interno entre los granos.

El coeficiente promedio de permeabilidad obtenido en el laboratorio fue de 4.27x10-5 cm/seg, que corresponde a una condición de suelo muy poco permeable. Sin embargo, en vista de las limitaciones de tales pruebas en el laboratorio donde el remoldeo de muestras puede producir una gran compactación (menor permeabilidad) que la del campo, y considerando el estudio de INSIVUMEH de 1978 (Estudio de Aguas Subterráneas en el Valle de Guatemala), basado en los valores de transmisividad encontrados en el campo para 28 pozos (profundidad entre 122 y 305 metros), encontramos un valor de permeabilidad que oscila entre 1.5x10-2 a 2.6x10-5 cm/seg, para un promedio de 1.4x10-3cm/seg. Este valor de permeabilidad parece más aceptable para tales suelos en el área de estudio.

Otros chequeos se hicieron mediante el uso de la ecuación Hazen (k=C(D10)2) a las curva granulométricas de los materiales muestreados hasta ahora, encontrándose valores de k entre 7.35x10-3 cm/seg a 1.69x10-4 cm/seg para ceniza de caída (estudio de INSIVUMEH, 1978) y 2.77x10-5 cm/seg a 4.0x10-6 cm/seg para ceniza de flujo (JICA,2001 e INSIVUMEH,1978). Nos gustaría usar estos resultados solamente para confirmar lo establecido en el estudio de INSIVUMEH, 1978 de que las cenizas de flujo son menos permeables que las cenizas de caída.

Con los resultados arriba mencionados podemos concluir que la permeabilidad de este tipo de suelos requiere mas investigación. Por razones de seguridad consideraremos el valor promedio anterior obtenido de los pozos como el valor promedio de los depósitos de ceniza del área de la Ciudad de Guatemala, es decir 1.4x10-3cm/seg (o sea 1.4x10-5m/seg).

De esta manera, estas características de resistencia cortante (y permeabilidad) explican la capacidad de estos depósitos para sostenerse en taludes casi verticales de hasta 100m de alto o más. De acuerdo a un estudio elaborado por la Universidad del Valle y la OEA3, publicado en 1988(?), los barrancos están localizados en depósitos piroclásticos del Cuaternario, con espesores de entre 0 a 250m.

Además, se conoce que en suelos conteniendo grava, la cantidad de grava representa un efecto significativo en la resistencia cortante, incrementando la resistencia según incremente el contenido de grava hasta un 50% 0 60%. Mas allá de este punto el material se vuelve menos bien graduado y la densidad no incrementa4. así considerando que el contenido de grava de los materiales de campo es mayor que los especimenes de laboratorio (con tamaño máximo limitado a 2mm), se puede decir que los resultados de pruebas pueden ser conservadores comparadas con las condiciones de campo.

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Universidad del Valle/OEA, 1988 ?. Zonificación Preliminar de Perfiles de Suelo en el Valle de Guatemala.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Fred G. Bell, 2000. Engineering Properties of Soils and Rocks. Fourth Edition. Blackwell Science, page. 25.

## a) Susceptibilidad a Falla por Saturación durante las Lluvias

Efecto del Indice de Vacíos y la Porosidad sobre la Saturación de este Tipo de Suelos.

El índice de vacíos es una propiedad física de los suelos, la cual muestra el volumen de los vacíos en relación al volumen de los sólidos, se expresa así:

$$e = Vv/Vs$$

donde:

e = índice de vacíos

Vv = volumen de vacíos

Vs = volumen de sólidos

Por otra parte, la porosidad n, representa el volumen de vacíos relacionado al volumen total del suelo, y se expresa así:

$$n=e/(1+e)$$

Así, en base a los valores del cuadro anterior podemos (Tabla 2.3.7-6) estimar el índice de vacíos y la porosidad según se muestra en la Tabla 2.3.7-7.

Muestra No. 2 3 Fecha Muestreo 06/08/2001 06/08/2001 06/08/2001 Profundidad (m) 0.30-0.60m 0.30-0.60m 0.30-0.60m Clasif. Unificada (USCS) SMSM SMClasif. AASHTO A-2-4(0)A-2-4(0)A-2-4(0)Lugar 50m derecha est. 200m Gasolinera. 150m abajo de Bombeo EMPAGUA. Arenera Villalobos. Puente Villalobos ruta San Cristobal Hincapié Volumen agua: Vw (cm3) 0.09 0.24 0.17 Volumen sólidos: Vs (cm3) 0.57 0.57 0.59 Volumen vacíos: Vv (cm3) 0.43 0.43 0.41 Indice vacíos: e=Vv/Vs 0.75 0.75 0.69 Porosidad: n=e/(1+e)=Vv/Vt0.43 0.43 0.41 Volumen aire: Va=Vv-Vw (cm3) 0.33 0.19 0.24 Porcentaje aire Va=Va/Vtx100 (%) 33 19 24 22.22 55.30 42.32 Grado saturación S (%) 1.71 1.81 1.88 Peso unitario saturado γ<sub>s</sub> (gr/cm3)

Tabla 2.3.7-7 Estimación de Indice de Vacíos y Porosidad de Suelos

De estos resultados podemos concluir que el promedio de índice de vacíos e es de 0.73, lo que representa un gran volumen de vacíos comparado con el de sólidos. Por otra parte, la porosidad promedio n es de 0.42, lo que representa un gran volumen de vacíos comparado con el volumen del suelo.

Sin embargo, no necesariamente una alta porosidad implica que se pueden lograr condiciones de saturación. Un buen ejemplo en rocas es el caso de los basaltos vesiculares. Depende de la capacidad de interconexión de los poros dentro de la masa de suelo. Se estima

que en suelos pumíticos deberá haber una carencia de interconexión de poros en zonas superficiales y sin fracturas; sin embargo, puede incrementar con la profundidad (mayor gradiente y presión hidráulica) y las condiciones de fractura de la masa de suelo.

