a formarse a mediados del siglo XVII.
- El Hato.
- San Mateo Milpas Altas.
- San Juan Gascón, fundada por don Gascón de Guzmán en el siglo XVI.
- Santa Inés del Monte Pulciano, fundada a fines del siglo XV.
- Santa Ana, fundada por el padre Juan Godines en 1525.
- San Cristóbal el Bajo, Fundado en el siglo XVII.
- Santa Catalina Bobadilla, fundada por don Ignacio Bobadilla en el siglo XVI.
- San Juan del Obispo, fundado por el primer obispo de Guatemala, licenciado Francisco Marroquín, en el siglo XVI.
- San Gaspar Vivar, fundada por don Luis de Vivar, en el siglo XVI.

- San Pedro Las Huertas, fundada por don Pedro Becerra, tesorero de la Real Caja, después de la trágica inundación de la segunda ciudad de Santiago de Guatemala que tuvo lugar la noche del sábado 11 de septiembre de 1541, según el cronista don Francisco Antonio de Fuentes y Guzmán.
- San Bartolomé Becerra, fundada según el cronista don Domingo Juarros en la labranza que era de don Bartolomé Becerra.
- La Antigua Guatemala goza de un excelente clima primaveral, es templado durante todo el año y oscila entre los 16 y 18 grados centígrados, su valle está rodeado de verdes colinas y por tres colosos volcanes: el de Agua, el de Fuego y el de Acatenango, su suelo lo riegan los ríos Guacalate o Magdalena, al poniente y corre de norte a sur; y su afluente el río Pensativo que corre de oriente a poniente.

2.2 Importancia de la ciudad de La Antigua Guatemala

La ciudad de La Antigua Guatemala por su importancia histórica, cultural y religiosa es en su conjunto un importante centro de atracción turística para nacionales y extranjeros durante todo el año y dadas sus características especiales ha sido objeto de las siguientes distinciones:

- El Rey Carlos V de España, le otorgó como escudo de armas, el mismo de la ciudad de Santiago de Guatemala, conferido en Medina del Campo el 28 de julio de 1532.
- El Rey Felipe II de España le confirió el título de Muy Noble y Muy Leal ciudad de Santiago de los Caballeros de Guatemala, por Real Cédula firmada en el Escorial del 10 de marzo de 1566.

- La Asamblea Nacional Constituyente el 17 de febrero de 1838, le otorga el Título de ciudad Benemérita, por haber sido esta ciudad el foco de Insurrección que el 18 de enero de ese año, desconoció al Jefe de Estado doctor Mariano Gálvez, a cuya administración se le llamo de los siete años.
- Por decreto legislativo 2772 del Congreso de la República, del 30 de marzo de 1944, la declara Monumento Nacional.
- El Congreso de la República por decreto 1254 del 12 de octubre de 1958, la declara Capital de la República por un día, siendo proclamada ciudad Emérita y declarada de interés público y conveniencia nacional su preservación como Joya del Tesoro Centroamericano.
- La UNESCO en 1979, en Luxor, Egipto, declaró a la ciudad de La Antigua Guatemala, patrimonio de la Humanidad incluyéndola en la lista de la Convención del Patrimonio Cultural Mundial de la UNESCO con el número 65; para perpetuar tan trascendental acontecimiento, la UNESCO hizo colocar una placa tallada en piedra, en la planta baja, lado oriente, del Palacio del Muy Noble Ayuntamiento, el 14 de agosto de 1985, en acto especial.
- La VIII Asamblea del Instituto Panamericano de Geografía e Historia, el 7 de julio de 1965, la declara Monumento de América.

El trazo de la exmetrópoli del reino de Guatemala (La Antigua Guatemala) estuvo a cargo del Ingeniero Militar Juan Bautista Antonelli. Sus monumentales palacios, templos, conventos, monasterios, plazas, residencias solariegas y sus ruinas, son fieles testimonios del por qué es considerada como verdadera Joya Arquitectónica de la época de dominación hispánica, única en su género; y ha constituido fuente de inspiración de poetas nacionales y extranjeros.

Rafael Landívar y Caballero, Jesuita, la llamo “Ciudad de la Eterna Primavera”; Carlos Wyld Ospina, poeta antigüeño, la llamo “Ciudad de las Perpetuas Rosas”, siendo también innumerables los estudiosos que se interesan por conocer su fascinante historia.

Toda ella, hace evocar la presencia de España en el Nuevo Mundo, razón por la cual sus autoridades le dedican especial atención para que no pierda su estilo colonial, ya que forma parte del patrimonio histórico, cultural y religioso no sólo de Guatemala sino también de la humanidad que debe conservarse; de ahí que sean celosos preocupándose por velar por su conservación y preservación, máxime si tomamos en consideración que esta ciudad centenaria ha sufrido violentos terremotos en diferentes épocas, particularmente los sismos del 29 de septiembre de 1717, llamados de San Miguel; del 29 de julio de 1773 y del 4 de febrero de 1976.

En 1773, la ciudad de La Antigua Guatemala llegó a tener una población de 70,000 habitantes, y juntamente con Nueva España (México) y Lima (Perú) llegó a ser una de las ciudades más importantes del Nuevo Continente, actualmente su población es de 33,250 habitantes, todos ellos muy hospitalarios. Su población municipal es de 77,317 habitantes.

2.3 Edificios y lugares turísticos

Entre los edificios y lugares turísticos más interesantes de la ciudad merecen citarse:

- El Palacio de los Capitanes Generales, que en el centro y parte superior ostenta el escudo de la casa del Borbón, labrado en piedra, con el nombre de Carlos III que reinaba en España cuando se construyó el mismo; al oriente y simétricamente, una placa labrada en piedra, en la que se lee el nombre del capitán general don Alonso Fernández de Heredia, el del ingeniero militar don Luis Diez de Navarro y el año 1764; al poniente se observa el escudo de la ciudad de Santiago de Guatemala. Esta construcción fue autorizada por el Rey Carlos III por Real Cedula de 13 de junio de 1763.
- El Palacio del Muy Noble Ayuntamiento, inaugurado solemnemente el 19 de noviembre de 1743.
- La Iglesia Catedral y Palacio Arzobispal puesto al servicio religioso el 6 de noviembre de 1680.
- La Antigua Real y Pontificia Universidad de San Carlos de Borromeo, cuya fundación fue autorizada por Real Cédula del 31 de enero de 1676. (Desde 1936, Museo Colonial)
- Museo de Santiago (Palacio del Ayuntamiento)
- Museo del Libro, situado en la casa donde en 1660, a iniciativa de Fray Payo Enríquez de Rivera, se estableciera la primera imprenta.

- Museo de Artesanías que ocupa el antiguo local donde funcionó el Colegio Mayor Santo Tomás de Aquino.
- Templo y Convento de La Merced.
- San Francisco, donde reposan los restos mortales del Beato Hermano Pedro de San José de Betancourth, apóstol de la caridad, fundador del primer hospital para convalecientes y de la primera orden religiosa de Belén en el Nuevo Continente.
- Las Capuchinas, sede de las oficinas del consejo Nacional para la protección de La Antigua Guatemala (CNPAG)
- Santa Clara
- San Felipe Neri (Escuela de Cristo)
- Belén y beaterio de Belén.
- Plaza de la Paz.
- Templo del Calvario, la Compañía de Jesús, donde fue sepultada Ana Guerra de Jesús que murió en loor de santidad.
- Seminario de la Asunción, Ruinas de la Recolectión, la Real Aduana (Colegio de San Jerónimo).
- Casa Real de la Moneda, Ruinas de San Agustín, monumento al Padre Jesuita y poeta antigüeño Rafael Landívar y Caballero.
- Calle de los Pasos, beaterios y ermitas, parques, alamedas y plazuelas, etc.

En su aspecto industrial, la ciudad cuenta con fábricas de muebles de madera tallada, pirograbado, alfarería, orfebrería, hilados, jade, alimentos, sacos para productos agrícolas, calzado, hierro forjado, bronce, ladrillo refractario, cerámica loza vidriada, tejidos típicos, beneficios de café, así como industria lechera y ganadera. El principal patrimonio de sus habitantes de medianos y bajos recursos lo constituye la agricultura, tales como el cultivo de café, maíz, frijol, hortalizas, legumbres, variedad de frutas, floricultura de excelente calidad, algunos de ellos exportables.

También cuenta con suficientes medios de transporte urbano y extraurbano que permiten al visitante movilizarse de la ciudad a los municipios del departamento de Sacatepéquez y las ciudades de Escuintla y Chimaltenango, a través de excelentes carreteras asfaltadas, la ciudad ofrece todas las facilidades posibles y al alcance de todos los medios económicos, pues cuenta con suficientes hoteles, pensiones y casas de hospedaje.

Aun y cuando la mayoría de sus habitantes profesan la religión católica, existen otras denominaciones religiosas.

Por lo anteriormente expuesto, se puede formar una idea de la importancia que tiene la ciudad de La Antigua Guatemala para nacionales y extranjeros.

3 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

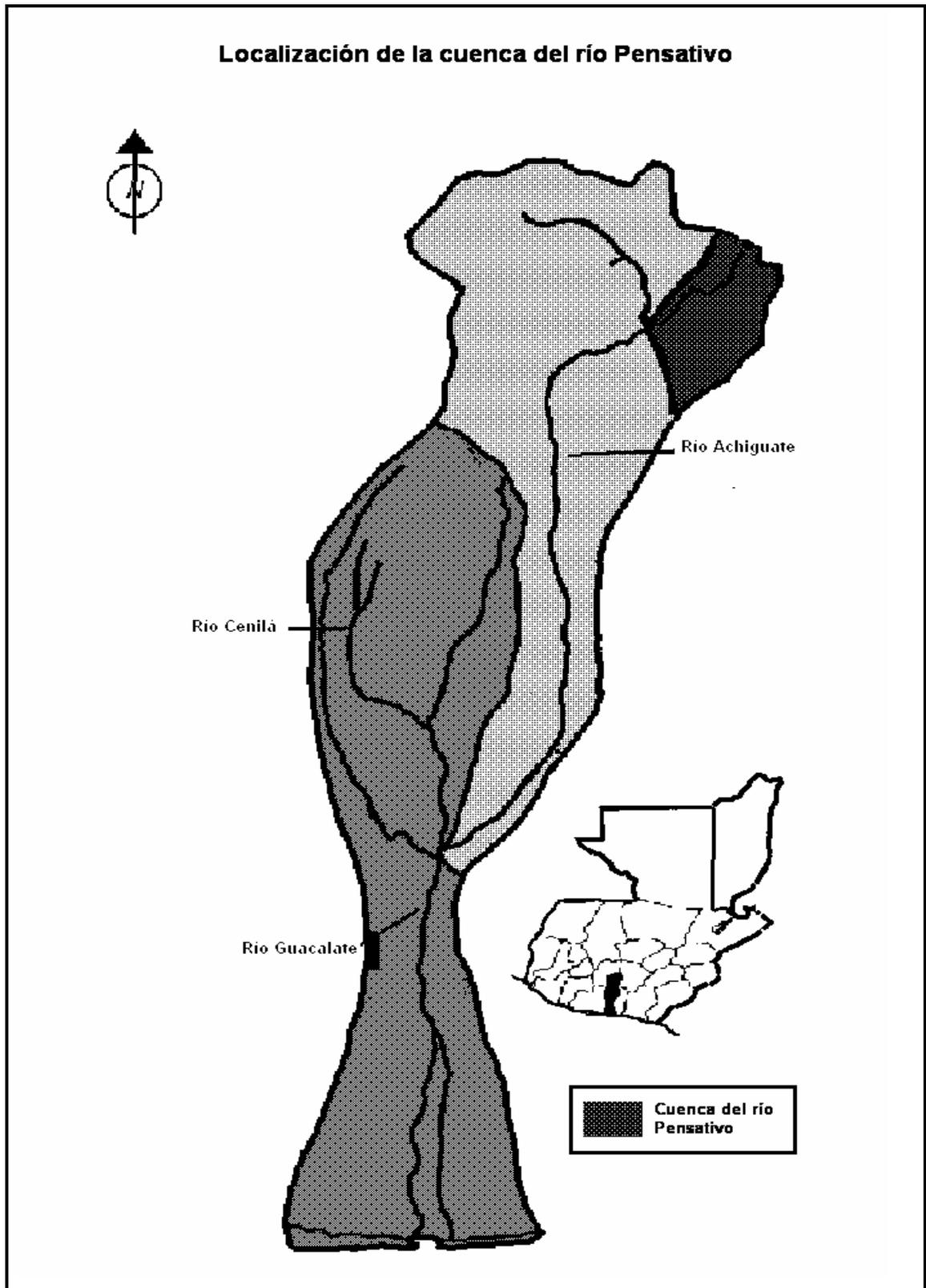
3.1 Cuenca del río Pensativo y zonas aledañas

La subcuenca del río Pensativo está circunscrita en la parte este de la subcuenca del río Guacalate y ésta a su vez forma parte de la cuenca del río Achiguate.

La subcuenca a estudiarse está ubicada entre los meridianos $90^{\circ} 45' 48''$ y $90^{\circ} 39' 39''$ de longitud oeste y los paralelos $14^{\circ} 27' 53''$ y $14^{\circ} 36' 29''$ de latitud norte tiene como límites geográficos, al norte, las cuencas del río Motagua y María Linda, al este y al sur nuevamente la cuenca del río María Linda, al sur y oeste la subcuenca del río Guacalate.

Esta subcuenca tiene una extensión de setenta y siete punto treinta y nueve kilómetros cuadrados (77.39 km^2) y su superficie cubre los siguientes municipios: Ciudad Vieja, Santa María de Jesús, La Antigua Guatemala, Santa Lucía Milpas Altas y Magdalena Milpas Altas todos del departamento de Sacatepéquez.

Figura 2. Localización de la cuenca del río Pensativo



3.2 Clima

El control de los parámetros del clima en el departamento de Sacatepéquez se verifica a través de una red de estaciones meteorológicas y con los datos que se establecen es un área con clima templado, semi-cálido con invierno benigno y poca humedad. Este tipo de ambiente beneficia a los cultivos que los productores siembran en el lugar, como el café, maíz, frijol, y hortalizas, pues se encuentran en un clima óptimo para sus requerimientos. La lluvia media sobre la cuenca es de mil veinticuatro punto cincuenta y cinco milímetros (1024.55 mm) anuales y la temperatura media de 20° C.

3.3 Topografía

La mayor parte del área ocupada por la subcuenca en mención es quebrada, se encuentra algunas regiones planas principalmente donde hay algunos poblados y aldeas.

Entre los principales accidentes orográficos localizados dentro de la subcuenca están:

- Cerro el Piñón, dos mil treinta y cinco metros sobre el nivel del mar (2,035 m.s.n.m.).
- Cerro el Astillero dos mil trescientos cincuenta metros sobre el nivel del mar (2,350 m.s.n.m.).
- Cerro el Narizón dos mil doscientos cuarenta y siete metros sobre el nivel del mar (2,247 m.s.n.m.).

- Cerro las Minas dos mil cuatrocientos ochenta y siete metros sobre el nivel del mar (2,487 m.s.n.m.).
- La cumbre de San Mateo dos mil trescientos cincuenta metros sobre el nivel del mar (2,350 m.s.n.m.).
- Cerro el Cucurucho dos mil seiscientos cuarenta y cinco metros sobre el nivel del mar, (2,645 m.s.n.m.).
- Cerro Sabana Grande dos mil doscientos cuarenta metros sobre el nivel del mar, (2,240 m.s.n.m.).

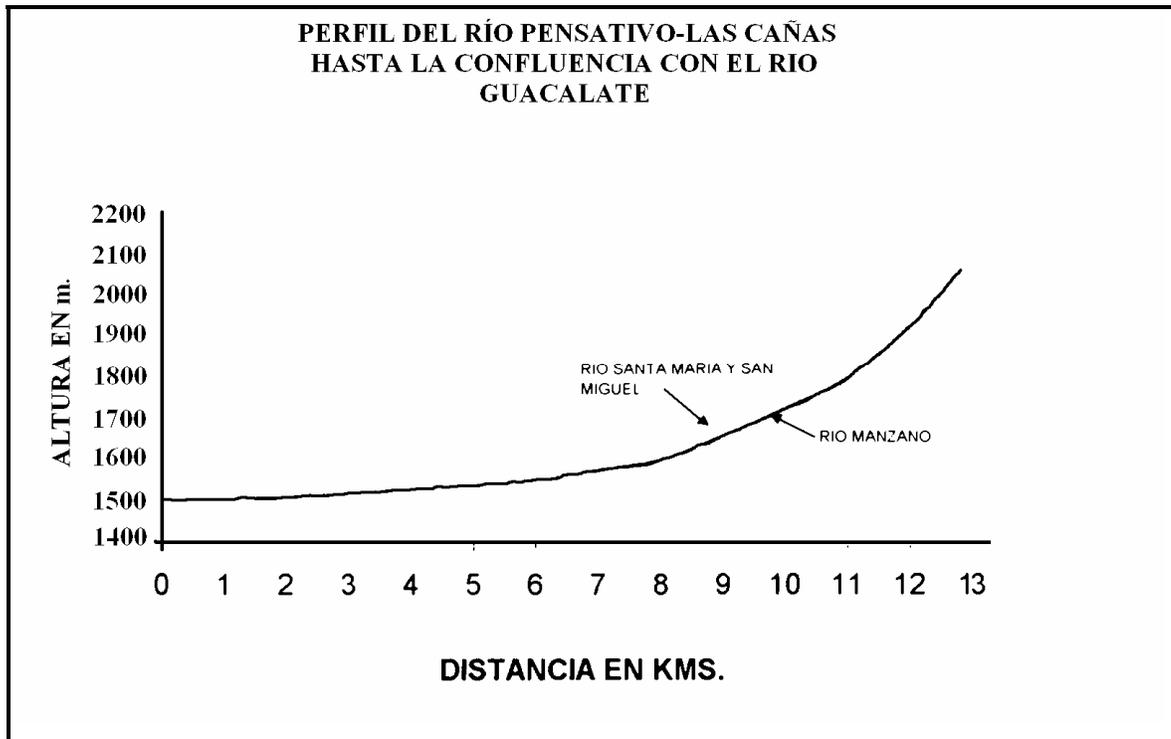
La elevación máxima de la subcuenca en estudio es de tres mil setecientos sesenta metros sobre el nivel del mar (3,760 m.s.n.m.) sitio que se encuentra localizado en el cono del coloso volcán de Agua y la elevación mínima es de mil quinientos cinco metros sobre el nivel del mar (1,505 m.s.n.m.) localizado en la planicie de Ciudad Vieja.

3.4 Hidrografía

Entre los principales ríos que drenan la subcuenca del río pensativos están: El Sauce, Santa María, Las Cañas, Manzano y la Quebrada, Joya del Chilacayote. El río Pensativo nace con el nombre de río Las Cañas y en solo siete punto setenta y nueve kilómetros de longitud, distancia que recorre desde su nacimiento hasta el puente de ingreso a la ciudad de La Antigua Guatemala, desciende quinientos noventa y dos punto cincuenta metros (592.50 m). La longitud total del río hasta su desembocadura en el río Guacalate, es de trece punto veintinueve kilómetros (13.29 Km.) y su pendiente media es del seis por ciento (6%).

