

2

TOTAL	D	N	O	S	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
2.472	77	248	267	470	494	213	308	91	102	36	17	17

## Ambiente Físico

### 2.1. CLIMA

Según las definiciones climáticas de Köppen, Sapper y Lauer, el área es incluida en dos tipos de terrenos:

- Tierra templada: Sabana tropical calurosa. Comprende elevaciones de 800 a 1,200 msnm, las variaciones de temperatura anual son entre 20 y 22 grados centígrados.
- Clima tropical de altura, cuyas elevaciones van desde 1,200 a 1,700 msnm, la temperatura anual varía entre 16 a 20 grados centígrados.

La precipitación pluvial promedio, de acuerdo a 19 años de registro, es de 2,139 mm al año, con valores en los meses de septiembre, octubre y noviembre de 405, 318 y 75mm respectivamente, que representa el 37% de la precipitación total. Registros recientes destacan que en septiembre de 1999, la lluvia fue de 900 mm (comunicación personal con Técnico de PROCAFE) y que los meses más lluviosos fueron en 1993, junio y septiembre, con 346 y 404 mm respectivamente; el mínimo registro ocurre en enero, con 1 mm. En la zona de estudio, es frecuente el registro de precipitaciones de 62 y 98mm/hora; dichas intensidades están clasificadas en el rango de altas, y dan lugar a crecidas rápidas y violentas.

La temperatura anual es de 22.1 C° y se encuentra a una altura de 1,020 metros sobre el nivel del mar. El clima es fresco y agradable, debido a la elevación del terreno y a la existencia de abundante cobertura vegetal.

Precipitación normal anual en mm, Berlín.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
1	0	7	46	205	246	202	261	404	247	56	13	1,788

Precipitación mensual máxima en mm, Berlín.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
17	36	102	91	308	543	494	470	679	567	248	77	2,475

## 2.2. FISIOGRAFIA

La ciudad de Berlín yace en una depresión, entre macizos volcánicos recientes con faldas muy abruptas, cuyas pendientes promedian entre 40 y 44%; localmente hasta 60%. Estos volcanes son los “Cerros de Laguna Ciega , Cerro Pelón y Cerro Las Palmas”, cuyas cimas alcanzan los 1,425 m.s.n.m los dos primeros, y 1,525 m aproximadamente, el último.

Las faldas descienden a planicies de pie de monte, que se extienden entre los 1,200 m.s.n.m. a 1,100 sobre el nivel del mar. Estos terrenos bajos son los sectores en donde convergen las quebradas cuya cabecera yace en los terrenos altos ya mencionados. En el quiebre de la pendiente, donde los flujos torrenciales pierden velocidad, se acumula material grueso, y con el tiempo forman lo que se denomina conos de deyección, observados en este pie de monte. Estas tienen una pendiente media hacia la ciudad de Berlín, de 12 a 13%, con distancia al pie de las montañas de 500 a 1,000 metros.

## 2.3 ZONAS DE VIDA

De acuerdo al sistema de clasificación de Zonas de Vida de Holdridge, la zona de estudio se ubica en:

- \* Bosque húmedo subtropical, con bio-temperaturas y temperaturas del aire media anual, menor a 24 grados centígrados (bh-s).
- \* Bosque muy húmedo subtropical, transición a húmedo (bmh-s).

## 2.4 USO ACTUAL DEL SUELO

El área del proyecto, en más del 90%, está dedicada al cultivo del café, y la demás superficie con vegetación natural y arbustiva. En la parte alta del Cerro Pelón se cultiva granos básicos en una superficie estimada de una manzana, otras cuatro manzanas dedicadas al pastoreo. Además, unas 24 manzanas con cobertura vegetal natural en el mismo cerro; también una cubierta arbórea de Ciprés reforestada, en el sector alto de ese cerro.

## 2.5 HIDROLOGIA

Las tres quebradas forman parte de la micro-cuenca, quebrada El Hoyón. Esta última se localiza en la región hidrográfica "A", parte baja de la cuenca del Río Lempa.

Se caracteriza por sus volcanes, donde el potencial de escorrentía y la infiltración esta estrechamente afectada por la presencia de una sección geológica del Cuaternario constituida por lavas andesíticas fracturadas y tobas, y tal naturaleza le brinda condiciones favorables para la existencia de abundante humedad en el medio.