En el caso de arcillas<sup>5</sup> una combinación de baja permeabilidad y alta succión produce saturación arriba del nivel freático<sup>6</sup>. Como se sabe, el espesor de la franja capilar depende del tipo de suelo; mientras para arenas gruesas es de solamente unos cuantos centímetros, para arcillas puede ser de varios metros. El espesor de la franja capilar es inversamente proporcional al radio de los canales de conducción intergranulares<sup>7,8</sup>.

Durante períodos prolongados de lluvia se forma una línea frontal superficial húmeda. Esta avanza hacia abajo y se encontrará con la línea frontal húmeda del subsuelo que corresponde al nivel freático y franja capilar, produciendo de esta manera la saturación total de la masa entera.

En nuestro caso el contenido de aire de los suelos varía entre 19% y 33% con un promedio de 25% (es de mencionar que la saturación puede no ser completa aún en condiciones de laboratorio, ya que un 2% de aire puede quedar atrapado dentro de la masa de suelo). Esto implica que la muestras no estaban saturadas bajo las condiciones naturales, y confirma el grado de saturación obtenido entre 22% a 55%.

El contenido de aire de 25% significa que en un estrato unitario de 1 m de espesor, habría un espacio de aire de 25 cm, el cual puede ser llenado de agua, toda vez que exista interconexión entre los poros. Para ello se necesitaría una lluvia acumulada de 250 mm.

De acuerdo al valor promedio de permeabilidad que encontramos previamente (k=1.4x10-3cm/sec), el tiempo necesario para cruzar este espacio sería de unas 5 horas, lo que significa que una saturación completa de este estrato unitario ocurriría según este período de exposición a la lluvia. Como se vio antes el período para las cenizas de flujo sería diferente que para las de caída, debido a sus diferentes características de permeabilidad.

Además, las condiciones reales del campo pueden causar una variación de estos resultados de acuerdo al número de discontinuidades, y la distribución granulométrica a lo largo del perfil de suelos para cada posición, con una gran permeabilidad si las discontinuidades son numerosas o la distribución granulométrica es uniforme con partículas gruesas.

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Solamente para considerar el caso extremo de difícil saturación comparado con los suelos granulares que son mucho más permeables.

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Whitlow, Roy. 1994. Fundamentos de Mecánica de Suelos, 2a. Edición. CECSA, México. Pag. 95

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> E. Simmons Robinson, 1990. Geología Física Básica. Editorial Limusa, México. Pag. 416.

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> K.Terzaghi/R.B.Peck, 1967. Soil Mechanics in Engineering Practice. John Wiley & Sons. New York. Pag.. 136.

# b) Altura Crítica de Taludes Verticales

La altura crítica de taludes verticales para suelos cohesivo-friccionantes se puede estimar como sigue:

```
Hc = 4C\sqrt{N_{\phi}/\gamma}

donde:

C = Cohesion (Ton/m^2)

N_{\phi} = Tan2(45^{\circ}+\phi/2) = (1+Sin\phi)/ (1-Sin\phi)

\phi = Angulo de fricción

\gamma = Peso unitario (Ton/m^3)
```

En base a los resultados de pruebas de suelos realizadas durante este estudio (2001) y varios otros estudios (CONRED-INSIVUMEH (2002), pruebas y cálculos realizados por Koose (1978), una tesis de graduación (Semrau,1968; realizadas en suelos de tipo similar pero fuera del área de estudio, Salamá y Quezaltepeque), la altura crítica (Hc) que estos suelos pueden lograr sin apoyo, puede ser calculada según se muestra en Tabla 2.3.7-8.

Como se puede observar, la altura crítica de los taludes verticales incrementa con el cambio del tipo de prueba desde las más conservadoras (cortante directo) hasta la prueba triaxial consolidada drenada (CD) con valores mínimos de 13m (cortante directo) a un máximo de 122m (prueba triaxial CD), respectivamente. Por otra parte, en la condición de muestras remoldeadas los valores están entre 26m y 69m dependiendo de las condiciones de densidad.

Tabla 2.3.7-8 Estimación de Altura Crítica (Hc) de Taludes Verticales en Suelos Pumíticos sin Soporte (condición estática)

Lugar	Condición	Peso Unitario (Ton/m³)	Cohesión (Ton/m²)	Angulo Fricción (Degrees)	$Hc=4C\sqrt{N_{\phi}/\gamma}$ (m)
A) Estudio JICA-(2001), Pruebas Triaxiales UU					
Villalobos(cantera)	Remoldeada	1.62	5.63	34.0	26
Villalobos(puente)	Remoldeada	1.65	6.25	34.0	29
	B) CONR	RED Study(2002	2), Triaxial	UU Tests	
Guacamayas	Natural	1.47	14.5	29.7	68
Sta. Fe(prom. De 5)	Natural	1.60	10.8	25.5	43
Sta. Fe	Alterada	1.41	9.8	31.0	49
	C) Koose (	1978)*, Prueba	s de Corta	nte Directo	
Ciudad Guatemala	Natural	1.28	2.0	40.0	13
Ave. Indep.9C.Z.2	Retroanálisis *	1.28	11.0	40.0	74
	D) Dr. Sem	rau's Thesis(19	68), Triaxi	al CD Tests	
c.1) Salamá					
Km 142+500	Natural	1.08	18.0	32.6	122
Km 142+500	Natural	1.10	15.0	35.4	106
Km 142+500	Natural	1.06	16.0	36.9	121
Km 142+500	Remoldeada	1.08	4.0	33.7	28
Km 142+500	Remoldeada	1.08	5.0	32.5	34
Km 142+500	Remoldeada	1.12	10.0	35.4	69
c.2)Quezaltepeque					
Km 32+500	Natural	1.43	19.0	36.5	105
Km 32+500	Natural	1.47	18.0	40.3	106
Km 32+500	Natural	1.47	12.0	40.3	71
Km 32+500	Remoldeada	1.45	11.0	41.0	67
Km 32+500	Remoldeada	1.45	10.0	40.6	60

<sup>\*</sup> Pruebas rápidas de cortante directo en suelos similares a los de los barrancos de Ciudad de Guatemala. Pruebas realizadas en su propio laboratorio.