El río aunque tiene un caudal pequeño, constituye un peligro y, causa a menudo problemas especialmente en la entrada a la ciudad de La Antigua Guatemala en la época lluviosa.

Figura 3. Perfil del río Pensativo



3.5 Geología

La parte alta de la cuenca del río pensativo está constituida principalmente por sedimentos piroclásticos, que incluyen conglomerados areniscas, pomáceas, tobas y lahares; piroclásticos aéreos y rocas volcánicas basálticas.

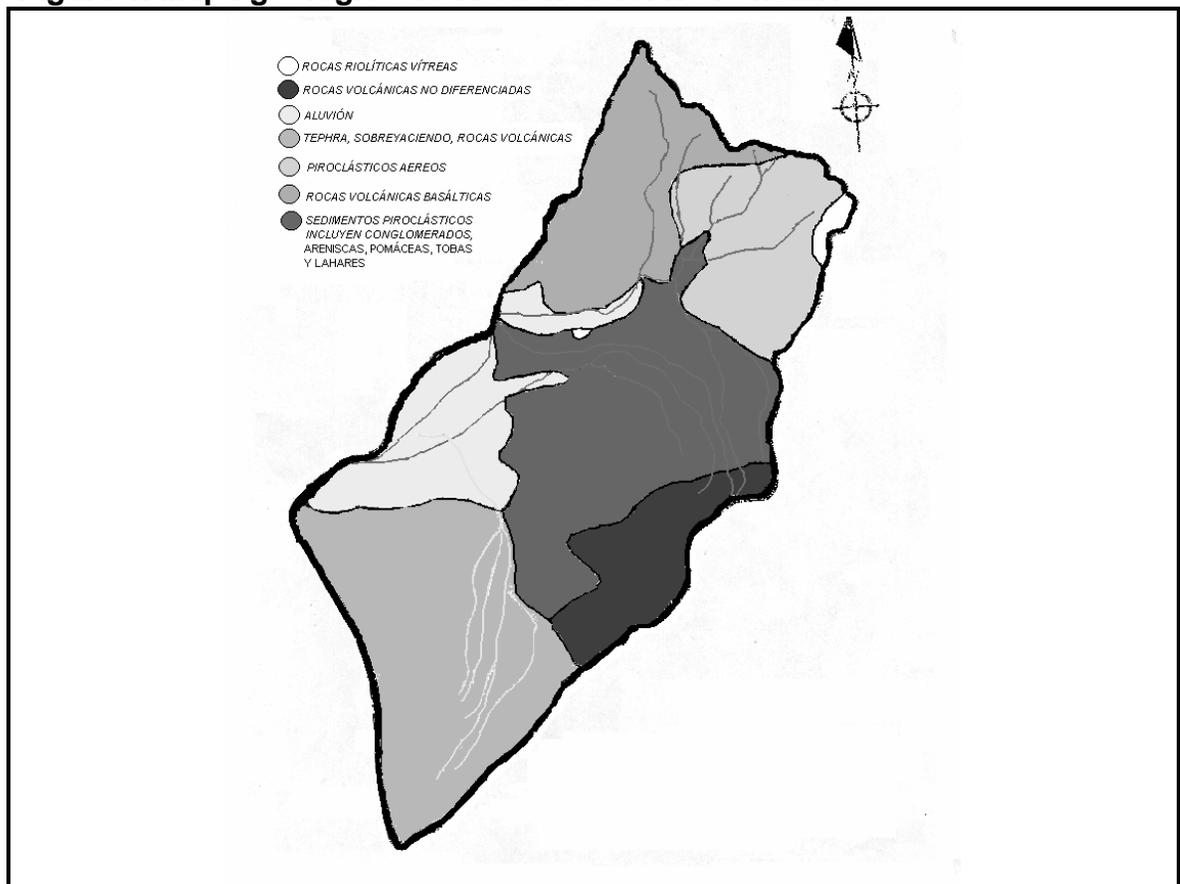
Un aluvión que se forma al inicio de San Juan Gascón rodea el río Pensativo desde este punto hasta su desembocadura. La falda del volcán de Agua está formada por tephras sobreyaciendo rocas volcánicas.

Existe una zona de rocas volcánicas no diferenciadas en la zona este de la cuenca y dos pequeñas zonas de rocas riolíticas vítreas.

El aluvión tiene una gran permeabilidad lo que explicaría la razón por la que el cauce del pensativo se mantiene seco la mayor parte del tiempo. En una inspección de campo se pudo observar este fenómeno ya que a pesar de existir un cierto caudal en el río Pensativo a la altura de San Juan Gascón, en el puente sobre el mismo río a la entrada de la ciudad de La Antigua Guatemala el caudal era inexistente.

3.6 Mapa geológico

Figura 4. Mapa geológico de la cuenca del río Pensativo



3.7 Agricultura

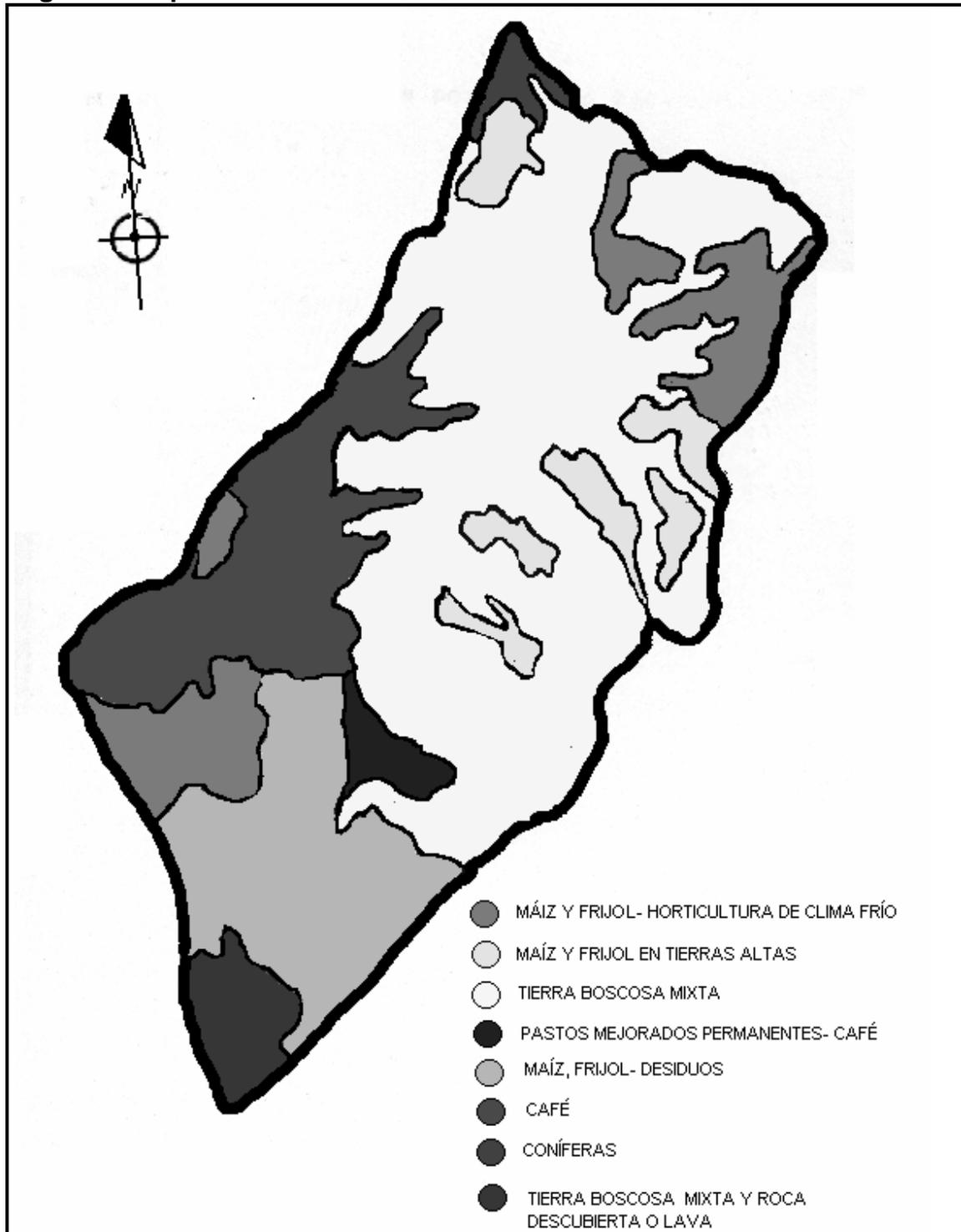
En la subcuenca del río Pensativo, el área cultivada la constituyen los cultivos temporales y permanentes y la no cultivada los pastos y bosques.

Los cultivos temporales, son aquellos cuyo período de siembra y cosecha no excede de un año calendario, en la cuenca se localizan maíz, frijol y hortalizas.

Cultivos permanentes, se entiende aquellos en los cuales el período de recolección está sujeto a cosechas anuales, requiriendo una siembra única para un tiempo largo en este sentido se encuentra el café y algunos árboles frutales.

3.8 Mapa de uso de la tierra

Figura 5. Mapa de uso de tierra de la cuenca del río Pensativo



3.9 Distribución de cultivos

Tabla III. Distribución de cultivos en porcentajes de área en la cuenca del río Pensativo

CULTIVO	% Área Confluencia río Guacalate	% Área hasta el puente entrada a La Antigua Guatemala
Café	32.6	24.8
Bosques	40	50
Maíz, Frijol	22.7	12.8
Hortalizas	3.3	7.4
Pastos	0.8	5.5
Rocas y Lavas	0.6	0
Total	100%	100%

3.10 Poblaciones que intervienen

En el año 2002 La Antigua Guatemala contaba con una población estimada de cuarenta y un mil noventa y siete (41,097) habitantes.

Tabla IV. Población de los municipios que conforman la cuenca del río Pensativo

MUNICIPIO	POBLACIÓN (habitantes)
Santa Lucía Milpas Altas	10,126
Magdalena Milpas Altas	8,331
Ciudad Vieja	25,696
Santa María de Jesús	14,460
La Antigua Guatemala	41,097

La población más afectada es la de La Antigua Guatemala.

El histórico río Pensativo, contado e idealizado por el escritor y novelista José Milla y Vidaurre, debido a los diferentes riachuelos que nacen en la parte alta que arrastran grandes cantidades de sedimentos, durante años ha provocado inundaciones y azolvamiento. Así por ejemplo las de: 1884, 1887, 1896, 1898, 1929, 1933, 1944, 1950, 1951, 1953, 1969, 1979, 1985 y 1986.

Figura 6. Poblaciones que intervienen en la cuenca del río Pensativo

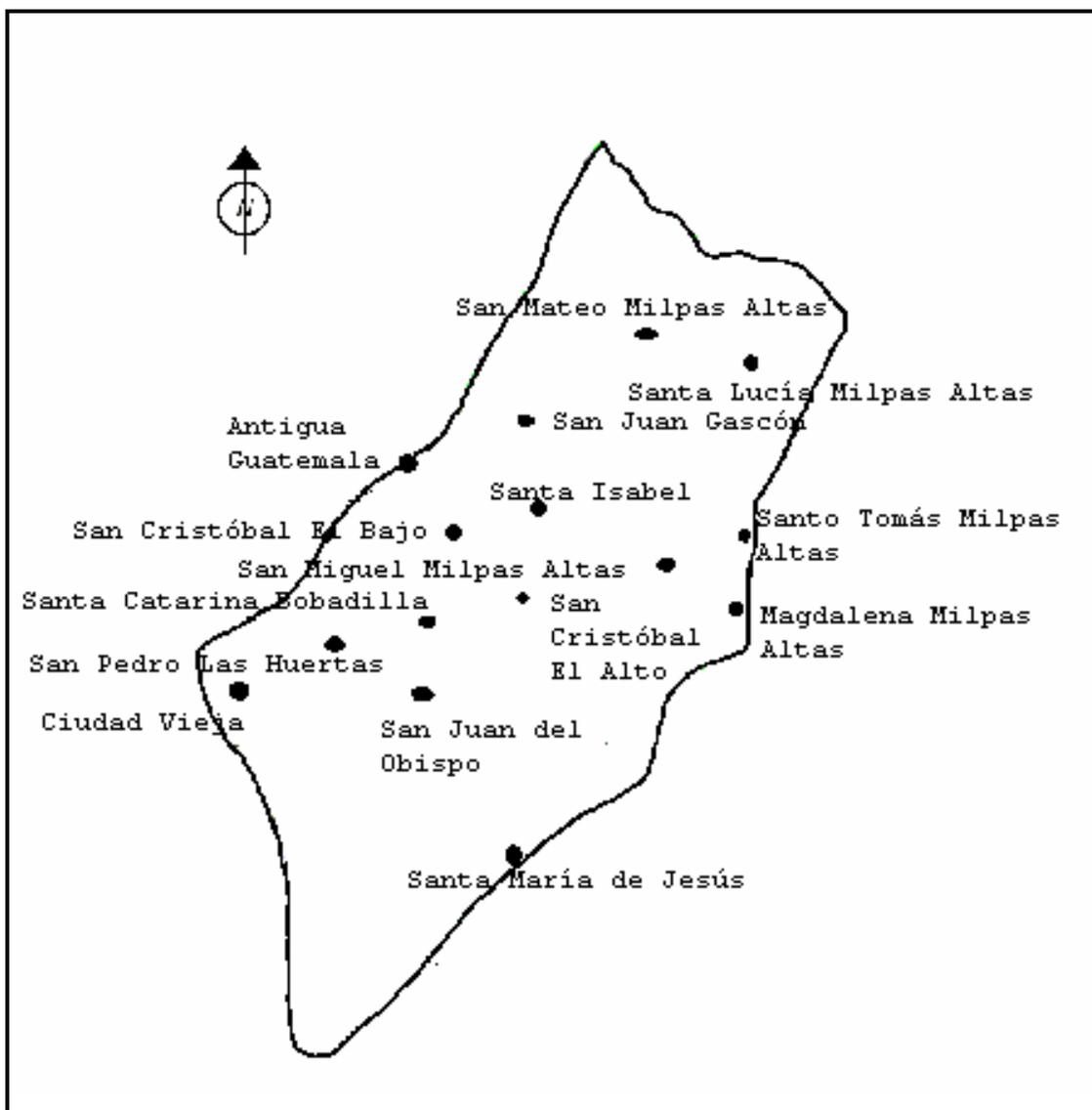
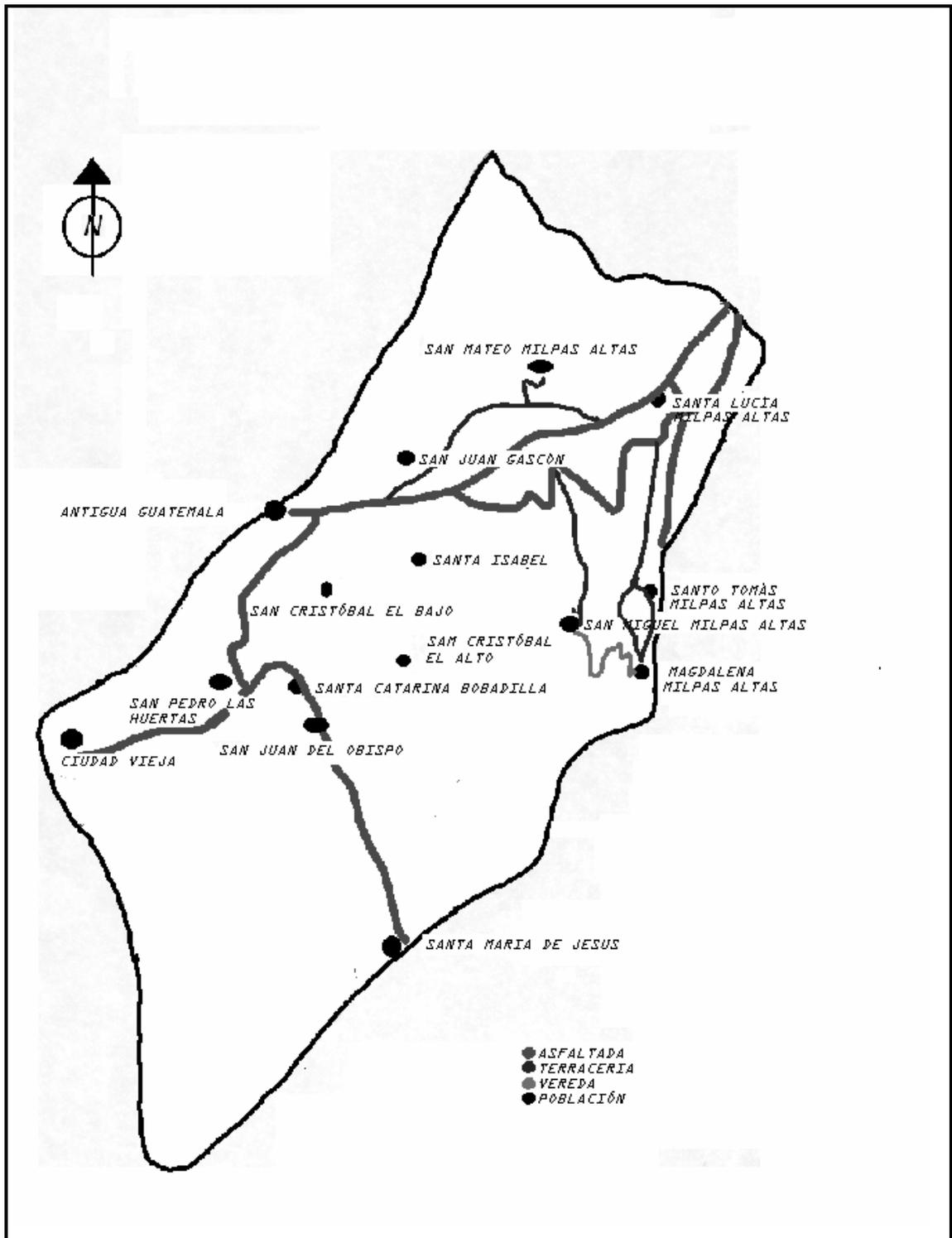