La quebrada Gallinero comienza al sur de la ciudad de Berlín, al este del cerro Las Palmas y fluye de sur a norte. La quebrada Colonia Jardín nace al sureste de la ciudad, al Noroeste del Cerro Pelón. Las demás características serán discutidas en el tema de Control de Torrentes.

## 3

# Geología

## 3.1 METODO DE INVESTIGACION

El estudio geológico de la zona se llevó a cabo según los pasos y actividades a continuación descritas, a saber:

1. Definición de Actividades y cronograma
2. Recolección de datos de las fuentes de información
3. Análisis de fotografías aéreas e imágenes de satélite
4. Cartografía geológica de campo.
5. Análisis e Integración de los resultados.
6. Diagnóstico

Las fotografías aéreas han sido referidas en hoja aparte (Mapa Índice), indicando centros de foto, año; en la misma hoja, las tomas fotográficas de campo, según orientación.

Por separado, la Hoja Geológica, que incluye estratigrafía y estructuras; un Mapa de Susceptibilidad y Deslizamiento de Masa explica los tipos identificados.

El estudio de campo se empleó hojas altimétricas en escala 1:5,000 que fueron digitalizadas y vectorizadas a la escala 1:10,000, para hacer la hoja matriz sobre la cual se han elaborado los mapas temáticos. La información de campo luego fue vaciada en tales hojas.

Algunas estructuras geológicas fueron determinadas por medio de fotografías aéreas, dado que las evidencias de campo son insuficientes para elaborar un cuadro tectónico de la zona. Sin embargo, las mayores estructuras, como las fallas, permiten reconstruir con suficiente confiabilidad el marco estructural local.

Las rocas no fueron objeto de análisis petrográfico, la identificación de los tipos se efectuó por inspección macroscópica in situ.

### 3.2 FUENTES DE INFORMACION

Las fuentes de referencias, para el estudio geológico de Berlín, son:

Mapas y Fotografías Aéreas. Instituto Geográfico Nacional. Las fotografías (pares estereoscópicos) utilizadas fueron :

- Cuadrante Berlín L-4A, R-3, fotos # 575 al 577, 02/92, 1: 30,000  
2456-II, L-5A, R-1, fotos # 604 al 606, 02/92, 1:30,000  
L-2, R-194, fotos # 154 al 157, 11/79, 1: 20,000  
L-1, R-193, fotos #98 al 100, 11/79, 1: 20,000
- Las hoja topográfica base es el Cuadrante Berlín, 1:25,000
- El estudio detallado se vació en hojas alimétricas en escala 1:10,000
- De referencia se ha recurrido al siguiente material publicado o inédito:
  1. Mapa Geológico Hoja San Miguel y San Salvador, 1:100,000. Misión Geológica Alemana, 1978.
  2. Mapa Geológico de El Salvador, 1:500,000. Scott Baxter, 1999.
  3. Mapa Geodinámico de El Salvador, 1:500,000. Scott Baxter, 1999.
  4. Mapa Geomorfológico de El Salvador, 1:500,000. Scott Baxter. En preparación para ser publicado.
  5. Léxico Estratigráfico de El Salvador, Scott Baxter, 1984.
  6. Mapa Geológico, Campo Geotérmico de Berlín. CEL.

Se ha empleado la imagen de satélite del sector, LANDSAT Banda 4,5,3; geo-referenciada, procesados en el programa ILWIS 2.2, de diciembre 1998, MARN; incluido en el Mapa Geológico, del presente proyecto.

Asimismo las siguientes publicaciones han servido de referencia local, como son:

- Remarks on the geological structure of the Republic of El Salvador, Central America. Palaönt. Inst. Univ., Hamburg, Heft 44, 557-574. Gerd Wieseman, 1974.
- \* Sobre la Naturaleza Geológica de El Salvador, en Mapa Geológico de El Salvador. Scott Baxter, 1999

- \* Sobre la Naturaleza de los Procesos Geodinámicos en El Salvador, en Mapa Geodinámico de El Salvador. Scott Baxter, 1999.