## c) Susceptibilidad a Erosión (Factor de Erodibilidad de Suelos)

La erodibilidad del suelos constituye la susceptibilidad a la erosión , lo que representa el recíproco de su resistencia a la erosión.

El factor de erodibilidad de suelos K puede ser estimado mediante la siguiente ecuación<sup>9</sup>:

$$K = 2.1 \times 10^{-6} \times M^{1.14} \times (12 - a) + 3.25 \times 10^{-2} \times (b - 2) + 2.5 \times 10^{-2} \times (c-3)$$
 donde:

2-278

<sup>\*\*</sup> Retroanálisis (1976-2-4) usando las condiciones de deslizamiento representativas de Ave. Independencia y 9a.Calle Z.2 de Ciudad Guatemala: H=80 m, Prof. Promedio Grieta=38 m, Angulo Talud=75 Grados, y Aceleración asumida=0.1 g. (Fuente: F. Koose S., 1978. Estudio de Deslizamientos de Taludes de Barrancos en la Ciudad de Guatemala. Memoria del Simposio Internacional sobre el Terremoto de Guatemala, del 4 de Febrero de 1976 y el Proceso de Reconstrucción)

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> W.H. Wischmeier & D.D. Smith, 1978, page 10

 $M = (100 - porción \ de \ arcilla \ (\%)) \ [ \ \% \ (limo + arena \ fina)], \ es \ un \ parámetro \ de tamaño \ de \ partículas$ 

a = porción de materia orgánica (%)

b = código de estructura de suelos

c = clase de perfil de permeabilidad

## Estimación del Parámetro de Tamaño de Partículas, M

El factor M se estima por el análisis granulométrico de suelos del área de estudio.

### Estimación de Materia Orgánica, a

Los materiales orgánicos deben ser analizados para los suelos del estrato superior. Se asume a=0 para la condición crítica de suelos (sin cubierta vegetativa).

#### Estimación de Código de Estructura de Suelos, b

El código de estructura de suelos, b, se clasifica como sigue:

- 1. grano muy fino
- 2. grano fino
- 3. grano medio a grueso
- 4. en forma de bloque, aplanado o masivo

#### Estimación de Clase de Perfil de Permeabilidad, c

La clase de perfil de permeabilidad de divide como sigue (Whischmeier, 1978):

1. rápido

4. lento a moderado

2. moderado a rápido

5. lento

3. moderado

6. muy lento

A su vez, el coeficiente de permeabilidad se clasifica como sigue:

Tabla 2.3.7-9 Clasificación de Suelos de acuerdo al Coeficiente de Permeabilidad

Grado de Permeabilidad	Coeficiente de Permeabilidad (cm/seg)	Suelo Típico
Alto	Mayor que $1 \times 10^{-1}$	Grava gruesa
Medio	$1 \times 10^{-1}$ $1 \times 10^{-3}$	Arena, arena fina
Bajo	$1 \times 10^{-3}$ $1 \times 10^{-5}$	Arena limosa, arena sucia
Muy bajo	$1 \times 10^{-5}$ $1 \times 10^{-7}$	Limo, arenisca fina
Casi impermeable	Menor que $1 \times 10^{-7}$	Arcilla

Fuentes: 1) Karl Terzaghi & Ralph B. Peck, 1967. Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd John Wiley &Sons, pag. 381. 2) George B.Sowers y otros, 1972. Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones, Limusa-Wiley S.A. México, pag. 130

Así, los resultados de K para cuatro muestras tomadas dentro del área de estudio se muestran en Tabla 2.3.7-10. Como se puede observar, los valores de K varían desde 0.48 que indica que es relativamente resistente a la erosión debido al contenido de grava, hasta 0.71, altamente susceptible a la erosión debido a los suelos finos arenoso-limosos.

Tabla 2.3.7-10 Valores del Factor de Erodibilidad K para Suelos Pumíticos en Ciudad de Guatemala

Muestra No.	1	2	3	4
Fecha Muestreo	06/08/2001	06/08/2001	06/08/2001	07/08/2001
Profundidad (m)	0.30-0.60 m	0.30-0.60 m	0.30-0.60 m	0.30-0.60 m
Clasificación Unificada	SM	SM	SM	SM
Clasificación AASHTO	A-2-4(0)	A-2-4(0)	A-2-4(0)	A-2-4(0)
Lugar	50m derecha est. Bombeo EMPAGUA, Hincapié	200m Gasolinera, AreneraVillalobos ruta San Cristobal	150m abajo de Puente Villalobos	Chinautla. Deslizamiento Amatitlancito
% Grava	13	5	4	6
% Arena	61	67	65	63
% Arena fina+limo	40	48	59	46
% Arcilla	0	0	0	0
K (cm/seg) (prueba)	1.75E-05	4.79E-05	6.26E-05	4.27E-05 *
1. Parámetro tamaño partículas M = (100-%arcilla) (%limo + arena fina)	4,000	4,800	5,900	4,600
2Materia orgánica, a (asumido)	0	0	0	0
3Código estructura de suelos, b	2	2	2	2
4Clas perfil permeabilidad, c	5	5	5	5
5 Factor erodibilidad suelos, K	0.37	0.45	0.55	0.43
6.Factor K en unidades métricas (x1.292)	0.48	0.58	0.71	0.55

<sup>\*</sup> Valor estimado

# Resultados de Pruebas en Suelos Arcillosos (Area de Chinautla, norte de Ciudad Guatemala)

Además de las pruebas anteriores en suelos pumíticos, se tomaron dos muestras en el área urbana de Chinautla, siendo una de ellas localizada a unos 100m desde el deslizamiento de Amatitlancito, en una propiedad privada donde podría ser muestreada superficialmente. Este tipo de material arcilloso a su vez se asume que subyace la masa de ese deslizamiento.