Figura 7. Vías de acceso a la cuenca del río Pensativo

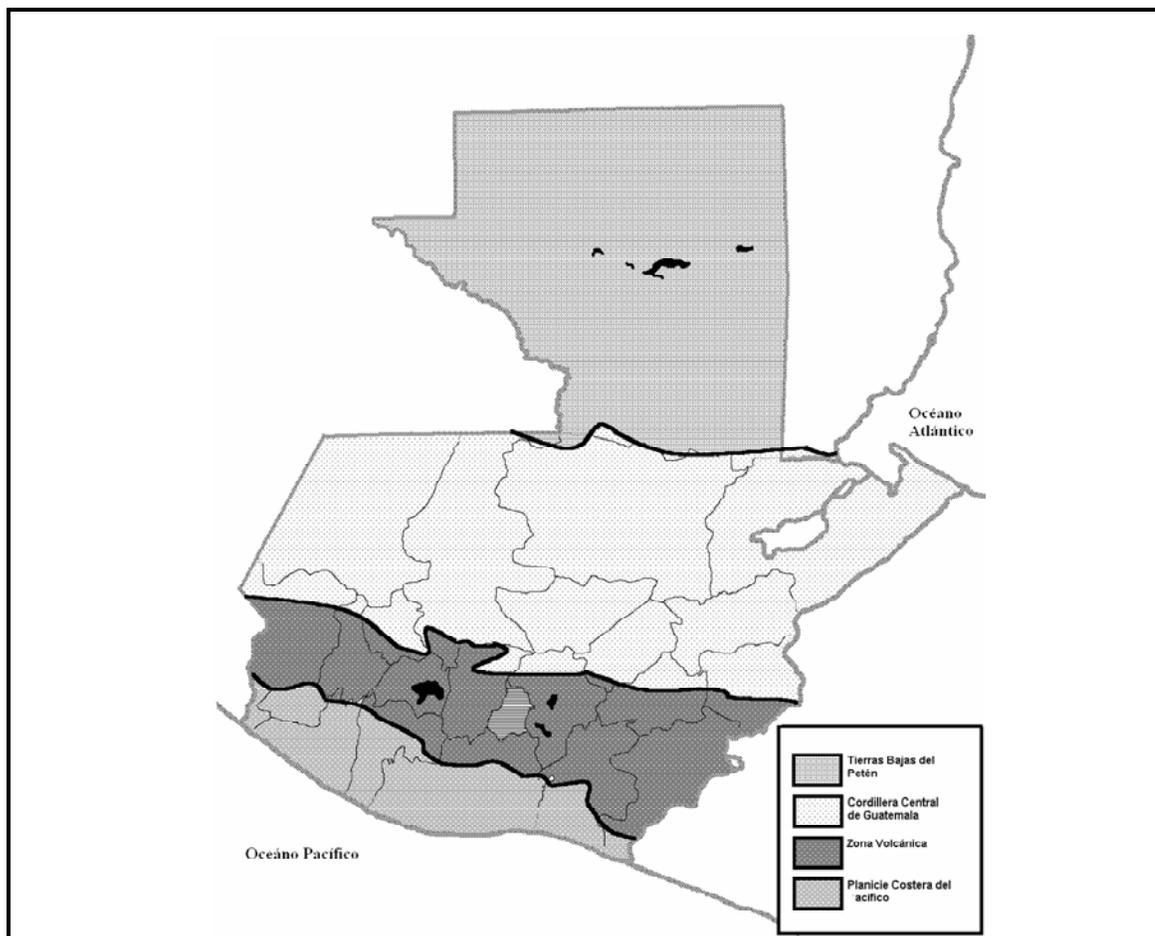


4 RIESGOS EXISTENTES EN EL ÁREA

4.1 Riesgo geológico por vulcanismo

El territorio guatemalteco ha sido dividido en cuatro áreas, dentro de su aspecto estructural y fisiográfico, ellas son de sur a norte: La planicie costera del pacifico, el cinturón o frente volcánico, la cordillera central y las tierras bajas de Petén.

Figura 8. Mapa fisiográfico de la República de Guatemala

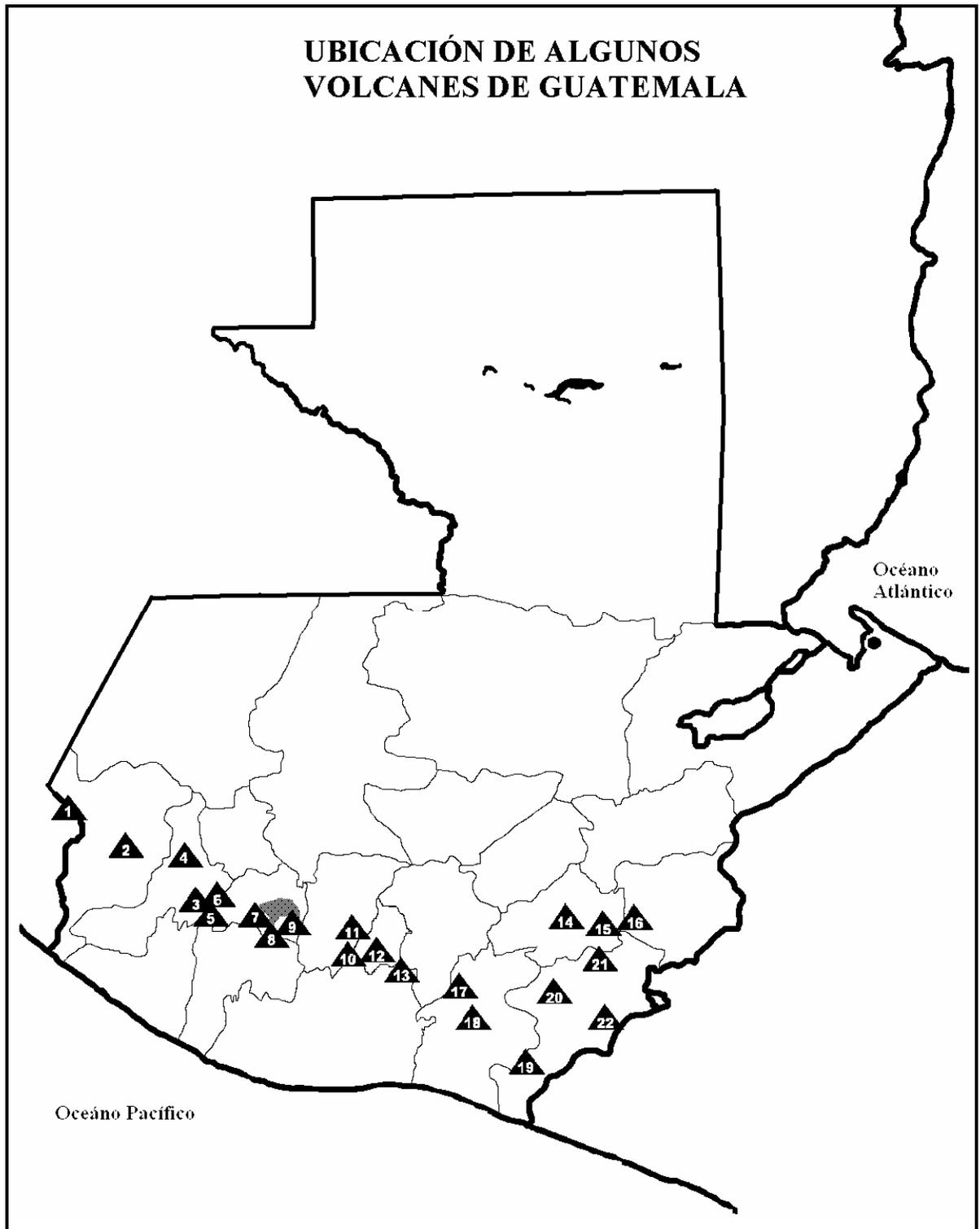


El frente volcánico de Guatemala es el que presenta la cadena de volcanes cuaternarios y activos, se orientan desde la frontera con México hasta el Salvador, e incluye un mínimo de 22 volcanes que son:

Tabla V. Principales volcanes de Guatemala

No	Nombre del volcán
1	Tacaná
2	Tajumulco
3	Santa Maria y Santiaguito
4	Siete Orejas
5	Santo Tomas
6	Zunil
7	San Pedro
8	Atitlán
9	Toliman
10	De Fuego
11	Acatenango
12	De Agua
13	Pacaya
14	Jumay
15	Monterrico
16	Ipala
17	Cerro Redondo
18	Tecuamburro
19	Moyuta
20	Amayo
21	Suchitan
22	Chingo

Figura 9. Ubicación de volcanes en la República de Guatemala



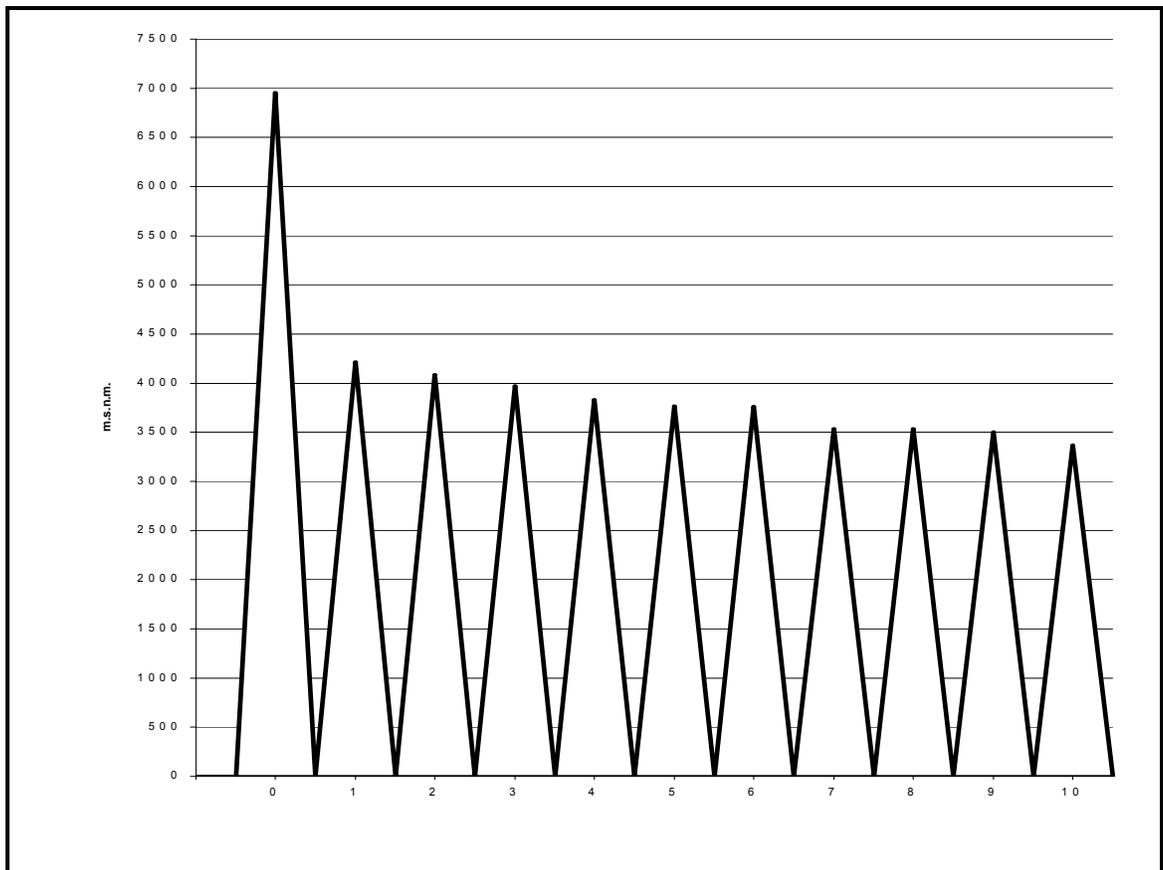
Los volcanes se elevan de 2000 a 4000 metros sobre la llanura costera del sur y 500 a 2000 metros sobre el altiplano volcánico norte. La llanura costera del Pacífico ocupa una franja de 40 a 50 kilómetros de ancho entre el altiplano volcánico y el océano Pacífico.

El frente volcánico cuaternario, enfatizados en algunas estructuras por sus 4000 metros de altura, se elevan escarpadamente desde la planicie de la costa. Bajo los edificios volcánicos y delante de ellos hacia el norte se extiende un área del vulcanismo Terciario, que contiene cuencas y grabens rellenas de material pumítico. Con sus altos volcanes y las grandes depresiones tectónico volcánico cubierto por lagos, el frente volcánico de Guatemala forma uno de los mas impresionantes paisajes volcánicos del mundo.

Tabla VI. Lista de los diez volcanes más altos de Guatemala y el más alto del mundo

No	Nombre	Ubicación	Altura (m.s.n.m)
0	Aconcagua	Argentina	6960
1	Tajumulco	San Marcos	4220
2	Tacaná	San Marcos	4092
3	Acatenango	Sacatepéquez	3960
4	Fuego	Sacatepéquez	3835
5	Santa María	Quetzaltenango	3772
6	De Agua	Sacatepéquez	3766
7	Zunil	Quetzaltenango	3542
8	Atitlán	Sololá	3537
9	Santo Tomás o Pecul	Sololá	3505
10	Siete Orejas	Quetzaltenango	3370

Figura 10. Comparación entre el volcán más alto del mundo y de los 10 más altos de Guatemala



4.1.1 Tipos de erupciones

Por la forma de erupción se les ha denominado Hawaiano, Estromboliano, Vulcaniano, Peleano, Freático, Vesubiano (Pliniano).

Hawaiano: Conocido como lago de lava, es una actividad volcánica de intensidad activa en las islas de Hawai, de donde toma su nombre. Consiste en una depresión de varios cientos de metros de diámetro, regularmente, circulada de paredes verticales en donde existe una superficie de lava en estado fluido. Se puede observar en varios puntos como escapan los gases que se inflaman; la lava es lanzada a varios metros de altura, burbujas de gas irrumpen en la superficie salpicando lava que se solidifica en el aire en forma de delgados hilos cristalinos, en Hawai se conocen como *Peles Hair*.

Estromboliano: Es un tipo de actividad caracterizada por el lanzamiento de fragmentos de lava y escoria. Algunas veces predomina una emisión rítmica de vapor, mientras que en otras se dan erupciones violentas, cuando en la erupción se dan condiciones propias de una solfatara. El termino estromboliano se usa para definir un tipo de persistente actividad volcánica, y no para erupciones de corto tiempo de duración.

En la secuencia de erupción primero se escucha un fuerte silbido que se va incrementando, ceniza, arena y piedras pequeñas, comienza a salir del cráter junto a los gases que comienzan a escapar, haciéndose cada vez más fuerte la emisión de gases hasta que todas las cenizas y material que cubrían el cráter han sido eruptados, entonces, se pasa a la emisión de escoria; si no hay un descenso en la fuerza de erupción, la lava en el conducto sigue ascendiendo hasta alcanzar la boca del cráter, iniciándose la emisión de material fundido que solidifica al contacto con el aire y al caer, uniéndose unos a otros. (repitiéndose el proceso).

Vulcaniano: Se caracteriza por su actividad explosiva e intermitente, generalmente instantánea, cuyo resultado es la configuración típica de estratovolcanes, tienen lugar en el conducto central de altos y empinados conos volcánicos, cuya morfología juega un papel determinante en la generación y sucesión de eventos tales como avalanchas, nubes peleanas. La composición magmática es diferente al Hawaiano y Estromboliano, puede variar desde básico a ácido, es frecuentemente intermedia o félsica. Generalmente, las efusiones comienzan con la formación de una nube eruptiva oscura de cenizas mezcladas con lapilli y bombas, acompañadas regularmente con explosiones hidromagmáticas

Peleano: Es desarrollado por magmas viscosos, mayormente intermedios y ácidos. Grandes cantidades de gas, tierra, ceniza y fragmentos de lava son lanzadas hacia fuera del cráter central, desciende formando lenguas de avalanchas que pueden alcanzar velocidades hasta 100 millas / hora. Esta actividad es altamente destructiva causando grandes pérdidas materiales y humanas. Si el material eruptado no es voluminoso, alcanza solo una distribución local, consistente en cascajos y brechas líticas. En la fase final de la erupción se produce la eyección de magma viscoso que forma domos empinados o espinas, cuyo interior existe un derrumbe parcial o total, desencadenando una nueva erupción.

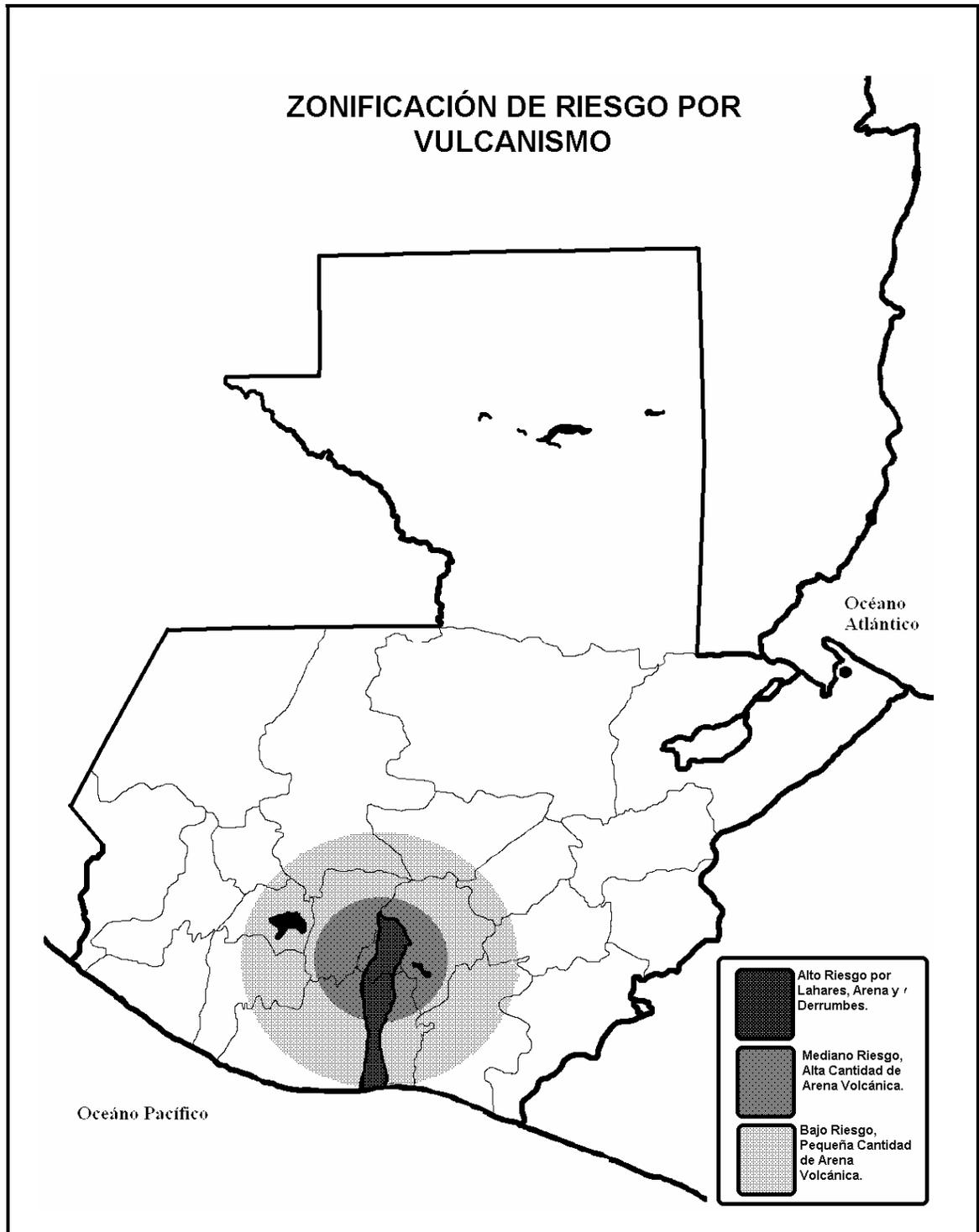
Freático: Erupta una gran columna de vapor, tierra, escoria y ceniza, levantándose a varios pies de altura, este tipo de erupción violenta ocurre cuando una gran masa o superficie de agua entra en contacto con roca caliente o magma en una ventana volcánica e instantáneamente explota como vapor, después de la explosión normalmente se verifica una emisión de lodo caliente y luego una actividad de geiser acompañada por emisión de CO₂ y otros gases.