### 3.3. GEOLOGIA REGIONAL

#### *Revista Regional*

El ambiente geológico en el cual se ubica la zona objeto del presente estudio es un terreno volcánico joven, estrechamente relacionado a los procesos del Terciario medio hasta el presente tiempo geológico.

Dengo (1963) resume los procesos tectónicos regionales según un esquema ya clásico. Explica que estas unidades son resultado y a la vez han sido afectadas por la geodinámica regional durante la orogenia Laramídica, en el Terciario.

Luego el mismo autor (1983) explica el territorio centroamericano en términos de bloques; dado los lito-tipos y el desplazamiento de los “Terrenos Sospechosos”. El bloque Chortis, del cual forma parte el territorio de El Salvador, es un fragmento de la Placa Caribe y es de corteza cratónica.

Las rocas del basamento son meta-sedimentarias y meta-volcánicas de bajo grado (filitas), paleozoicas (Orogenia Taconiana u Orogenia Acadiana ?) a Precámbricas (Faja Grenville ?), cubiertas por rocas sedimentarias marinas y continentales del Mesozoico - Terciario inferior.

El escenario tectónico es complejo durante el Cretácico superior al Eoceno inferior, debido a que en ese largo período de tiempo, el Bloque Chortis colisionó contra el Bloque Maya y Oaxaca, en dirección Norte, y durante el evento, ocurrió la sutura en el actual límite de los bloques, en las fallas Chamelecón-Motagua (Guatemala).

La secuencia del Mesozoico es sobreyacida por rocas volcánicas del Cenozoico, intrusivos ígneos del Terciario cortan las anteriores secciones, ello parte de los eventos de la Orogenia Laramídica.

Las rocas volcánicas del Cenozoico ha sido referidas como:

- unas asociadas a fallas N-S, en fosas observadas el oeste de El Salvador. Tales estructuras pueden deberse a la migración del bloque Chortis hacia el este y al tectonismo relacionado a la sutura durante el Mesozoico superior-Terciario inferior, y

- otras que forman parte de la Cadena Volcánica de Centro América frente a la costa pacífica, en tres patrones estructurales, relacionados a la interacción de las placas Cocos y Caribe.

Las evidencias estructurales y estratigráficas sugieren que no hay un límite claro del volcanismo a lo largo del Cretácico superior y el Terciario, según predominaron las distintas fuerzas.

Desde el Mesozoico superior (Grupo Yojoa) hubo actividad volcánica en la zona norte, simultáneamente con la acumulación de sedimentos marinos. En el Terciario inferior ocurre extendida actividad volcánica en las depresiones estructurales intermontanas (N-S) junto con la acumulación de fácies terrestres (Grupo Valle de Angeles). La actividad volcánica del Terciario fue a lo largo de previas estructuras reactivadas y otras que gradualmente surgieron, oblicuas a las anteriores.

En efecto, una vez concluyó la etapa de sutura hacia el norte con su respectiva dinámica de esfuerzos, el movimiento del Bloque Chortis siguió hacia el este en el Eoceno-Oligoceno, y ocurre la interacción de las placas Cocos-Caribe. Resultado de los esfuerzos de las placas, se inició la formación de la cuenca Mid América y en la secuencia estratigráfica puede trazarse los momentos de mayor actividad tectónica-volcánica.

Las investigaciones en la cuenca Mid América, frente a la costa de El Salvador (Baxter, 1999 a,b), indican un proceso cíclico de compresión y relajamiento desde el Terciario medio, o sea, de ascenso y descenso regional, debido a la dinámica de placas. La mejor evidencia son las discordancias erosionales en la secuencia de sedimentación. Sugiere que el volcanismo en los distintos momentos geológicos ha respondido por igual a tal dinámica de placas, es por ello que ha correlacionado las unidades costa afuera con el volcanismo tierra adentro.

A partir del Terciario medio, la actividad volcánica gradualmente ha migrado a nuevas líneas de esfuerzos, más próximos a la costa actual, disminuyendo su intensidad en la faja norte durante el Bálamo, y en el Cuscatlán es escaso sino dudoso; en el Cuaternario medio-superior se ubica en una faja central, y es ausente en el norte.