Los suelos arcillosos analizados están clasificados como CL y CH, y tienen ambos alta plasticidad (PI=22 y LL=47—51) y con una porción de finos entre 94% a 99%.

Ambas muestras de arcilla presentan una baja resistencia cortante con valores de cohesión Cu=4.97 t/m2, y ángulo de fricción interna φ=17o (Cuadro 2.40).

Se puede observar que aunque los parámetros de cohesión son similares a los de los suelos pumíticos, el ángulo de fricción es bajo, la mitad de los suelos pumíticos. En este caso, debido a que la cohesión se pierde  $(C \rightarrow 0)$  cuando la masa de suelo logra la resistencia pico a lo largo del

plano de falla, la resistencia cortante remanente solamente es la provista por el ángulo de fricción residual (φr) del suelo. Debido a esto, la estabilización natural de los deslizamientos en taludes arcillosos empinados es bastante difícil, de tal manera que el terreno tenderá a deslizar siempre que la condición de esfuerzos a lo largo de la superficie deslizante supere a la fricción residual, lo cual sucede en el caso de fuertes lluvias y terremotos.

Tabla 2.3.7-11 Resumen de Resultados de Pruebas de Suelos, Area de Chinautla (Pruebas en Lab. Dirección Gral. de Caminos y Universidad de San Carlos)

Muestra No.	5	6
Fecha Muestreo	07/08/2001	07/08/2001
Profundidad (m)	0.30-0.60 m	0.30-0.60 m
Clasificación Unificada	СН	CL
Clasificación AASHTO	A-7-5(25)	A-7-6(25)
Lugar	Propiedad de Efraín	100m desde Puente de
	Martínez	Chinautla, 50 m desde
		asentamiento en carretera
Tamiz (Pulgadas/No.)	% Pasando	% Pasando
Grava (AASHTO) No.10	100	
No.40	99	100
No.100	96	99
Arena No. 200	94	99
Porción (USCS)		
Arena	6	1
Finos	94	99
Total:	100	100
Porciones (AASHTO)		
Arena	6	1
Finos	94	99
Total:	100	100
Límite Líquido (LL) (%)	51	47
Indice Plástico (IP) (%)	22	22
Gravedad Específica (Gs)	2.64	2.64
Peso Unitario Seco (gr/cm <sup>3</sup> )	1.36	1.57
Wet Unit Weight (gr/cm3)	1.72	1.93
Coef. Permeabilidad, k(cm/seg)	<1.0E-07	<1.0E-07
Prueba Triaxial (UU), remoldeada:		
Cohesión, Cu (T/m²)	2.4	7.53
Angulo de fricción, φ (grados)	18.4	17.20
Descripción	arcilla limosa	arcilla limosa
Color	Café	café claro

Como se puede observar, el coeficiente de permeabilidad de estas arcillas es menor de 1.0x10-7 cm/seg, que corresponde a una condición de suelos muy impermeable. Así el agua queda retenida en los estratos superiores de estas masas, las cuales se saturan por el flujo de agua a lo largo de las discontinuidades, los gradientes de presión a ciertas profundidades y la relativamente más permeable condición de los suelos arenosos de la superficie.

## 3) Coordenadas de los Suelos Muestreados en este Estudio u Otros

La Tabla 2.3.7-12 muestra las coordenadas de los suelos muestreados en este estudio. También se muestran las coordenadas de muestras tomadas en otros estudios cuando son disponibles.

Tabla 2.3.7-12 Coordenadas de suelos muestreados por estudio de JICA y otros

Lugar	Muestra No.	Latitud Norte	Longitud Oeste	Observaciones
Hincapié, Río Pinula. Est.	JICA-01/1	14°34′	90°31′	JICA-2001
Empagua, Zona 2.				
Villalobos, Cantera	JICA-01/2	14°33′	90°34′.5	JICA-2001
Río San Lucas	JICA-01/3	14°33′.2	90°34′.6	JICA-2001
Amatitlancito. Chinautla	JICA-01/4	14°342′	90°30′	JICA-2001
Propiedad de Efraín Martínez. Chinautla	JICA-01/5	14°42′.5	90°30′	JICA-2001
Puente Chinautla 100m aguas arriba (derecha)	JICA-01/6	14°42′.3	90°30′	JICA-2001
El Frutal, Villa Nueva	JICA-02/1	14°30′58′′	90°33′44′′	JICA-2002 ceniza de flujo
Carret. a San Miguel Petapa y Villa Hermosa (500 m desde muestra 02/1	JICA-02/2	14°30′47′′	90°34′00′′	JICA-2002 material rosado
Km.23+200 carr. a San Lucas	JICA-02/3	14°36′22′′	90°37′36′′	JICA-2002 ceniza de caída
Guacamayas, Zona 7	CR-1	14°39′.5	90°34′.0	CONRED-2002
Lomas de Portugal, Mixco	CR-2,3	14°38′.0	90°36′.0	CONRED-2002
San Julián, Sector 8. Chinautla	CR-4-6	14°41′.0	90°29′.5	CONRED-2002
San Julián, Sector 10. Chinautla	CR-7	14°41′.0	90°29′.5	CONRED-2002
Santa Faz, Jocotales, Zona 6. Chinautla	CR-8-9	14°41′.5	90°29′.5	CONRED-2002
Las Torres, El Incienso	CR-10-13	14°38′.5	90°32′.0	CONRED-2002
Prados de Linda Vista. Villa Nueva	CR-14-15	14°30′.0	90°35′.5	CONRED-2002
Los Cerritos, El Incienso	CR-16-20	14°39′.0	90°31′.5	CONRED-2002
Colector Municipal 9-10	Mach/1-3			Machón-1972
Colector Municipal 10-13-14	Mach/4-5			Machón-1972
Colector Municipal 10-13-14	Mach/6-10,12			Machón-1972
8Ave.16C.Zona1	Mach/11			Machón-1972
Edificio Ministerio de Finanzas	Mach/13-17			Machón-1972
Ciudad Universitaria	Mach/18			Machón-1972
La Mirada, Ciudad Guatemala	Cal-6			Calderón-1999
Ciudad Guatemala, Zona 9	Cal-8			Calderón-1999
Ciudad Guatemala, Zona 9	Cal-9			Calderón-1999
Ciudad Guatemala, Jocotales, Zona 6	Cal-10	14°41′.0	90°29′.5	Calderón-1999
Ciudad Guatemala, Jocotales, Zona 6	Cal-11	14°41′.0	90°29′.5	Calderón-1999
Ciudad Guatemala, Zona 10	Cal-12			Calderón-1999
Guatemala, San José Villa Nueva	Cal-15			Calderón-1999
Ciudad Guatemala				INSIVUMEH-78