Vesubiano (Pliniano): Toma su nombre de la famosa erupción del volcán Vesubio en el año 79 A.de C. Este tipo de erupción se caracteriza por su extrema violencia y poder, en ella se produce la efusión continua de un potente chorro gaseoso, y puede durar desde una hora hasta más de un día, e inyecta grandes volúmenes de materiales félsicos y muy vesiculado en la alta atmósfera y en la estratosfera constituye las eyecciones más espectaculares, con grados superlativos de intensidad y magnitud. La altura de la columna eruptiva suele alcanzar de 20 a 60 Km. Los materiales son dispersados a cientos o miles de kilómetros por los vientos predominantes. El espectacular vaciamiento de la cámara magmática que conlleva este tipo de efusión, desencadena el colapso o hundimiento del terreno, formando una caldera, la columna eruptiva conduce a la precipitación masiva de flujos piroclásticos de gran vastedad.

CESEM MAYO 1996

4.2 Mapa de riesgo por vulcanismo

Figura 11. Mapa de zonificación de riesgo por vulcanismo



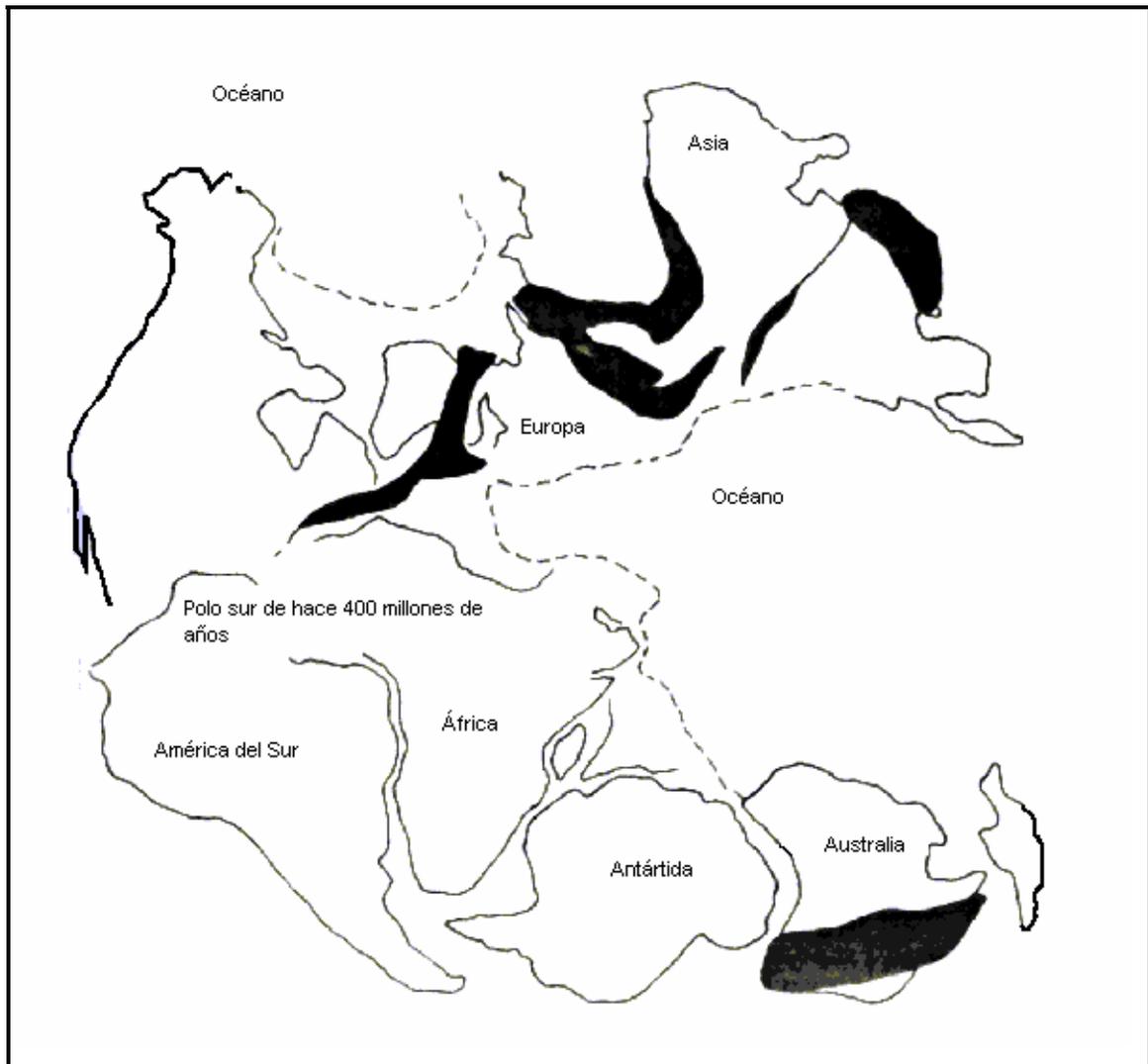
4.3 Riesgo geológico por sismicidad

El concepto de expansión del fondo oceánico se ha relacionado con el concepto de la deriva continental para constituir la teoría de la tectónica de placas.

La geometría de esta teoría hace ver a la litosfera constituida entre un número de placas rígidas. Y su cinemática sostiene que las placas están en continuo movimiento relativo, deslizándose una de la otra horizontalmente y/o verticalmente, en sentidos opuestos. En caso que llegaran a converger, una de las dos placas se destruiría.

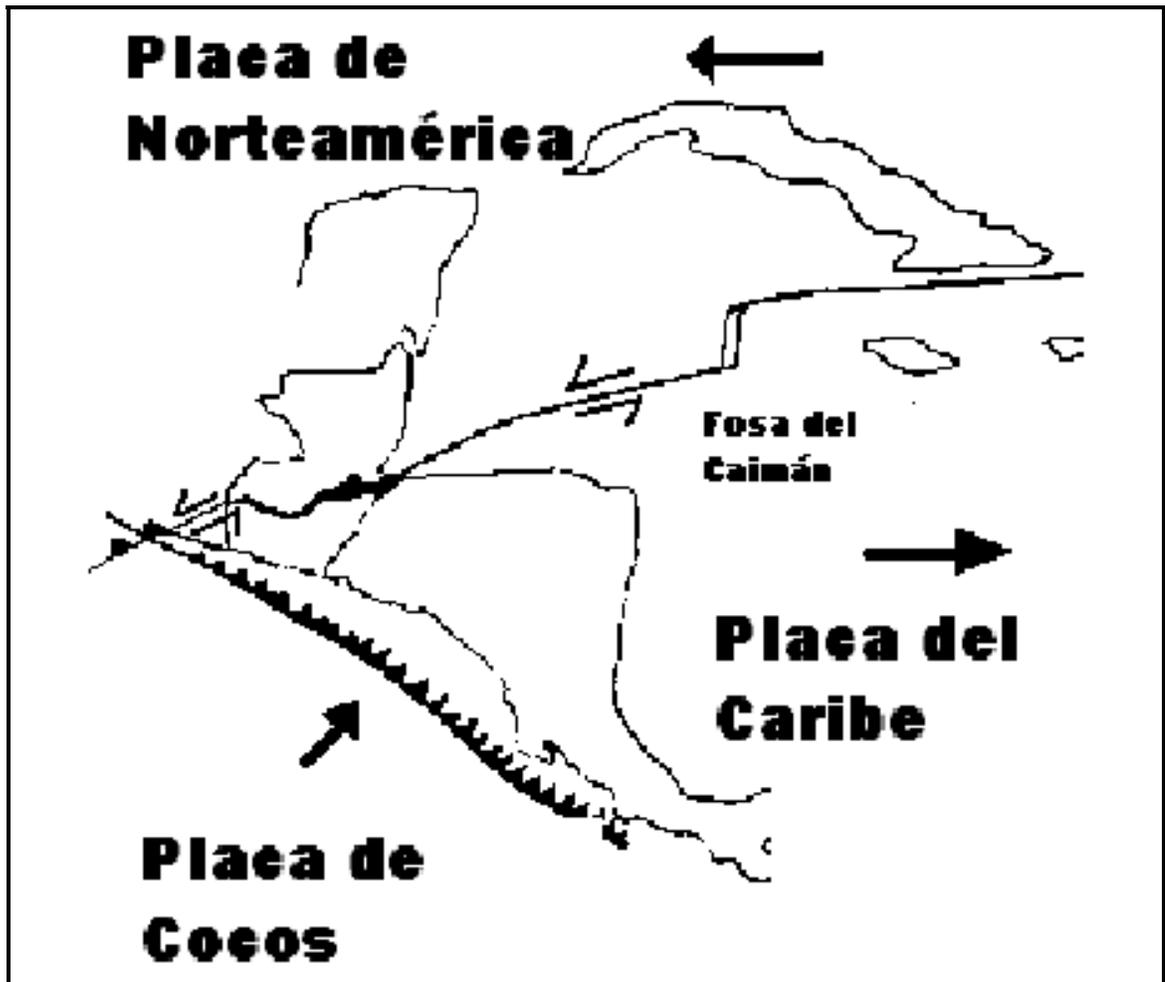
El antiguo continente, conocido con el nombre de Pangea hace 440 millones de años, se puede reconstruir por la unión de todas las grandes masas continentales. La separación de sus masas comenzó hace unos 200 millones de años. Las áreas oscuras indican cadenas orogénicas de más de 260 millones de años.

Figura 12. Antiguo continente de Pangea



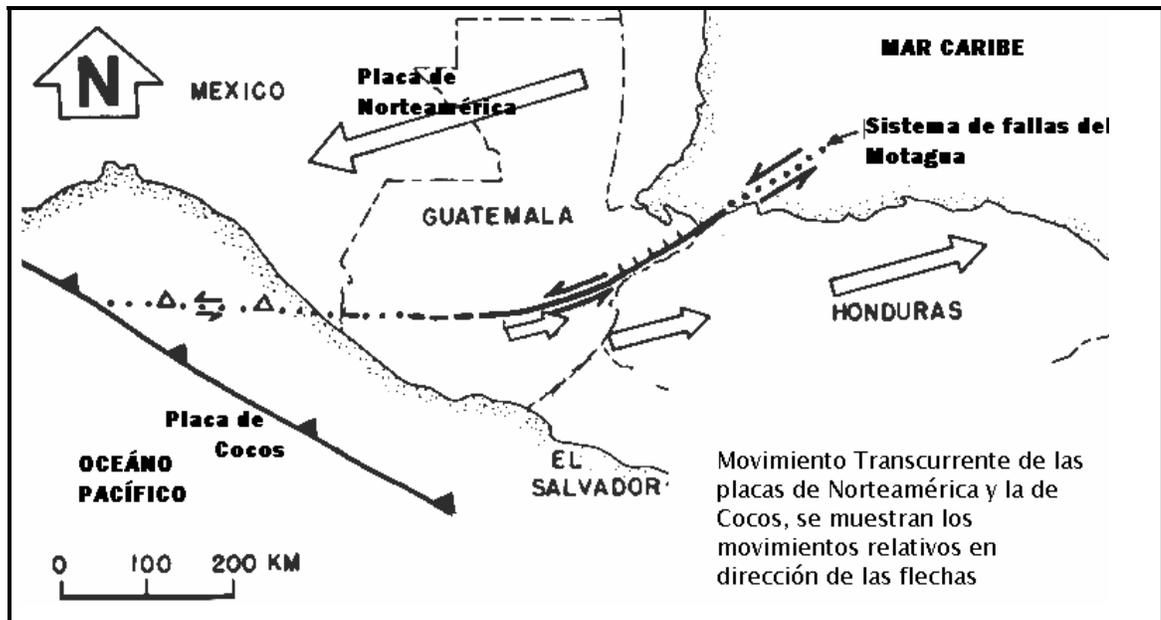
Guatemala se encuentra en la zona de convergencia de las placas tectónicas de **Norteamérica, del Caribe y de Cocos.**

Figura 13. Situación tectónica de Guatemala



De acuerdo con el conocimiento actual sobre la interacción de las placas, la placa del Caribe se desplaza hacia el este de la placa de Norteamérica en forma transcurrente, lo cual está evidenciando por el gran sistema de fallas de **Polochic-Motagua**, el vulcanismo y la sismicidad característica de esta zona.

Figura 14. Situación tectónica de Guatemala y el sistema de fallas del Motagua



Hacia el sur, la placa de Cocos, se sumerge (subduce) bajo la placa del Caribe. Lo cual ha dado lugar a la fosa Mesoamericana, el vulcanismo y la sismicidad, tanto marina como continental, la subducción de la placa de Cocos, no ocurre de manera uniforme sino en segmentos, habiéndose estimado que frente a las costas de Guatemala, la subducción ocurre en tres segmentos (oeste, central y este).

Conjuntamente con el sistema de fallas Motagua-San Agustín, se desarrollaron otros sistemas de fallas de gran importancia a nivel regional, como Jocotán y de Jalpatagua.

La interacción de las tres placas tectónicas ha generado dentro de la placa del Caribe, esfuerzos tensionales, los cuales han provocado grandes sistemas de fallas normales de orientación norte-sur aproximadamente, estos sistemas de fallas han desarrollado estructuras escalonadas del tipo *Graben-Horst*. Entre estos sistemas se encuentran las fallas denominadas Santa Catarina Pinula y Mixco.

Los sistemas de fallas Santa Catarina y Mixco, convergen hacia el volcán Pacaya, interceptándose con el sistema de fallas de Jalpatagua. El terremoto de 1976 provocó una gran liberación de presiones tectónicas y activó estos sistemas, generando sismos de menor magnitud, como consecuencia provocó deslizamientos, ruptura de carreteras, aparecimiento de grietas en viviendas. Los sismos de menor magnitud tienen como consecuencia provocar daños materiales y psicológicos en la población.

Cuando se produce un evento sísmico, uno de los principales problemas consiste en determinar la fuente que le dio origen, los sismos pueden ser provocados por la interacción de las placas tectónicas y estos se denominan **sismos tectónicos de borde de placa**, los sismos también pueden ser generados por una falla activa dentro de una placa, a estos se les denomina **sismos tectónicos de intraplaca**.

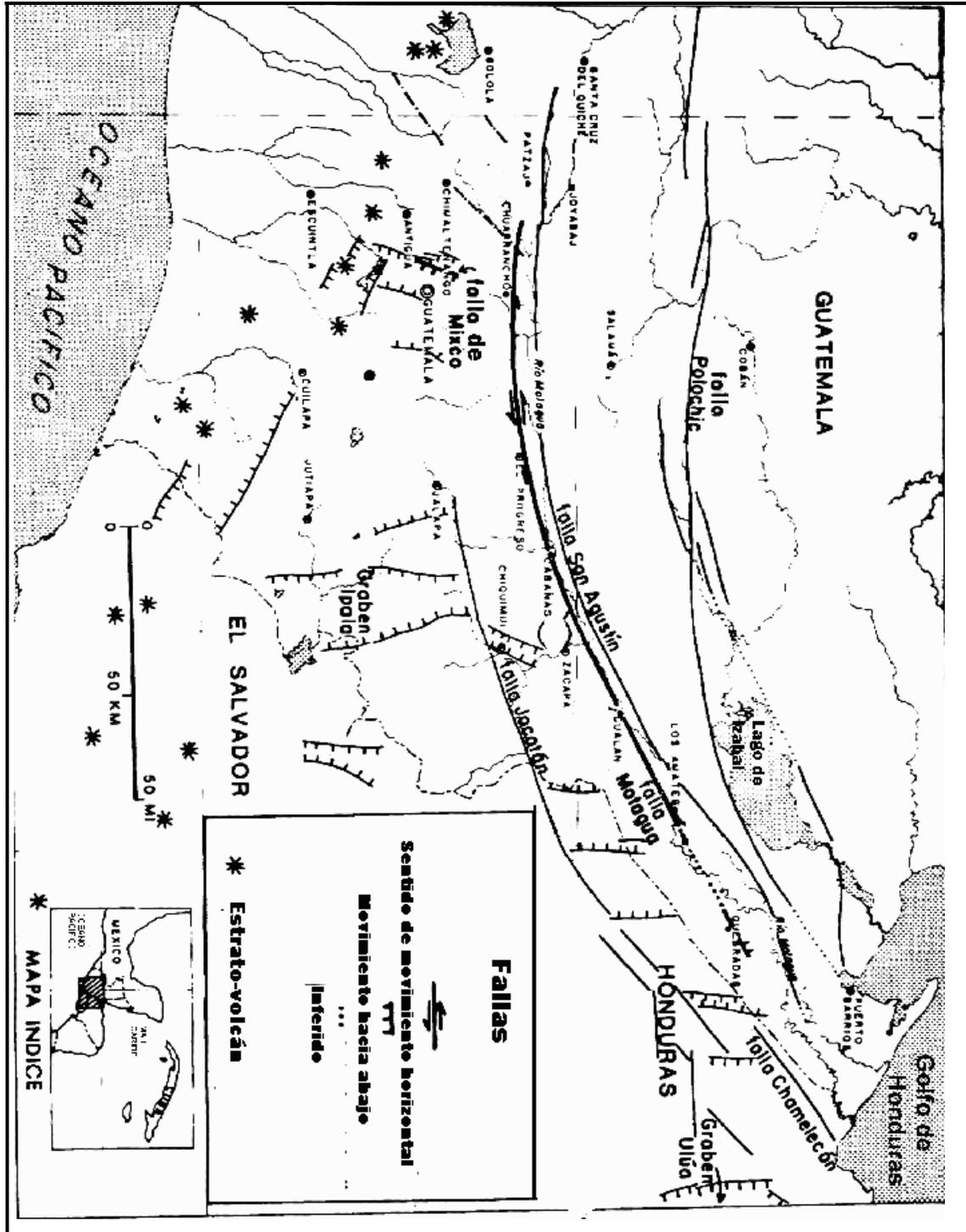
En las zonas volcánicas activas, los movimientos del magma y su ascenso dentro de las cámaras también generan sismos, a estos eventos se les llama sismos volcánicos. En algunas zonas puede ocurrir una salida rápida y violenta de material magmático a la superficie principalmente en forma de piroclásticos, esto puede provocar un vaciamiento parcial de la cámara magmática y como consecuencia puede generar la activación de fallas cercanas u originar nuevas fallas por el colapso del edificio volcánico, a este tipo de sismo se le denomina **sismo volcano-tectónico**.