# 2.3 Mapeo de Amenaza

- 2.3.1
- 2.3.2
- 2.3.3
- 2.3.4
- 2.3.5
- 2.3.6
- 2.3.7

#### 2.3.8 Métodos de Evaluación de Amenaza

#### (1) Simulación para mapeo de amenaza

Existen dos enfoques para estimar las áreas de amenaza, uno es por la evaluación de la acumulación de eventos en que hubo desastres en el pasado, y el otro es por la estimación del rango de influencia a través de una simulación basada en ciertas condiciones.

El enfoque a través de la evaluación de la acumulación de eventos en que ocurrieron desastres en el pasado (método empírico) permite crear un mapa de amenaza bastante preciso si los desastres ocurrieron con frecuencia y sus registros están suficientemente organizados. Sin embargo, debido a que solo hay un número limitado de tales lugares, una práctica común es usar la historia de desastres así como las condiciones topográficas y geológicas para estimar las áreas de amenaza. Para la estimación de los desastres volcánicos, las áreas de amenaza a menudo son estimadas desde la distancia a los cráteres o la distribución de las expulsiones volcánicas del pasado, lo que representa un tipo de método empírico.

Este enfoque que permite relativamente categorizar el potencial de amenaza de un punto o área, puede ser adoptado para establecer planes de uso de la tierra. Este enfoque también evita obtener una estimación errónea de amenaza siendo ensimisma envuelta con niveles de amenaza acumulativos.

Por otra parte, el enfoque basado en simulaciones digitales permite hacer una estimación basada en fenómenos sobre otras áreas con condiciones similares de ocurrencia de desastres aún sin tener ningún registro de desastres sobre esa área. En otras palabras, un modelo de simulación digital creado sobre la base de fenómenos ocurridos en Japón, por ejemplo, puede ser aplicado a cualquier punto en Guatemala, teniendo similares condiciones de ocurrencia de desastres. La simulación digital también permite estimar las áreas de amenaza con varios tipos de desastres, escalas, y localización de ocurrencia mediante el cambio de las condiciones de ocurrencia. Sin embargo, ya de que las condiciones de estimación son especificadas, cualquier desastre que ocurra con diferentes condiciones puede producir resultados coincidentes con los estimados. A efecto de que los resultados estimados y los reales sean correspondientes uno al otro es necesario examinar completamente las condiciones de estimación y correr simulaciones de casos múltiples con diferentes condiciones.

Tabla 2.3.8-1 Enfoques en la Estimación de áreas de Amenaza en este Proyecto

Tipo de	Punto Principal de	Métodos	Evaluación basada
Amenaza	Estimación	Empíricos	en Simulación
Sísmica	Movimiento del Terreno		0
Sisilica	Licuefacción		$\circ$
	Caída de Piroclásticos	0	0
	Flujo de Piroclásticos		0
Volcánica	Flujo de Lava		0
	Lahar		0
	Colapso de Edificio	0	
Deslizamiento	Deslizamiento	0	
Inundación	Area de Inundación	0	0
Inungacion	Profundidad de Inundación		0

## (2) Amenaza Sísmica

## 1) Bosquejo de Simulación

Hay cinco áreas de estudio: Ciudad de Guatemala, Quetzaltenango, Mazatenango, Escuintla, y Puerto Barrios. El flujo global del trabajo de la estimación de la amenaza sísmica se muestra en la Figura 2.3.8-1. Los puntos de estudio aproximadamente consisten en la evaluación y clasificación de los tipos de suelos, determinación de los sismos máximos, simulación del movimiento del terreno, y estimación del potencial de licuefacción. La siguiente figura muestra el bosquejo de este estudio.

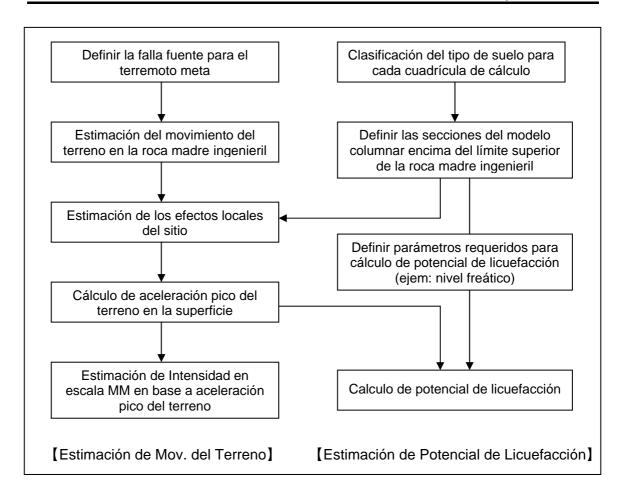


Figura 2.3.8-1 Flujo de la Estimación del Movimiento del Terreno y Potencial de Licuefacción

#### 2) Clasificación de Tipo de Suelos

## a) Clasificación de Tipo de Suelos y Mapeo

La Figura 2.3.8-2 muestra el diagrama de flujo de la evaluación y clasificación de los tipos de suelos. Para estimar el factor de amplificación del movimiento del terreno en los estratos superficiales, organizamos los datos topográficos y geológicos de las áreas de estudio y se realizó un estudio de campo para realizar la clasificación de suelos y un mapa de tipo de suelos. El proceso de este trabajo en cada una de las áreas de estudio se describe en esta sección.