De acuerdo a la ubicación de la cuenca del río Pensativo y su área de influencia se puede determinar las principales fuentes sísmicas que han afectado y podrán afectar en el futuro, las cuales son:

- Sistema de fallas del Motagua
- Sistema de fallas del Polochic
- Sistema de fallas de Jocotán
- Sistema de fallas de Mixco
- Sistema de fallas de Santa Catarina Pinula
- Sistema de fallas de Jalpatagua
- Complejo vulcano tectónico del Pacaya
- Complejo vulcano tectónico de Fuego
- Complejo Vulcano Tectónico de Agua
- Zona Volcánica Central

4.4 Mapa de fuentes sísmicas

Figura 15. Mapa de fuentes sísmicas y riesgo por terremoto



4.5 Riesgo geológico por inundación y azolvamiento

Existe una relación entre las condiciones hidrometeorológicas, los suelos, el relieve, la cobertura vegetal y los tipos de rocas las cuales inciden en las inundaciones y azolvamientos.

4.5.1 Hidrología y meteorología

Se debe tener en cuenta la relación que existe entre el ciclo del agua y el clima, para esto debemos basarnos en datos instrumentales.

4.5.2 Estaciones meteorológicas e hidrológicas

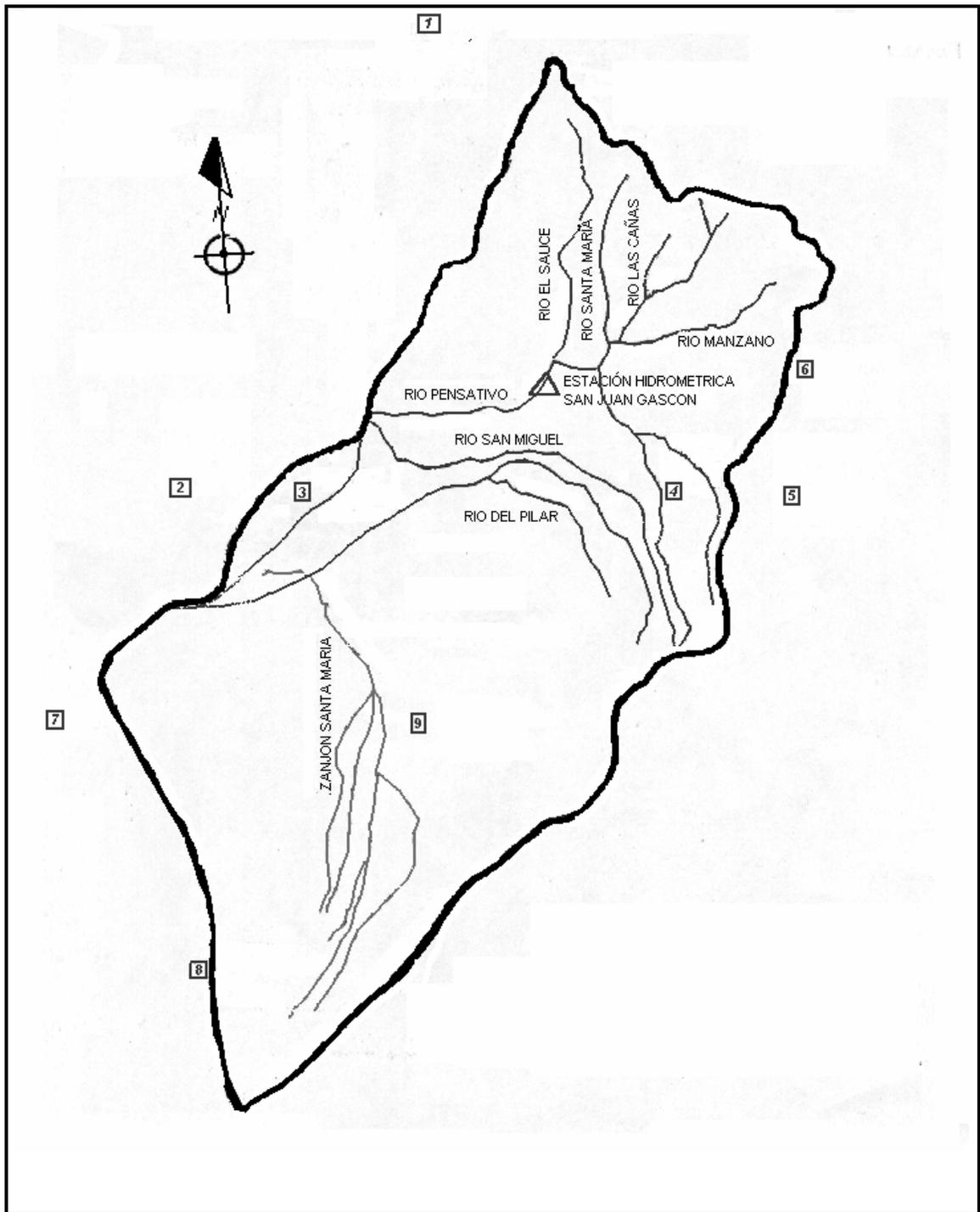
Se recolectaron todos los datos disponibles en estas disciplinas para el área de estudio. Varias estaciones del tipo pluviométrico han funcionado en diversos períodos en la cuenca las cuales son:

Tabla VII. Lista de estaciones meteorológicas en la cuenca del río Pensativo

Clave	Estación	Latitud	Longitud	Elevación (m.s.n.m.)
06.02.03*	Jardín Mil flores	14°28'12"	90°37'45"	1189
16.01.01*	Antigua	14°33'30"	90°44'00"	1530
16.01.02**	Carmona	14°31'00"	90°43'00"	1680
16.01.03**	Retana	14°33'00"	90°45'00"	1530
16.02.01*	El Potrero	14°31'40"	90°46'00"	1518
16.02.02**	Volcán de Agua	14°29'53"	90°45'27"	1980
16.07.01**	El Rejón	14°37'04"	90°43'15"	2240
16.12.05**	Michigan	14°30'44"	90°48'16"	1440
16.14.01**	Florencia	14°33'20"	90°41'00"	1980
16.14.02**	San Joaquín	14°33'20"	90°40'00"	1980
16.14.03**	Sta. Teresa I	14°34'22"	90°40'23"	1970
16.14.04**	Sta. Teresa II	14°34'15"	90°40'14"	1970
(*)Funcionando				
(**) No funcionando				

Una estación hidrométrica en las inmediaciones de San Juan Gascón ha funcionado irregularmente con los nombres de estación Cabrejo y estación San Juan Gascón.

Figura 16. Estaciones meteorológicas en la cuenca del río Pensativo

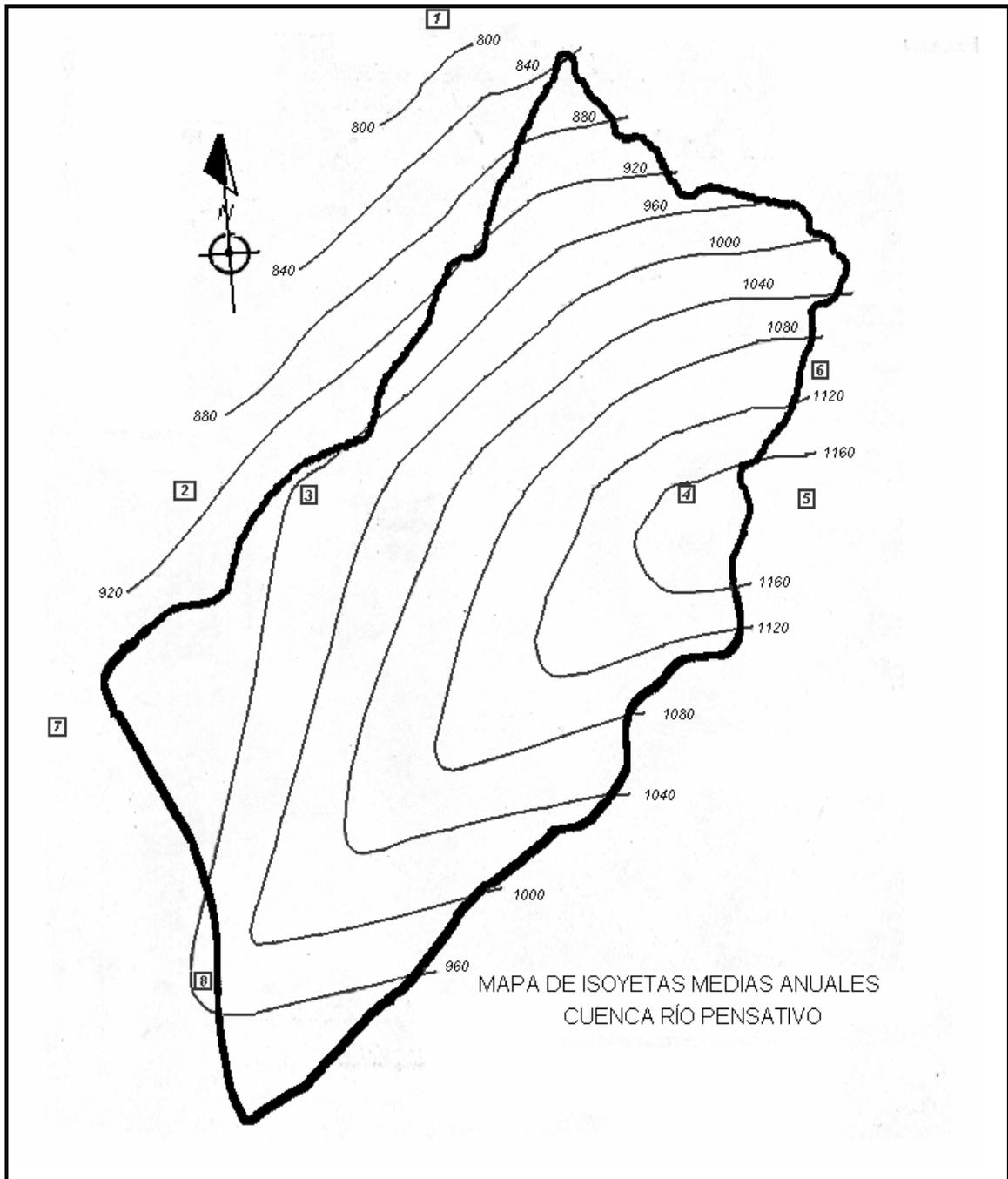


4.5.3 Precipitación en la cuenca

La precipitación en general se distribuye aumentando de sur a norte hasta la altura de la estación Florencia, esto parece indicar que las tormentas del tipo orográfico que se presentan en el área provienen principalmente del sur, verificándose una especie de efecto de FOHEN a muy pequeña escala debido al volcán de Agua que hace una especie de sombra al sur de la cuenca.

Existen también lluvias convectivas de intensidad variable y efecto muy localizado, ésto se ha constatado no sólo por la variabilidad de los registros diarios que presentan una cantidad determinada de lluvia en una estación mientras en otra no se registró nada, sino también por inspecciones de campo al área de estudio donde se presentan fuertes aguaceros en algunas partes de la cuenca mientras otras no se ven afectadas, así como lluvias intensas y prolongadas que se presentan cuando huracanes y tormentas afectan a los litorales del Pacífico y del Caribe.

Figura 17. Isoyetas en la cuenca del río Pensativo



4.5.4 Precipitación media

Se determinó por medio de isoyetas la precipitación media anual la que dio un resultado de mil veinticuatro punto cincuenta y ocho milímetros (1024.58 mm). Para el cálculo de las isoyetas se emplearon las estaciones indicadas anteriormente con excepción de la estación Carmona que presentaba datos excesivamente altos en medias anuales, pero no se pudo verificar los datos diarios por lo que se decidió eliminarla. La estación Jardín Mil Flores fue utilizada únicamente para ayudar a complementar las isoyetas aunque se encuentra algo alejada del área de estudio.

4.5.5 Precipitación máxima en 24 horas

La precipitación máxima en veinticuatro (24) horas se obtuvo por dos métodos diferentes:

- El primero en base a un estudio del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología -INSIVUMEH- para toda la República de Guatemala.
- Y el otro método en base a la proyección de la lluvia diaria de las estaciones el Potrero, Antigua y Florencia.

La lluvia diaria se multiplicó por un factor de 1.13; obtenido y usado en múltiples estudios para convertirla a máxima en veinticuatro (24) horas. Luego se plotearon y trazaron curvas de probabilidad de precipitación obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla VIII. Lluvia máxima en 24 horas para la cuenca del río Pensativo

PERÍODO DE RETORNO Años	MÉTODO 1 mm	MÉTODO 2 mm
2	100	55.1
5	125	80.2
10	150	105.2
25	175	130.9

4.5.5.1 Régimen de caudales

La estación hidrométrica San Juan Gascón estaba localizada en los 14°33'39" latitud norte y 90°42'15" longitud oeste. La estación funcionó de mayo de mil novecientos ochenta y uno (1981) a abril de mil novecientos ochenta y dos (1982).

El caudal medio es de diecisiete punto nueve litros por segundo, para un área de drenaje de veintiuno punto treinta y tres kilómetros cuadrados (21.33km²). La estación fue destruida en una crecida en el año de mil novecientos ochenta y dos (1982).

Figura 18. Curva de duración de caudales medidas en la estación San Juan Gascón año 81-82

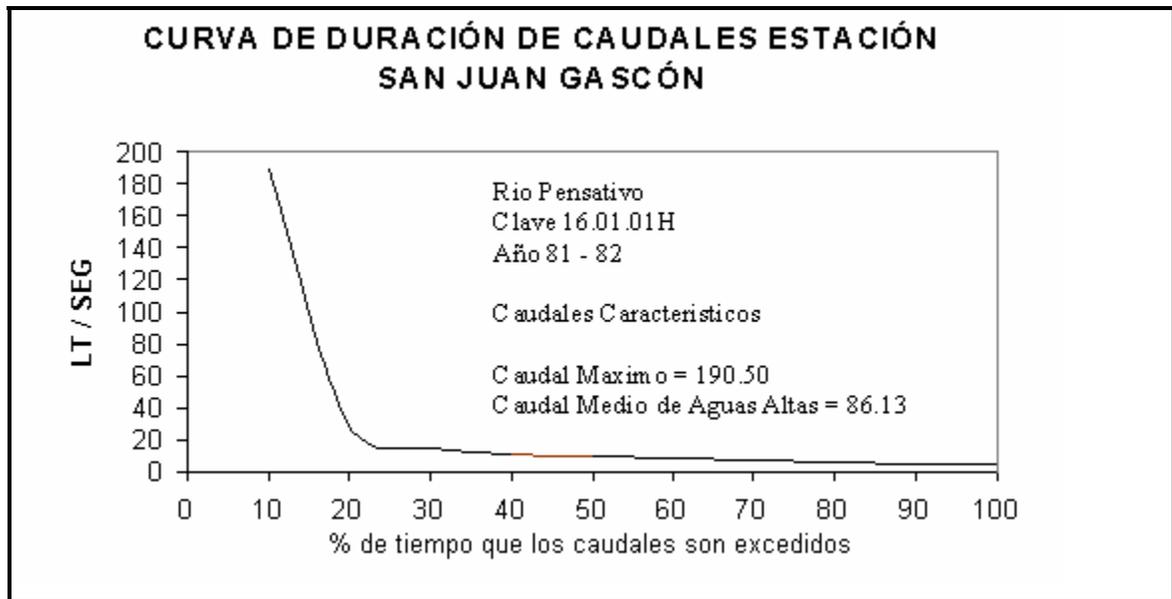
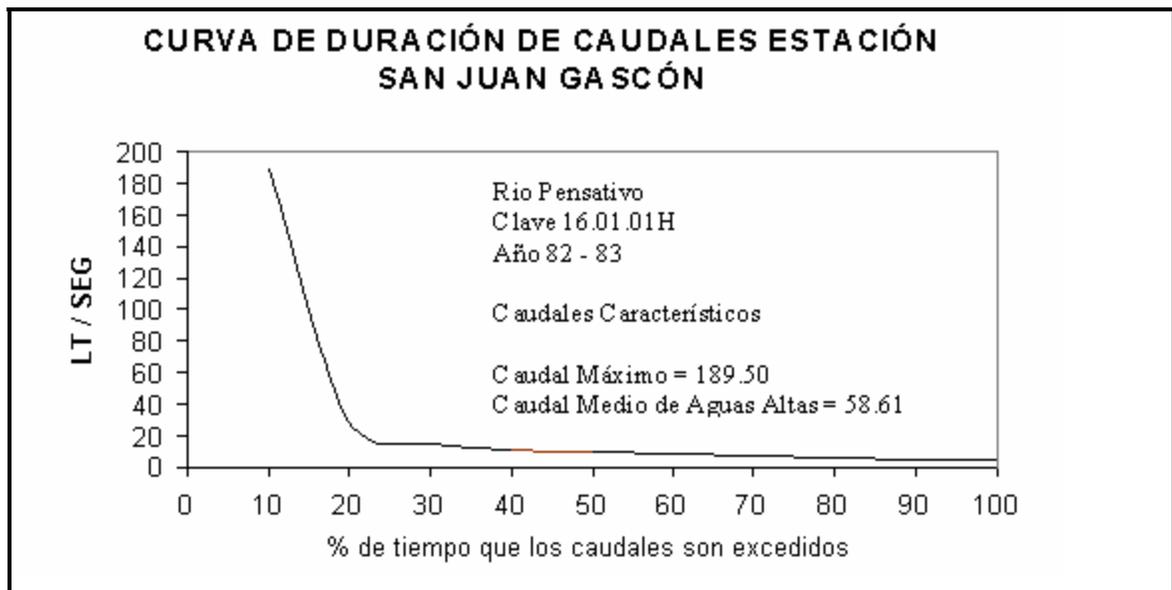


Figura 19. Curva de duración de caudales medidas en la estación San Juan Gascón año 82-83



4.5.6 Escorrentía probable

Para determinar caudales de crecida cuando se carece de registros o los mismos son deficientes o de períodos diferentes es necesario recurrir a métodos aproximados que permitan obtener resultados también aproximados que se puedan utilizar en obras de diseño. Entre ellos se encuentran:

- Método Racional.
- Método Regional
- Método BR o del hidrograma unitario triangular.

4.5.6.1 Método Racional

Se utilizó inicialmente la fórmula racional a sabiendas que la misma debe ser utilizada en áreas de cero punto ochenta y un kilómetros cuadrados (0.81 km²) como máximo. Esta fórmula tiene la ventaja que no necesita gran cantidad de información para poder aplicarse.

El procedimiento fue el siguiente:

Paso 1: Se determinaron los tiempos de concentración de la cuenca para el punto de entrada de La Antigua Guatemala y para la desembocadura, utilizando la fórmula Kiprich.

$$T_c = \frac{(0.866)(L^3)^{0.385}}{\Delta H}$$

Donde:

T_c = Tiempo de Concentración en horas.

L = Longitud del cauce más largo en kilómetros.

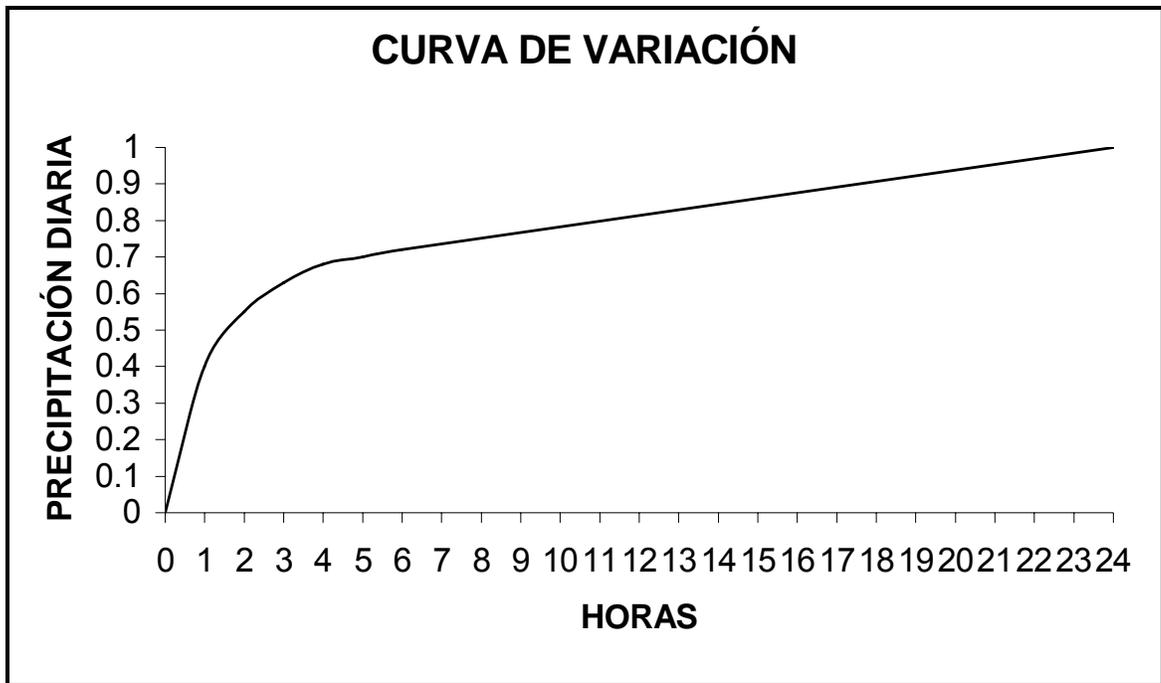
ΔH = Diferencia de elevación entre el punto más alto del cauce y punto de salida.

Tabla IX. Datos obtenidos del método Racional para la cuenca del río Pensativo

Punto	L (Km.)	ΔH (m.)	Tc (Hr.)	Tc (h, min, seg.)
La Antigua Guatemala	7.79	712.5	0.81	48'36"
Desembocadura	13.29	755	1.46	1hr 28'

Paso 2: Reduciendo la lluvia de 24 horas con base al tiempo de concentración utilizando el siguiente gráfico:

Figura 20. Curva de variación de caudales del río Pensativo



el cual proporciona un factor de reducción de punto cuatro (0.4) para La Antigua y otro de punto cuarenta y ocho (0.48) para la desembocadura, y aplicando estos valores a la tabla de lluvia máxima en 24 horas tenemos:

Tabla X. Período de retorno por el método Racional y el método Regional

Período de retorno (años)	Método 1 (mm)		Método 2 (mm)	
	La Antigua	Desembocadura	La Antigua	Desembocadura
2	40	48	22	26.5
5	50	60	32.1	38.5
10	60	72	42	50.5
25	70	84	52	62.8

Paso 3: Se determinaron las áreas de drenaje en kilómetros cuadrados a los puntos de interés.

Área al puente La Antigua = 28.5 km² = 2850 Ha.

Área a la desembocadura = 77.39 km² = 7739 Ha.

Paso 4: Se determinó el coeficiente de escorrentía en base a los usos de la tierra.

Tabla XI. Coeficientes de escorrentía según usos de la tierra en la cuenca del río Pensativo

Tipo de uso	% Área Desembocadura	% Área La Antigua	Coeficiente	Para Desembocadura	Para La Antigua
Bosques + café	72.6	74.8	0.10	7.26	7.48
Maíz, frijol	22.7	12.3	0.20	4.54	2.46
Hortalizas	3.3	7.4	0.20	0.66	1.48
Pastos	0.8	5.5	0.15	0.12	0.82
Rocas y Lavas	0.6		0.10	0.06	
	100			12.64/100	12.24/100

Coeficiente C Desembocadura = 0.126

Coeficiente C para La Antigua = 0.122

Paso 5: Se calcularon los caudales para los períodos de retorno con base en la fórmula:

$$Q = CIA/360$$

Q = Caudal m³/seg.

C = Coeficiente de escorrentía.

I = Intensidad de lluvia en mm/hora

A = Área de drenaje en hectáreas.

Tabla XII. Período de retorno en años por los métodos Racional y Regional

Período de Retorno [años]	Método 1 Q [m ³ /seg]		Método 2 Q [m ³ /seg]	
	La Antigua	Desembocadura	La Antigua	Desembocadura
2	38.63	130	21.25	71.7
5	48.29	162.5	31	104.3
10	57.95	195	40.60	136.7
25	67.61	227.5	50.2	170.2

4.5.6.2 Método Regional

El método Regional incluye una serie de gráficas y depende esencialmente del área para obtener un caudal medio de crecida en base al área de drenaje de la cuenca, de una curva regional (región 4) y luego un factor para corregir el valor en base al período de retorno. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Q medio crecida, La Antigua = 9 m³/seg.

Q medio crecida, confluencia = 24 m³/seg.

Tabla XIII. Caudales del río Pensativo en la entrada de La Antigua Guatemala y en su desembocadura

Período de Retorno (años)	Factor de corrección	Q _p La Antigua M ³ /seg.	Q _p confluencia m ³ /seg.
1	0.19	1.71	4.56
2	0.84	7.56	20.16
5	1.40	12.60	33.60
10	1.80	16.20	43.20
25	2.50	22.50	60.00

Para analizar la relación con estación San Luis Las Carretas: Se tomó el caudal máximo de la estación San Luis las Carretas, localizada sobre el río Guacalate a la altura de la población del municipio de Pastores. La estación cuenta con un registro limnográfico de dos (2) años. La máxima crecida presentada en esta subcuenca de ciento cuarenta y cinco punto cuatro kilómetros cuadrados (145.4 km²) durante el período de registro fue de siete punto novecientos sesenta y nueve metros cubicos por segundo (7.969 m³/seg.). Por simple relación de áreas se obtienen los siguientes valores para crecidas con un período de retorno arbitrario de dos (2) años.

$$Q_p \text{ En La Antigua} = 1.56 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$Q_p \text{ En confluencia} = 4.24 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

4.5.6.3 Método BR o del hidrograma unitario triangular

Para este método del Bureau of Reclamation de Estados Unidos es necesario generar una tormenta sintética para ello se utilizará el valor de precipitación máxima en veinticuatro (24) horas del método (1) y (2). Se determina inicialmente la infiltración la cual depende de los usos de la tierra y la que se resume en la siguiente tabla.

Tabla XIV. Resumen de distribución de tierra y sus coeficientes de suelo

Uso de tierra	% Área	Coefficiente suelo Tipo A	% Área por Coeficiente
Bosques	68.23	36	2456.28
Maíz, Frijol (Tierras Altas)	6.44	61	392.84
Maíz, Frijol (Tierras Bajas)	15.90	61	1001.70
Hortalizas	3.35	58	194.30
Pastos	0.81	39	31.59
Bosques Residuales	4.60	36	165.60
Roca Lava	0.67	39	26.13
			4268.44

$$4268.44/100 = 43\%$$

4.5.7 Determinación del caudal de diseño

Utilizando el método del *Bureau of Reclamation*, se procede a generar una lluvia horaria en base a las 24 horas de la siguiente manera.

Tabla XV. Resumen *Bureau of Reclamation*

PERÍODO DE RETORNO (años)	LA ANTIGUA (m ³ /seg.)	CONFLUENCIA (m ³ /seg.)
2	4.25	10.38
5	8.67	35.98
10	18.11	44.20
25	21.59	52.71

4.5.8 Sedimentos

Todo río transporta normalmente una cierta cantidad de sedimentos que permita mantener la estabilidad de su lecho. Cuando la cantidad de sedimento aumenta o disminuye considerablemente se produce sedimentación o erosión respectivamente.

En el área de la cuenca del río Pensativo está constituida por concentraciones de sedimentos piroclásticos que incluyen conglomerados areniscas, pomáceas, tobas y lahares, siendo estos materiales fluviovolcánicos de reciente formación. Debido a las pendientes altas de los ríos y la permeabilidad del suelo, los caudales son muy elevados en la época de invierno transportando todos estos sedimentos formando el aluvión, cuando los materiales son de un volumen considerable provoca azolvamiento en el cambio de pendiente, esto es en la zona plana a inmediaciones de San Juan Gascón en adelante.

4.5.8.1 Cambio del curso y nivel

En la época colonial, los trabajos de limpieza de arena, piedras y troncos del fondo del canal se hacían cada año antes de que comenzaran las lluvias. Para llevar a cabo esta limpieza, se utilizaban pequeñas cuadrillas de unas quince (15) a veinte (20) personas por sector, siendo estas contratadas por el ayuntamiento.

En ese entonces no se contaba con maquinaria pesada para retirar todo el material que se depositaba, utilizando herramientas sencillas como piochas, azadones, palas, sierras, machetes y las propias manos. Con la única finalidad de evitar que las copiosas lluvias provocaran el azolvamiento en las casas perimetrales y mantener el cauce del río para que este continuara fluyendo. Sin embargo el material depositado lo colocaban en los laterales del río este material nuevamente era transportado a niveles más bajos lo que provocó un cambio de nivel y curso del río Pensativo.

Evidencia prehispánica: En el verano de 1997 se llevaron a cabo excavaciones arqueológicas en un terreno que antes pertenecía a la finca La Chácara y que hoy es propiedad de la empresa privada Promociones Turísticas Nacionales. Este terreno está localizado al norte del puente del Matasanos y al oriente de la calle de Los Duelos. El terreno tiene una extensión de 12,075 varas cuadradas y se encuentra limitado en su extremo sur por el cauce del río Pensativo. Por su localización el lugar era indicado para llevar a cabo una investigación arqueológica. Para recabar la información sobre el cambio del cauce y del nivel del río, se cavaron dos pozos de sondeo y cuatro trincheras, con la finalidad de determinar la estratigrafía del sector y buscar evidencia de ocupación prehispánica y colonial.

El pozo más profundo, que está ubicado en el centro del terreno, se excavó a una profundidad de ocho (8) metros. A esa profundidad se encontraron once estratos naturales distintos, formados todos por materiales, fluviovolcánicos.

El segundo pozo está compuesto por arena amarilla y piedra, y en el noveno estrato a una profundidad de seis punto cero dos (6.02) metros de profundidad se encontró un cántaro globular prehispánico, por su forma, es posible que la pieza pertenezca al período Postclásico. Los seis punto cero dos (6.02) metros demostró que el nivel de ocupación y el nivel del río, era entonces mucho más bajo. Si se compara este nivel con el de la calle colonial que se localizó bajo el puente del Matasanos y que está a tres punto noventa y cinco (3.95) metros de profundidad, se puede deducir que el cauce del río ha subido dos punto cero siete (2.07) metros, hasta la construcción de la calle, posiblemente en el siglo XVII. Se puede mencionar que dentro de las excavaciones que se hicieron en Santo Domingo, se encontraron los restos de cuatro individuos a unos tres (3) metros de profundidad, que por presentar rasgos de deformación craneana, pueden ser vinculados con ocupación prehispánica. Lo anterior ilustra el cambio del nivel del río a través del tiempo.

Evidencia colonial: Siempre en las mismas excavaciones arqueológicas, se encontró evidencia colonial. En el extremo norte del terreno se encontró un lavadero, de construcción típicamente colonial enterrado a una profundidad de setenta (70) centímetros.

Este nivel coincide con el primer estrato natural, que es de arena gris o lecho de río y que se interpreta como un azolvamiento posterior al año de mil ochocientos treinta y tres (1833). Esta fecha se puede comprobar por medio de una caja de distribución de agua y la conexión que alimentaba este lavadero, las cuales aparecen en el plano de distribución de agua del acueducto de las cañas que el ayuntamiento mandó a levantar ese año. En ese plano del acueducto de las cañas denominación de plazas y calles, (archivo histórico de La Antigua), aparece con el número doce (12); también aparecen las cajas números dos, tres y cuatro (2, 3 y 4), que estaban al lado oriente del cauce del río, en el área que hoy ocupa el puente del Matasanos. La localización de esas cajas indica que para el año de mil ochocientos treinta y tres (1833), el cauce del río estaba unos cuarenta (40) a cincuenta (50) metros hacia el oriente del actual.

El nivel de suelo que está sobre la capa de arena que cubría al lavadero está exactamente a setenta (70) centímetros sobre el nivel que hoy tiene la calle de Los Duelos, (esta calle era conocida en el siglo XVII como calle de Candelaria).

Con la extracción de materiales actualmente se hace con maquinaria pesada, en esos trabajos que realiza la municipalidad, quedaron evidencias de construcciones coloniales, en el área que atraviesa la ciudad.

Bajo el puente del Matasanos, a tres punto noventa y cinco (3.95) metros de profundidad, se encontró una calle empedrada. La calle está en dirección sur-oriental a nor-poniente. La dirección y localización de esta calle va de acuerdo al callejón del Matasanos que conduce hacia el puente del mismo nombre, que aparece en el plano levantado en el año de mil setecientos setenta y tres (1773), por el agrimensor José Rivera y Gálvez.

El empedrado que apareció bajo el puente del Matasanos indica dos cosas:

- a) Que la calle estaba en dirección nor-poniente a sur-oriental.
- b) Que el nivel de la calle estaba casi cuatro metros por debajo del nivel del puente actual.

Si se compara el plano actual con el plano colonial se puede apreciar que el río ha cambiado de curso hacia el poniente.

A quince punto veinticinco (15.25) metros, al sur de este empedrado, del lado poniente del cauce, se encontraron los restos de otro lavadero. Este se encuentra enterrado aproximadamente a la misma profundidad de la calle empedrada, y a cuarenta (40) centímetros de la base del lavadero se localizó la tubería de agua que lo abastecía, lo que indica que el cauce del río tenía que estar a un nivel más bajo.

En el caso específico del río Pensativo, se observa una alta deposición en el área de La Antigua Guatemala, por material arenoso con una granulometría uniforme. El área de sedimentación abarca aproximadamente desde la finca La Chácara hasta llegar casi a la confluencia con el río Santa María, lógicamente su inicio coincide con el aluvión. Este fenómeno y los diques de protección de las fincas y la ciudad a lo largo de los años, han causado que el nivel del lecho del río se encuentre sobre el nivel de las tierras adyacentes.

4.5.9 Fuentes de sedimentos

Para solucionar los problemas de sedimentación es necesario localizar la fuente o el origen del material. Las fuentes principales de sedimentos han sido por siglos y aún en la actualidad:

- El uso inadecuado de la tierra.
- Extracción de materiales en los taludes.
- Obras de Ingeniería, sin tomar en cuenta el control de la erosión.
- Los sistemas inadecuados de drenaje en las carreteras.
- La inadecuada depositación de material de corte

Se realizaron varias inspecciones al área de estudio, para tratar de localizar las fuentes de sedimento.

Para ello se recorrieron los cauces del río Pensativo, las Cañas, Santa María, San Miguel y Manzano, por considerarse que éstos eran los de mayor importancia como fuentes de material.

Debido a la geología y topografía del área los cauces aguas arriba de la confluencia del río San Miguel y las Cañas, son en general, bastante abruptos y tienen caídas de seis (6) a doce (12) metros frecuentemente. Estas características contribuye a reducir el potencial de arrastre de sedimentos, ya que la pendiente neta del cauce es menor, lo que reduce la velocidad y por consiguiente la cantidad de material arrastrado. La cuenca en forma general está relativamente bien cubierta de vegetación y bosques, por lo que se descarta como origen de material la cubierta superficial de la cuenca.

Después de la confluencia existen dos caídas más aguas abajo de las cuales no se observó ninguna otra, es decir que se empieza a formar una pendiente uniforme, la cual incrementa la velocidad produciendo una zona de alta erosión de San Juan Gascón, la cual ha perjudicado inclusive obras de protección de la carretera. Se considera que ésta sería una de las fuentes más importantes de sedimento del río Pensativo.

El río San Miguel ha formado abanicos de sedimento cerca de su desembocadura, pero el material parece provenir en su mayoría, de los drenajes de las carreteras. Observando los paredones de los cortes de las carreteras presentan material susceptible a erosión, conversando con vecinos de La Antigua Guatemala mencionaron que el material de corte en las carreteras y rampas de emergencia fueron lanzados en el cauce del río Pensativo, los desbordamientos se han debido a crecidas de magnitudes diferentes, acompañadas de capacidad insuficiente del canal en muchos tramos, material demasiado flojo y erosionable de las riberas, capacidad insuficiente bajo los puentes, y la tendencia del río a buscar su cauce original.