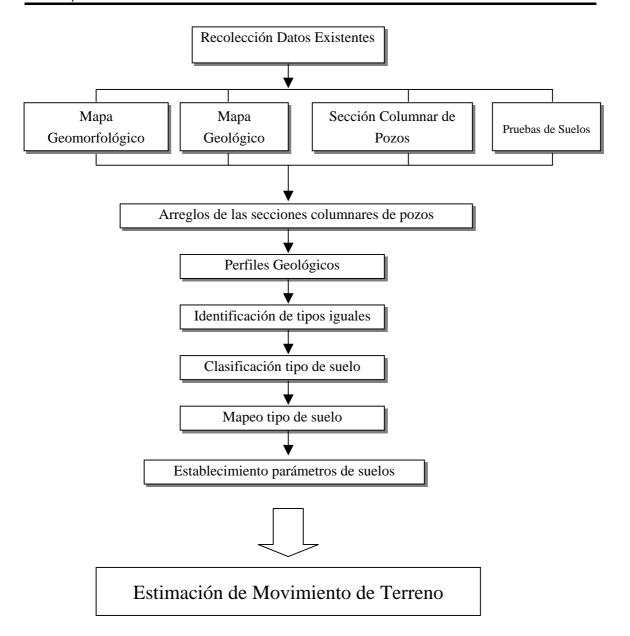


Figura 2.3.8-2 Flujo de la evaluación de suelos para estimación del movimiento de terreno

#### Area de Ciudad de Guatemala

### a. Recolección de Datos Existentes

Dentro del área de estudio adquirimos 88 secciones columnares de pozos construídos por Empagua, los cuales tienen profundidades entre 30 a 300 metros. También adquirimos hojas geológicas a escala 1/50,000 que incluyen el área de estudio. En relación a los análisis de muestras de suelos, las mismas fueron realizadas en el Laboratorio de Suelos de la Dirección General de Caminos después que el equipo de estudio junto con personal de ese laboratorio obtuvo las muestras representativas en el área de estudio.

## b. Situación Topográfica y Geológica

Los relieves en el área de estudio consisten de mesetas constituidas de pómez y ceniza volcánica, con regiones empinada y montañosas alrededor de la cuenca de Guatemala, y la planicie del valle. La elevación es de unos 1500 m en la zona del altiplano o entre 1700 y 1900 m en la región de colinas y montañas de los alrededores.

El altiplano consiste de depósitos de flujos piroclásticos que salieron velozmente desde los alrededores del Lago de Atitlán y que ahora forman estratos con un espesor de más de 200m. Estos depósitos de flujos piroclásticos se extienden sobre un área de distribución de más de 16,000 km².

La Figura 2.3.8-3 muestra una columna geológica representativa alrededor de la Ciudad de Guatemala. In esta columna, el flujo de ceniza H corresponde a los depósitos de flujo piroclástico Los Chocoyos, y sobre la superficie del terreno, se pueden identificar los depósitos encima del flujo de ceniza H como afloramientos. Entre algunos depósitos de flujo piroclástico, se encuentran apretujados estratos de caída de pómez y sedimentos lacustres. Al sur del altiplano, se distribuyen localmente sedimentos fluviales y lacustres encima de los depósitos de flujo piroclástico.

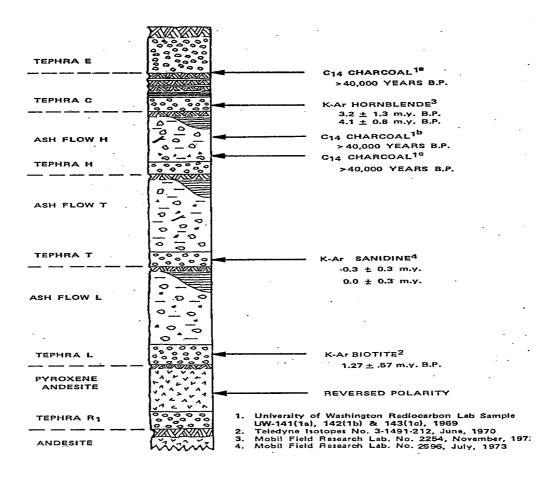


Figura 2.3.8-3 Columna Geológica Básica en Ciudad Guatemala (Koch and Maclean, 1975)

El granito, caliza y lava basáltica del período Terciario se distribuyen en las regiones montañosas y de colinas alrededor del altiplano sobre el lado nor-este del área de estudio. Los depósitos de flujo piroclástico tal como dacita, y toba soldada del período Terciario, se distribuyen en este y sur-este del área de estudio. En el lado oeste, hay depósitos de flujo piroclástico y lava del período Terciario y estratos de pómez de caída que se originaron del Volcán de Agua que los cubrieron.

Los aluviones pumíticos consisten principalmente de depósitos secundarios tales como de flujos piroclásticos que están distribuidos en la planicie del valle a lo largo de los ríos Villalobos y Pinula.

# c. Identificación de Rasgos Geológicos y Clasificación de Suelos

Se compararon las inscripciones de los perfiles estratigráficos de pozos y los mapas geológicos para identificar los rasgos geológicos. Los datos de los mapas geológicos fueron indispensables debido a que las inscripciones de los perfiles estratigráficos de los pozos solo podían dar información de si el suelo es predominante en arena o conglomerado o es limoso. La geología en el área de la Ciudad de Guatemala puede ser clasificada en forma somera en los grupos de suelos del Tabla 2.3.8-2. Los modelos de estas secciones columnares o perfiles estratigráficos se muestran en las Figura 2.3.8-4 a Figura 2.3.8-5.