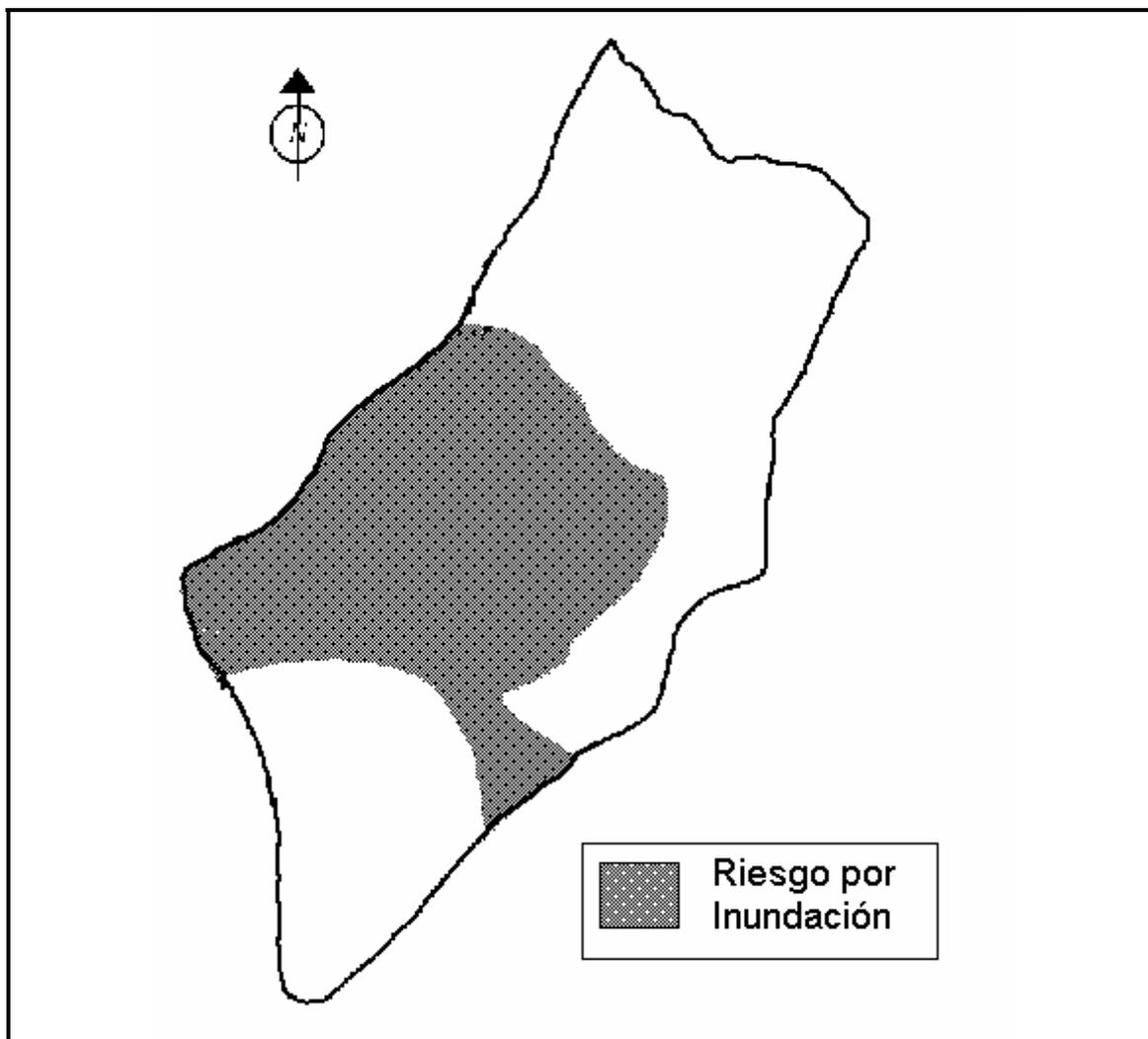
Arrastre de sedimentos: En las estaciones hidrológicas localizadas en el río Guacalate no se han tomado muestras de sedimentos y por lo tanto no se pueden hacer estimaciones de la capacidad de arrastre del río. Se ha establecido que las cuencas de los ríos Xayá y Pixcayá se encuentran en una región hidrológicamente similar a la del río Guacalate. En las estaciones El Tesoro y la Presa de los ríos Xayá y Pixcayá respectivamente, se tomaron muestras de sedimentos durante los años de mil novecientos setenta y uno (1971) a mil novecientos setenta y seis (1976). Los cuales sirvieron como referencia para la estimación del arrastre de sedimentos de la subcuenca del río Pensativo-Alto Guacalate (MAGA – CIPREDA – BID).

Esto hace aún más inciertas las estimaciones para el río Guacalate, por lo que se insiste en la necesidad de revisión de los resultados de estas estimaciones cuando se tenga información más completa.

Se estimaron los caudales sólidos en los sitios donde se cuenta con información de caudales en la subcuenca, es decir las estaciones San Luis Las Carretas y Alotenango.

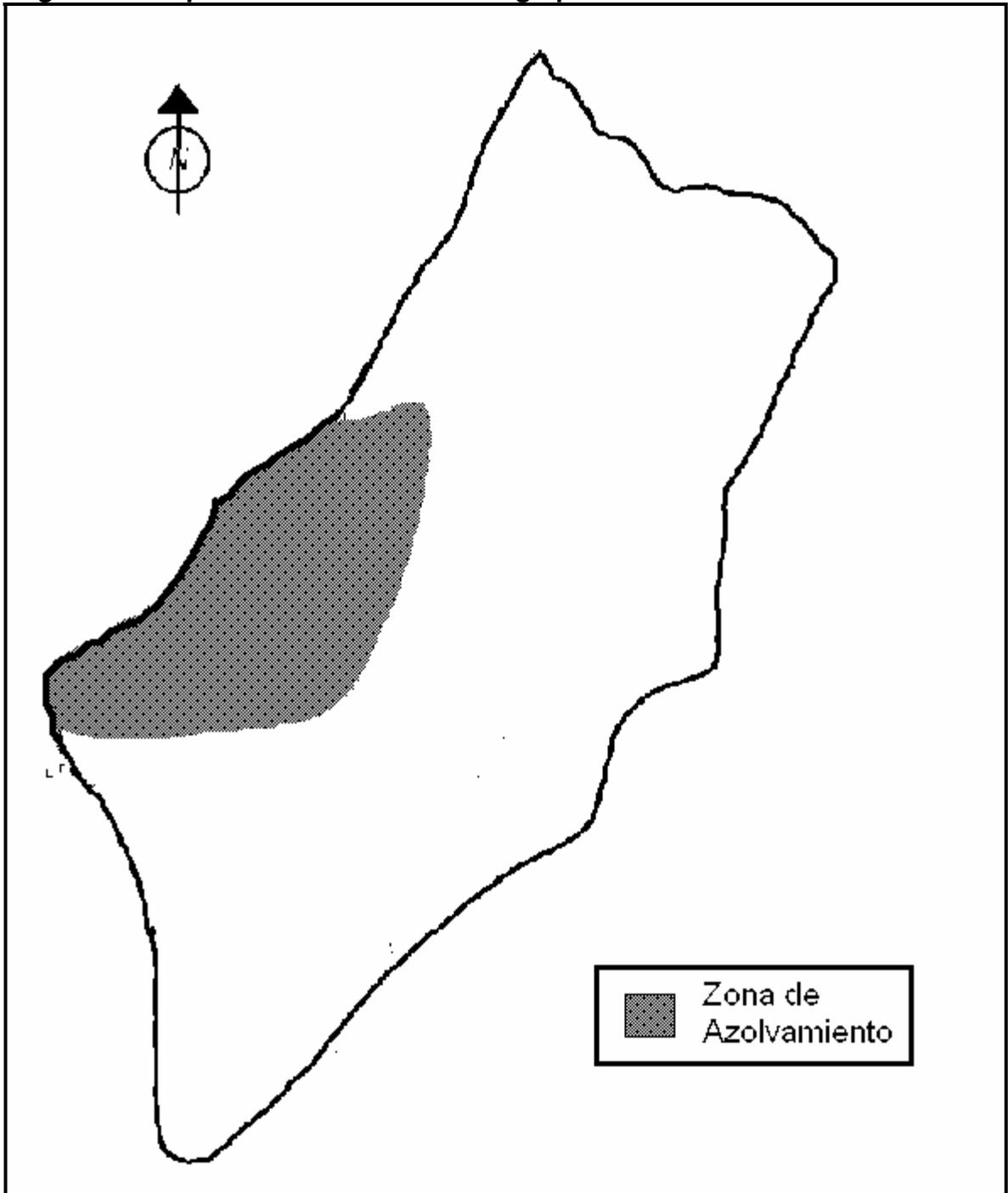
4.5.10 Mapa por inundación

Figura 21. Mapa de zonificación de riesgo por inundación



4.5.11 Mapa por azolvamiento

Figura 22. Mapa de zonificación de riesgo por azolvamiento



5 EVALUACIÓN DE LOS RIESGOS Y ZONIFICACIÓN

5.1 Evaluación de los riesgos geológicos y zonificación por vulcanismo

Volcanes de Acatenango y Fuego: Los volcanes de Acatenango y Fuego son gemelos y comparten el mismo macizo, comprenden una cadena de más de cinco escapes volcánicos a lo largo de la dirección norte-sur, los centros con actividad volcánica conocidos son: Acatenango el antiguo, Yepocapa, Pico mayor de Acatenango, Meseta, Fuego.

El volcán de Fuego está situado aproximadamente a 45 kilómetros al sur – oeste de la ciudad capital, su situación geográfica es de 14 grados 28 minutos latitud norte, y 90 grados 52 minutos longitud oeste, con una altura máxima de 3835 metros sobre el nivel del mar.

La actividad volcánica a lo largo de esta dirección se remonta a más 200,000 años. Aunque mucho de los centros han presentado actividad en la época contemporánea.

Este complejo volcánico masivo se eleva a más de 3500 metros por encima de la costa del Pacífico, al sur del país y 2000 metros por encima de las regiones montañosas, al norte del país. Además comprende restos de varios centros eruptivos, los cuales han colapsado periódicamente para formar avalanchas de escombros de grandes dimensiones. En el pasado las avalanchas se extendieron a más de 50 kilómetros de su fuente y cubrió más de 300 kilómetros cuadrados.

Por lo que existe el riesgo potencial en este complejo, de producir avalanchas de escombros de grandes dimensiones que podrían inundar áreas extensas del plano costero del Pacífico.

Las erupciones del volcán de Fuego, han esparcido ceniza a los departamentos de Escuintla, Sacatepéquez y a Guatemala, levantando una columna eruptiva de ceniza hasta de 10 kilómetros de altura, el volcán produce flujos de lava y piroclásticos calientes. Después de la actividad volcánica, los canales se azolvan de sedimentos y durante la época lluviosa se remueven los escombros volcanoclásticos, para formar flujos de escombros volcánicos, conocidos como lahares.

Las únicas erupciones históricas conocidas del volcán de Acatenango se presentaron en el siglo XX, entre 1924 y 1927 en la parte norte del pico de la cumbre (pico mayor) y nuevamente en diciembre de 1972. Estas explosiones freáticas generaron proyectiles balísticos que cayeron cerca de los cráteres de la cumbre y ceniza volcánica fina que llegó hasta 25 kilómetros. (J. W. Vallance, Howell).

Las erupciones volcánicas no son los únicos eventos que ponen en riesgo a las comunidades aledañas, existe la amenaza de desprendimientos de tierra de tamaños moderados que pueden ocurrir durante los períodos sin actividad volcánica.

Los desprendimientos pueden iniciarse en los volcanes Acatenango y Fuego debido a lluvias torrenciales y sismos, a medida que se transportan estos bloques pendiente abajo se pueden transformar en lahares, el volcán de Fuego muestra un escenario propenso a que las lluvias movilicen los escombros piroclásticos, estos desprendimientos tienen un potencial destructivo.

El volcán de Agua: El volcán de Agua clasificado como un estrato – volcán, se encuentra situado aproximadamente a 30 kilómetros al sur-oeste de la ciudad capital, su situación geográfica se ha establecido a 14 grados 28 minutos de latitud norte y 90 grados 44.5 minutos de longitud oeste, cuenta con una elevación máxima de 3766 m.s.n.m.

Al sur respecto a la planicie costera del pacifico cuenta con una elevación de 1100 metros, al norte frente a la cordillera central 1900 metros, cerca de Santa María de Jesús.

La cima del cráter del volcán es aproximadamente circular midiendo alrededor de 200 metros de diámetro, y una profundidad aproximada de 130 metros, en la época de la colonia, los lahares, denominados flujos de lodo y escombros destruyeron la población de ciudad Vieja, actualmente en su cono se encuentra con vegetación, pero en las faldas del volcán se encuentra erosionado.

Tabla XVI. Estados de alerta para erupción volcánica (UNDRO, 1987)

ESTADO DE ALERTA	EVENTO OBSERVADO	INTERPRETACIÓN: ERUPCIÓN VIOLENTA DENTRO DE	ACCIÓN DE COMITÉ Y ENTIDADES
I VERDE	Actividad sísmica local; algo de deformación en superficie, aumenta actividad fumarólica.	Meses o años	Informe a todas las entidades oficiales y actualizar planes de emergencia.
II AMARILLA	Aumento notable en la actividad sísmica local; tasa de deformación, etc.	Semanas o Meses	Verificar disponibilidad de equipo y personal para la posible evacuación; revisar las reservas de materiales y suministros de socorro.
III NARANJA	Aumento dramático en las anteriores anomalías, temblores locales; actividad eruptiva moderada.	Días o Semanas	Anuncio al público de posible emergencia y de las medidas adoptadas para hacerle frente; movilización de personal y equipo, medidas de protección temporales contra caídas de ceniza.
IV ROJA	Movimiento sísmico de larga duración, aumento de la actividad eruptiva.	Horas o Días	Evacuación de la población en las zonas amenazadas.

5.2 Evaluación de los riesgos geológicos y zonificación por sismicidad

Para la evaluación existen dos métodos:

- a) Método determinístico
- b) Método probabilístico.

5.2.1 Análisis determinístico

Es aquel que en su mayor parte hace un uso discreto valuados simplemente, o de modelos que lleguen a la descripción probable del escenario. (Reiter, 1990).

Para el análisis determinístico, simplemente se toman algunos de los pasos que se tienen en común con el análisis probabilístico y comprenden:

1. La selección de las fuentes sísmicas.
2. El potencial del sismos máximos.
3. El parámetro del movimiento del terreno en función de la distancia o atenuación.
4. La definición de la amenaza en el sitio.

Paso 1: Selección de las fuentes sísmicas, la definición y el entendimiento de las fuentes sismotectónicas, es a menudo la parte principal de un análisis de amenaza y requiere el conocimiento de la geología local y regional, la sismicidad y tectónica.

Paso 2: La selección del sismo o terremoto potencial, considerando una o varias de las fuentes definidas en el paso 1 y en términos del evento máximo registrado o esperado. Con las fuentes y el tamaño del sismo está asociada una distancia, que representa, la distancia más cercana entre la fuente y el sitio.

Paso 3: La determinación del efecto del sismo. Es evaluado por la determinación de algún parámetro de movimiento del suelo (aceleración, velocidad, intensidad). Generalmente esto se realiza a través de una relación de atenuación de la magnitud del evento con la medida de aceleración del terreno en el sitio y la distancia del epicentro del evento al sitio de estimación.

Paso 4: La definición de la amenaza en el sitio que es prácticamente el resultado de la evaluación de los parámetros.

Actualmente no se cuenta con registros de acelerógrafos, para tener una ecuación de atenuación adecuada, por lo que se evaluará con las siguientes ecuaciones.

**Ecuación de atenuación propuesta por Esteva & Villaverde
(1973, en Mcguire, 1976)**

$$a = \frac{5,600 \exp. (0.8 * M)}{(R + 40)^2}$$

M = magnitud

R = Distancia en kilómetros

a = aceleración en cm/seg²

**Ecuación de atenuación propuesta por Taylor Castillo, al (1992)
para Centro América**

$$\ln(a) = 0.339 + 0.455M - 0.67 \ln R - 0.00207 R$$

M = magnitud

R = Distancia en kilómetros

a = aceleración en m/seg²

5.2.2 Análisis probabilístico

El análisis probabilístico, es el que considera una serie de incertidumbres y se hace uso de modelos estadísticos de inferencia, que incorporan los efectos de todos los sismos que se cree que son capaces de afectar el sitio en cuestión.

De suma importancia es la inclusión en el análisis de la probabilidad de ocurrencia de sismos de diferente valor de magnitud. Una de las ventajas de este tipo de análisis es que su resultado final con lleva a la estimación del probable movimiento del terreno debido al sismo.

La metodología usada en la mayoría de análisis de amenaza sísmica por el método probabilístico fue primeramente definida por Cornell (1968). Los pasos básicos son análogos al análisis determinístico.

Paso 1: Definición de las fuentes sísmicas, definidas explícitamente como de potencial sísmico uniforme, la ocurrencia de un sismo de un tamaño dado es la misma a través de la fuente.

Paso 2: La definición de las características de recurrencia sísmica para cada fuente. Se caracteriza cada fuente por una distribución de probabilidad o relación de recurrencia.

Una relación de recurrencia, indica la oportunidad de que un sismo de tamaño dado ocurra en cualquier sitio dentro de la fuente, durante un período especificado de tiempo, generalmente un año. Así se tiene:

$$\text{Log. } N = A - B \cdot M$$

N = Numero acumulado de sismos de una magnitud dada o mayores, y que se espera que ocurran durante un período especificado de tiempo.

A = El logaritmo del numero de sismos de magnitud cero o mayor, que se espera que ocurran durante el mismo tiempo.

B = La pendiente de la curva que caracteriza la proporción entre sismos grandes y pequeños.

Puesto que los sismos pueden ocurrir en cualquier posición dentro de la fuente, se deben considerar las distancias de todas las posibles localizaciones, dentro de la fuente al sitio. Se debe de tomar en cuenta un rango de pares de distancias sitio-tamaño y su probabilidad de ocurrencia, asociada.

Paso 3: La estimación del efecto de sismo, que es similar en el determinístico, excepto que en el análisis probabilístico el rango de los tamaños de los sismos considerados requiere de una familia de curvas de atenuación o de movimiento del terreno, tal como aceleración pico, con la distancia para un sismo de tamaño dado.

Paso 4: Determinación de la amenaza en el sitio. El procedimiento es substancialmente diferente del simple procedimiento usado en el análisis determinístico. Los efectos de todos los sismos de diferentes tamaños, ocurriendo en distintas localidades, en diferentes fuentes sísmicas y con diferentes probabilidades de ocurrencia se integran en una curva que muestra la probabilidad de excedencia de los distintos niveles de movimiento del terreno en el sitio, durante el período de tiempo especificado.

De acuerdo a la ecuación:

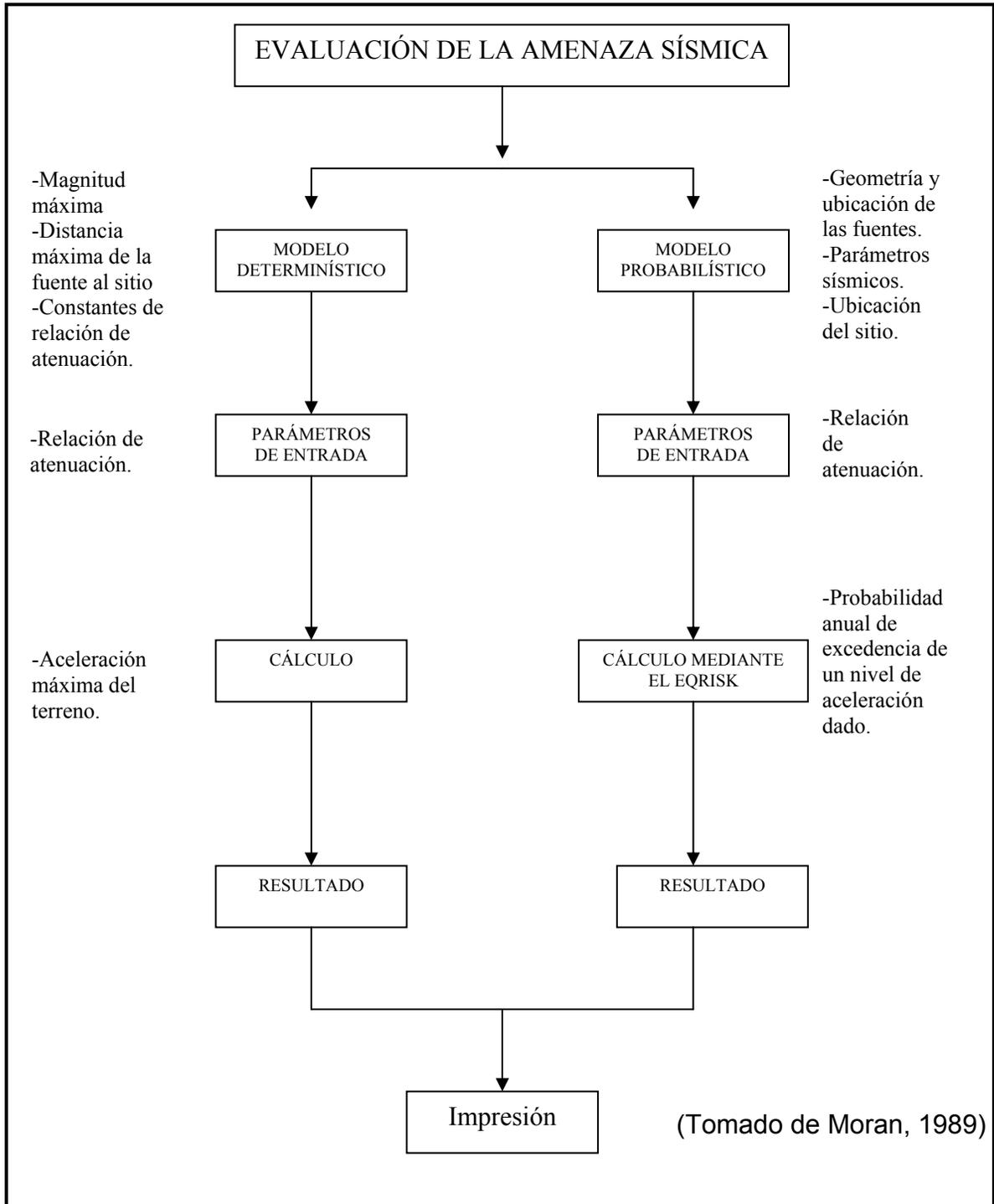
$$q = 1 - \exp(-L/T)$$

T = Período de retorno

L = Vida útil (años)

q = Probabilidad de ser excedida

Figura 23. Evaluación de la amenaza sísmica



Para el cálculo de aceleración por el método determinístico se utilizarán los datos de un evento de magnitud (Mb) 5.70, a una distancia hipocentral de 30.42 del área de estudio, este es un evento provocado por fallamiento local, sistemas de fallas Mixco-Pinula, en un período de 25.42 años.

Tabla XVII. Comparación entre los datos de “Esteva y Villaverde” y “Taylor Castillo”

Ecuación	Magnitud (Mb)	Distancia (Km)	Aceleración (cm/s ²)
Esteva y Villaverde	5.70	30.42	107.94
Taylor Castillo	5.70	30.42	178.86

Se recomienda utilizar la ecuación de Taylor Castillo para aspectos de diseño con criterios más conservadores. (Estudio CESEM, USAC, 1993)

La salida del programa *EQRISK*, se interpreta como sigue:

Tabla XVIII. Datos arrojados por el sistema *EQRISK*

Probabilidad anual de excedencia	0.1	0.01	0.02	0.05	0.001	0.002	0.005
Período de retorno (años)	10	100	50	20	1000	500	200
Aceleración (cm/seg ²)	151.19	279.14	235.03	187.23	473.73	407.40	333.75

Los proyectos de obra civil se diseñan para un determinado período de tiempo, lo que llamamos vida útil, se puede escoger una aceleración y ver la probabilidad de que ésta sea excedida, utilizando la ecuación

$$q = 1 - \exp(-L/T)$$

y tomando la aceleración de 333.75 cm/s², período de retorno 200 años, y se estima ser excedida en 50 años se tiene que $q = 0.22$, esto significa que existe un 22% de probabilidad que la aceleración de 333.75 cm/seg² sea excedida en un período de 50 años o una probabilidad de 78% de no ser excedida. Para efectos de diseños de una obra, lógicamente, se tratará de que la probabilidad de que una aceleración sea excedida fuera la más baja posible (Estudio CESEM, USAC, 1993).

Si se quiere diseñar una obra para una vida útil determinada se recurre al análisis probabilístico.

5.3 Evaluación de los riesgos geológicos y zonificación por inundación y azolvamiento

De acuerdo a la topografía de la cuenca del río Pensativo, observada en el mapa topográfico uno a cincuenta mil (1:50,000), del I. G. N. Instituto Geográfico Nacional, es una zona sumamente montañosa, teniendo una diferencia de alturas con respecto a la ciudad de La Antigua Guatemala, en la zona sur de dos mil doscientos treinta (2230) metros, zona norte de setecientos setenta (770) metros, en la zona este de cuatrocientos setenta (470) metros.

En base al análisis hidrológico y los resultados obtenidos con los diferentes métodos se nota una gran dispersión para tomar un criterio de caudal de diseño, para obras de infraestructura, y en función de los sedimentos puede mencionarse que no se cuenta con datos reales para hacer una estimación de erosión del suelo sobre la cuenca del río Pensativo.

Con las visitas realizadas al campo se pudo observar que no se tomó en cuenta un diseño profesional para la construcción de los diferentes puentes en las carreteras de terracería, se pensó exclusivamente en satisfacer la necesidad de trasladarse por lo que fueron construidos de una forma empírica. Estos puentes se encuentran en peligro de ser arrastrados por las corrientes provocadas por las lluvias, convirtiéndose en una amenaza en la zona de planicie y como consecuencia incomunicadas las personas en la parte alta.

Se hace difícil y de costo muy alto la construcción de una carretera con una topografía con la que cuenta la cuenca del río Pensativo, pero en la planificación debe de considerarse y tomarse en cuenta los riesgos que provocaría dejar taludes inestables, y material de corte en zonas de drenajes naturales.

En la trayectoria natural del río Pensativo, en la zona plana se encuentra la ciudad de La Antigua Guatemala y casi en la parte final en la intersección del río Guacalate y Pensativo, se encuentra ubicada la población de Ciudad Vieja lo que hace que estas dos poblaciones sean altamente vulnerables a las inundaciones y azolvamientos, desde la época colonial.

Los problemas de inundación de la ciudad de La Antigua es fundamentalmente porque se encuentra ubicada en el cauce natural de los ríos Pensativo y Guacalate, analizando la morfología donde se asienta la población se puede observar el aluvión que ha sido formado por materiales arrastrados debido a las fuertes corrientes de agua.

El cauce natural ha sufrido bruscos cambios antrópicos, hasta en el año de mil setecientos setenta y tres (1773), el río Pensativo cruzaba por medio de un túnel debajo de La Antigua Guatemala, después del terremoto de ese año, se destruyó el túnel por lo que se desvió el río artificialmente alrededor de la ciudad, las construcciones de caminos y rampas han aumentado el volumen de material suelto provocando azolvamiento en la zona de planicie.

Las erupciones del volcán de fuego han depositado grandes cantidades de ceniza en la cuenca las cuales han sido arrastradas en la época de lluvia contribuyendo al azolvamiento.

5.3.1 Zonificación de riesgos por inundación y azolvamiento

Por la ubicación de las poblaciones en la zona de planicie se encuentran vulnerables al azolvamiento e inundación, y es considerada zona de mayor riesgo, las poblaciones que se encuentran en laderas son afectadas por inundaciones y se cataloga de mediano riesgo y las poblaciones que se encuentran en la parte alta de la cuenca se encuentran en una zona de bajo riesgo.

Poblaciones que se encuentran en alto riesgo: Las poblaciones que se encuentran en alto riesgo son: San Juan Gascón, San Cristóbal el Bajo, Santa Catarina Bobadilla, San Juan del Obispo, San Pedro las Huertas y Ciudad Vieja.

Poblaciones que se encuentran en mediano riesgo: San Cristóbal el Alto, Santa Isabel, Santa María de Jesús y San Miguel Milpas Altas.

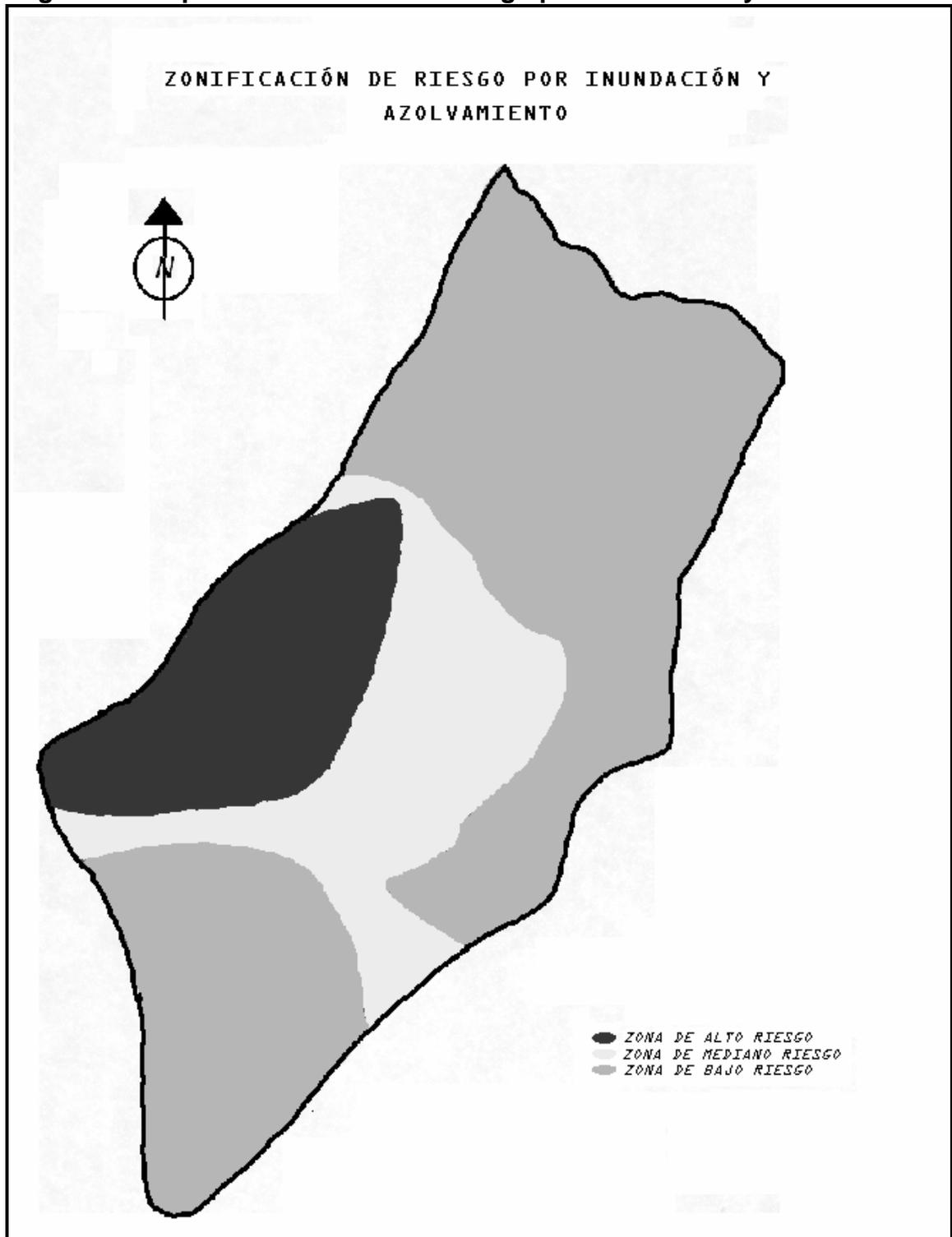
Poblaciones que se encuentran en bajo riesgo: San Mateo Milpas Altas, Santa Lucía Milpas Altas, Santo Tomas Milpas Altas y Magdalena Milpas Altas.

Tabla XIX. Resumen de zonificación por inundación y azolvamiento

ZONA DE ALTO RIESGO	ZONA DE MEDIANO RIESGO	ZONA DE BAJO RIESGO
San Juan Gascón	San Cristóbal el Alto	San Mateo Milpas Altas
San Cristóbal el Bajo	Santa Isabel	Santa Lucia Milpas Altas
Santa Catarina Bobadilla	Santa María de Jesús	Santo Tomas Milpas Altas
San Juan del Obispo	San Miguel Milpas Altas	Magdalena Milpas Altas
San Pedro las Huertas		
Ciudad Vieja		

5.4 Mapa de zonificación de riesgo por inundación y azolvamiento

Figura 24. Mapa de zonificación de riesgo por inundación y azolvamiento



6 MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTIVAS

6.1 Medidas preventivas y correctivas por vulcanismo

Medidas preventivas por vulcanismo

- Colocar un sistema de alerta temprana.
- Elaborar planes de mitigación para erupciones futuras, a nivel tripartita, gobierno local, gobierno central y comunidad en riesgo.
- Elaborar planes de emergencia, Cruz Roja, Bomberos, Ejército.
- Crear un plan de acción basado en el conocimiento de las áreas relativamente seguras alrededor de los hogares, escuelas y sitios de trabajo.
- Los lahares son una amenaza a lo largo de los canales que vienen de los volcanes, por lo que se recomienda localizar puntos altos alejados de éstos, para trazar rutas de evacuación.

Medidas correctivas por vulcanismo

- Construcción de techos con pendientes apropiadas para evitar la acumulación de arenas.
- Implementar en el código de construcción la zonificación de crecimiento urbano.

- Implementar un estudio de riesgo para las construcciones de escuelas y hospitales entre otros.

6.2 Medidas preventivas y correctivas por sismicidad

Medidas preventivas por sismicidad

- Instalación de estaciones sismológicas.
- Organización de vigilancia, por instrumentación y visualización.
- Campañas periódicas para la atención de crisis.
- Educación ciudadana y medios de comunicación, llevando a cabo simulaciones.
- Divulgación de información.
- Coordinación de áreas y logística, por especialistas en Geología, Geofísica, Geodesia, Geoquímica, Ingeniería, Vulcanología e Hidrología.

Medidas correctivas por sismicidad

- Implementar en el código de construcción parámetros de diseños estructurales mínimos.
- Solicitar planos y memoria de cálculo para la aprobación de construcción, sellados y firmados por ingenieros que intervienen en el estudio.
- Implementar un estudio de riesgo para las construcciones de escuelas y hospitales entre otros.

6.3 Medidas preventivas y correctivas por inundación y azolvamiento

Medidas preventivas por inundación y azolvamiento

- En vista de que no se cuenta con un registro meteorológico e hidrológico, se hace necesario la instalación de una red de estaciones, que cumpla con la finalidad de dar la información necesaria para aportar soluciones más concretas y acertadas.
- Colocar puntos de control y referencia, así como una estación de alarma antes de San Juan Gascón para alertar a las poblaciones de la zona de alto riesgo.
- Crear una reglamentación definida para el crecimiento urbano en el cauce natural del río Pensativo y sus áreas de influencia.
- Mantener un estricto control en la forestación, manejo de suelos y explotación de materiales dentro de la cuenca del río Pensativo.
- Limpieza continua de las cunetas y transversales.
- Buscar un lugar adecuado donde depositar los materiales, para que no sean transportados por el río cuando se desborda.
- Realizar el dragado en el cauce del río Pensativo.

Medidas correctivas por inundación y azolvamiento

- Construir disipadores de energía en cada desfogue de cunetas, así como en los cabezales de los transversales.

- Construcción de desarenadores en las intersecciones de rampas de emergencia y asfalto.
- Estabilización de taludes con geomallas, geotextiles o geomembranas.
- Construcción de un canal desde San Juan Gascón hasta el zanjón Santa María.
- Construcción de puentes debidamente diseñados hidráulicamente, y que cumplan con su función de drenajes mayores.

CONCLUSIONES

- 1 La ciudad de La Antigua Guatemala, se encuentra construida sobre un terreno aluvial, sobre el cauce natural del río Pensativo. Desde que se asentó en el valle de Panchoy o Pancán, mostraba inicios del peligro de inundación, y por esa razón le pusieron el nombre de “Laguna Grande”.
- 2 Por el crecimiento urbano y el desarrollo agrícola en el área se está limitando aún más el desarrollo natural del río Pensativo.
- 3 Los trabajos que se están realizando para evitar las inundaciones han sido el resultado de un esfuerzo aislado, por lo que la solución es momentánea, volviéndose operaciones rutinarias y a largo plazo oneroso, poniendo en una situación de peligro a las mismas obras de infraestructura.
- 4 La cuenca posee grandes elevaciones comparadas con la ciudad de La Antigua Guatemala, convirtiendo el área de la ciudad en una zona potencialmente vulnerable a inundaciones y azolvamiento.

RECOMENDACIONES

1. La mejor forma de evitar un riesgo geológico, es respetando la naturaleza.
2. Para el río Pensativo el caudal de diseño se propone de 67.61 m³/segundo.
3. El problema debe de ser abordado en forma integral y multidisciplinario para obtener los mejores resultados.
4. Las medidas correctivas propuestas en el capítulo seis son recomendaciones valederas para su aplicación.
5. Previo a la autorización de la construcción de proyectos se deberá hacer un estudio del riesgo geológico, para prevenir que dichos proyectos sean seriamente afectados en el futuro por las crecidas del río Pensativo.
6. Para tomar las medidas respectivas y evitar una inundación y azolvamiento debe de pensarse inicialmente que es un problema de todos y no de unos cuantos, deben de interactuar, la comunidad, el gobierno local, el gobierno del país, las instituciones no gubernamentales y gubernamentales, profesionales altamente calificados, científicos y respetar las decisiones que se tomen en pro de la seguridad de la población y la herencia colonial de Guatemala.

BIBLIOGRAFÍA

- CENTRO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE ENERGÍA Y MINAS, CESEM. Evaluación de la amenaza sísmica para la ciudad de Guatemala (Informe final). Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería: s.e., 1993.
- Fundamentos de la geología física. 6ª edición. México DF: Editorial Limusa S.A. de C.V., s.a. s.f.
- Geología para ingenieros. 2ª Edición. México: Editorial CECSA, 1995.
- INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA, VULCANOLOGÍA, METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA, INSIVUMEH. Datos obtenidos en estaciones meteorológicas. Guatemala: s.e. 1982-2001.
- Kirkby, M.J. y R. P. C. Morgan. Erosión de suelos. School of Geography, University of Leeds. National College of Agricultural, Engineering Bedford: s.e. s.a. s.f.
- Lisley, Kohler, Paulus. Hidrología para ingenieros. 2ª edición. s.l.:McGraw-Hill.s.a. s.f.
- Maúl, Alfredo y René Johnston. Documento de arqueología e historia del río Pensativo. Biblioteca de Cirma. Antigua Guatemala: s.e., s.a. s.f.
- Memorias Simposio Internacional sobre el terremoto de Guatemala, del 4 de febrero de 1976 y el proceso de reconstrucción. (volumen I). Guatemala: s.e.,1978.
- Monsalve Saénz, Germán. Hidrología en la ingeniería. 2ª edición. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, s.a. s.f.
- Quntanilla Meza, Carlos Humberto. Breve relación histórico-geográfica de Sacatepéquez. Guatemala: CENALTEX, 1994.