Tabla 2.3.8-2 Tipos de Suelos en el Area de la Ciudad de Guatemala

Tipo de Suelo No.	Características Geológicas	Número de Sub-tipos de Suelo
1	Estratos de pómez de caída y sedimentos lacustres. Los sedimentos pre-cuaternarios se distribuyen relativamente en forma superficial	2
2	No hay estratos de pómez de caída sino sedimentos lacustres	1
3	Depósitos aluviales y flujos piroclásticos	1
4	Depósitos de flujos piroclásticos	2
5	Estratos de pómez de caída y depósitos de flujos piroclásticos	6
6	Roca madre	1

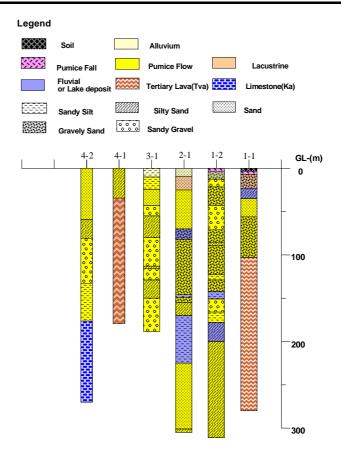


Figura 2.3.8-4 Modelo de Perfil Estratigráfico en Ciudad Guatemala, Area (1)

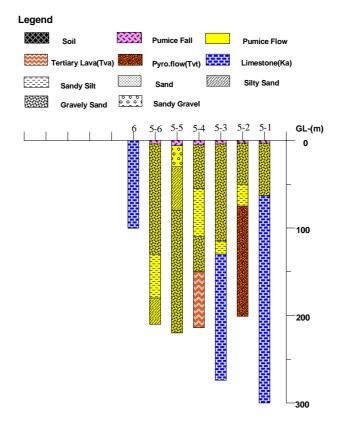


Figura 2.3.8-5 Modelo de Perfil Estratigráfico en Ciudad Guatemala, Area (2)

## d. Elaboración de Mapa de Tipo de Suelos

El mapa de tipo de suelos fue elaborado en base a la clasificación de suelos y la relación existente de velocidad de onda S en la Ciudad de Guatemala. La Figura 2.3.8-6 muestra el mapa de tipo de suelos del área de Ciudad Guatemala.

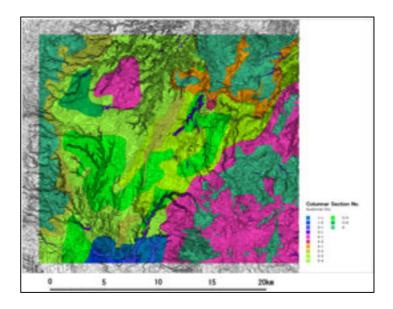


Figura 2.3.8-6 Mapa de tipo de suelo en el área de Ciudad Guatemala

#### ♦ Area de Quetzaltenango

#### a. Recolección de Datos Existentes

Adquirimos 25 perfiles estratigráficos de pozos del área de Quetzaltenango, incluyendo algunos fuera del área de estudio. Las profundidades de esos perfiles están entre 4.5 m a 200 m. Los rasgos topográficos y geológicos del área de estudio se basaron en los mapas geológicos en escala 1/50,000 y los mapas geomorfológicos que fueron creados durante este proyecto.

## b. Condición topográfica y geológica

Los relieves en el área de estudio consisten de mesetas constituidas de pómez y ceniza volcánica, regiones de colinas y montañas al sur del altiplano, y la planicie del valle. La elevación es de unos 2,300 m en la zona del altiplano o entre 2,500 y 2,800 m en las regiones circundantes de colinas y montañas.

Como en el área de la Ciudad de Guatemala, las mesetas consisten de depósitos de flujo piroclástico Los Chocoyos, que fueron expelidos de los alrededores del lago Atitlán y forman estratos de más de 200m de espesor. En el estrato de flujo de ceniza H (depósito de flujo piroclástico) se encontró que incluye un sub-estrato color rosado que se debe a

oxidación en alta temperatura. El estrato pumítico como depósito secundario cubre extensamente el talud inferior y la parte baja del valle. En el lado occidental del área de estudio, se encontró que el estrato de flujo de ceniza H y los sedimentos inferiores están distribuidos en una relación inconsistente. Se supone que en el área de estudio el estrato de flujo de ceniza T estaría debajo del estrato de flujo de ceniza H. En el lado sur de la meseta, se encuentran los depósitos de lava y de flujo de escombros que provienen del Volcán Cerro Quemado. Los sedimentos de la planicie del valle se pueden encontrar en el cauce a lo largo del Río Samalá. Ellos consisten principalmente de estratos de limos pumíticos y de lodo, que son probablemente depósitos fluviales ya de que se pueden identificar claramente los cortes de estratos.

### c. Identificación de Rasgos Geológicos y Clasificación de Tipo de Suelos

Se compararon las inscripciones de las columnas estratigráficas de los pozos con los mapas geológicos, con el propósito de identificar los rasgos geológicos en el área de Quetzaltenango. Asimismo, se examinaron las condiciones de los afloramientos en el campo y los mapas geomorfológicos, a efecto de estimar la distribución de los depósitos de flujos piroclásticos y las expulsiones volcánicas desde el Volcán Cerro Quemado, así como también los aluviones pumíticos consistentes de depósitos secundarios. La geología en el área de Quetzaltenango puede ser aproximadamente clasificada de acuerdo a los grupos de suelos como se muestra en el Tabla 2.3.8-3. Estos modelos de columnas estratigráficas se muestran en la Figura 2.3.8-7.

Número de Tipo de Características Geológicas Sub-tipo de Suelo No. Suelo Depósitos fluviales consistentes de estratos de suelo y limo 1 1 existentes cerca del estrato superficial. Depósitos de flujo piroclástico que están distribuidos debajo de ellos 2 Depósitos de flujo piroclástico y sus depósitos secundarios 6 Existen ambos los depósitos de flujo de escombros y de flujo 3 piroclástico. Las rocas volcánicas del período Cuaternario 1 existen en una localización relativamente superficial. Las rocas volcánicas del período Cuaternario están 4 1 distribuidas en la superficie.

Tabla 2.3.8-3 Tipos de Suelos en el Area de Quetzaltenango

## d. Elaboración del Mapa de Tipo de Suelos

El mapa de tipo de suelos fue elaborado en base a las columnas estratigráficas de pozos y los mapas geológicos y geomorfológicos existentes. La Figura 2.3.8-8 muestra el mapa de tipo de suelos para el área de Quetzaltenango.

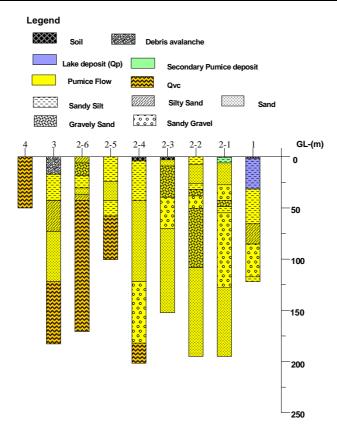


Figura 2.3.8-7 Modelo de Columna Estratigráfica el Area de Quetzaltenango

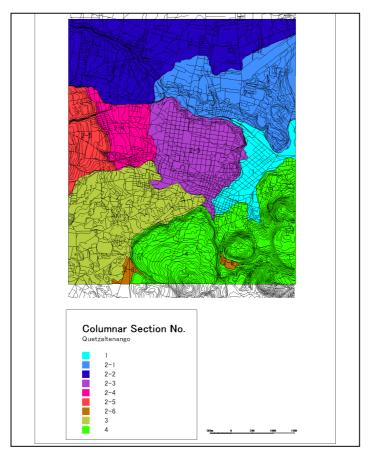


Figura 2.3.8-8 Mapa de Tipo de Suelos del Area de Quetzaltenango

#### Area de Mazatenango

#### Recolección de Datos Existentes

Se obtuvieron cinco perfiles estratigráficos de pozos del área de Mazatenango. De estos solamente uno está claramente descrito y es de 128 metros de profundidad. Se usaron los mapas geológicos en escala 1:25,000 y se recolectaron datos geológicos en el campo.

#### b. Condición Topográfica y Geológica

El área de Mazatenango, localizada en la parte sur de la faja volcánica, es un abanico volcánico del Volcán Santo Tomás. La elevación en el área de estudio está entre 300 a 500 m. En el área de Mazatenango, la mayor parte de la geología consiste de estratos de conglomerados originados de depósitos de escombros y de lahares en épocas antiguas. Se pueden encontrar estratos de grava y conglomerados claramente definidos a lo largo de los pequeños ríos que corren desde el norte al sur. En la parte sur del área de estudio, superficialmente se encuentran estratos de arena limosa con poca arcilla (loam) salpicados con conglomerados, los cuales deben ser cenizas volcánicas acarreadas por inundaciones.

#### Identificación de Rasgos Geológicos y Clasificación de Tipo de Suelos

Para identificar los rasgos geológicos en el área de Mazatenango, se usaron las inscripciones de las columnas estratigráficas de los pozos y los resultados del estudio de campo. Las columnas estratigráficas no permitieron confirmar la presencia superficial de estratos de arena limosa con poca arcilla (loam) salpicados con conglomerados y determinar si el conglomerado o la arena son dominantes. La geología del área de Mazatenango puede ser clasificada aproximadamente en los grupos de suelos mostrados en el Tabla 2.3.8-4. Los modelos de columnas estratigráficas correspondientes se muestran en la Figura 2.3.8-9.

Tipo de Suelo No.

En el estrato superficial se encuentra suelo con arena limosa y arcilla (loam) y conglomerados. Debajo de ellos se encuentran depósitos consistentes de estratos de grava

En la parte superficial se localizan estratos de arena limosa con arcilla (loam). Debajo de ellos se encuentran depósitos de Lahares consistentes de estratos de grava y conglomerados

Tabla 2.3.8-4 Tipos de Suelos en el Area de Mazatenango

#### d. Elaboración del Mapa de Tipo de Suelos

El mapa de tipo de suelos fue elaborado en base a las columnas estratigráficas de pozos y los mapas geológicos y geomorfológicos existentes. La Figura 2.3.8-10 muestra el mapa de tipo de suelos para el área Mazatenango.

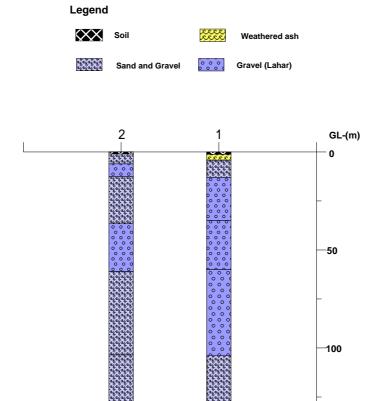


Figura 2.3.8-9 Modelo de Columna Estratigráfica en el Area de Mazatenango

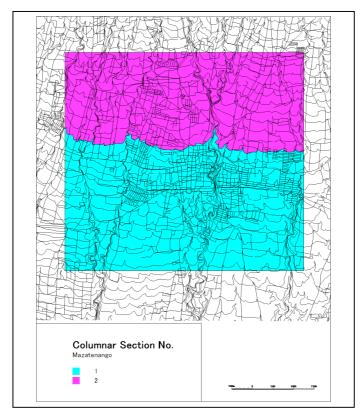


Figura 2.3.8-10 Mapa de Tipo de Suelos en el Area de Mazatenango