Estos procesos tectónico-volcánicos han sido máxima en cuatro momentos, durante el

- Eoceno superior-Oligoceno inferior
- Oligoceno superior-Mioceno inferior
- Mioceno superior-Plioceno
- Plio-pleistoceno.

Desde el máximo Plio-pleistoceno, la cuenca Mid América ha descendido a profundidades mayores, cubriéndose terrenos mar afuera que un día estuvieron sobre el nivel del mar (Baxter, 1996). Se sospecha que las fuerzas que interactúan entre ambas placas gradualmente ha disminuido, al menos en algunos sectores.

Puede interpretarse que la interacción oblicua de las placas ha sido más importante desde el Terciario medio al presente y a ello debe las actuales líneas de esfuerzos. El desplazamiento del Bloque Chortis hacia el este continúa, y el terremoto en Guatemala (1976), a lo largo de la falla Motagua, es un periódico recordatorio.

#### *Revista Local*

El terreno geológico objetivo ha sido ampliamente estudiada para fines de generación de energía geotérmica. Una extensa lista de estudios puede ser revisada en Bibliografía Geológica de El Salvador (Baxter, 1985); además, CEL dispone de una excelente referencia en su biblioteca. También es importante referir el trabajo del equipo alemán en la cartografía geológica (Bosse H.R., 1978; Wiesemann G., 1974) del país.

Los estudios geológicos indican que la zona del proyecto se ubica en el segmento estructural este del país, que se distingue por tener una actividad tectónica menos intensa que la del oeste (Baxter, 1999a).

La parte central (longitudinal) de este segmento esta confinada entre estructuras ONO-ESE, orientación de movimiento relativo dextral de los esfuerzos del Terciario medio a nuestros días; y la amplia depresión ha sido rellenada por material volcánico reciente. Al sur y hasta la costa, es un bloque que desciende del sector elevado en donde se ubican los centros volcánicos jóvenes (Berlín-Santiago de María) pero sin actividad histórica. Además, se ha reconocido una actividad sísmica periódica.

Los centros volcánicos están orientados según líneas estructurales N-S, y estos dislocamientos están asociados a otros cuyos rumbos predominantes son NO-SE, NO-SE.

Es notable el hecho que en la zona de Berlín-Santiago de María, que constituye un bloque elevado, aun exista actividad volcánica reciente (Holoceno) o evidencias fumarólicas, mientras en otras zonas de la Cordillera, ya es extinta y muchos de los edificios volcánicos ya están profundamente erosionados.

Existe una estrecha relación entre las estructuras ONO-ESE y algunas morfologías de tipo volcánico, como es el caso de las calderas. Al igual que Ilopango, tales depresiones volcánicas yacen en alineamientos bien definidos, y no puede excluirse que tal asociación facilite la migración de las cámaras magmáticas, dando a lugar el hundimiento adicional de sectores inmediatos a los grandes centros volcánicos del Cuaternario de tipo Peleano.

### 3.4 ESTRATEGIA

En la zona de interés se ha identificado una formación geológica aflorante, esta es, la Formación San Salvador. La Formación San Salvador es la unidad más joven de la columna geológica nacional, de edad Holoceno, o sea, menor de 10,000 años, predominando el volcanismo tipo peleano, algunos productos retransportados (epiclastitas) se observan por igual. Están presentes los miembros s3'a y s2, y se describen de la siguiente manera, a saber:

**Miembro s3'a.** Es una secuencia de tobas piroclásticas, con material pumítico e ignimbritas de composición intermedia a félsica. Afloramientos en los terrenos inmediatos a la ciudad de Berlín son de poco espesor e importancia, y las secciones tipo pueden ser observados en la vía a esa ciudad, desde la CA-1.

**Miembro s2.** Es una secuencia volcánica básica-intermedia cuyas coladas han sido datadas como de la Epoca de Brunhes (0-730,000 años) y otras más antiguas entre las épocas Brunhes y Matuyama (730,000 años), pero cuya edad estratigráfica es mucho más joven, a juzgar por su relación con otras unidades.

Desde la ciudad de Berlín, ascendiendo hasta la cúspide del cerro Pelón, se observa:

- En la parte baja (cota 1050-1090) una toba con líticos menores a 1 cm, densa, compacta y oscura. No se observa estratificación.
- Entre la cota 1090 y 1105, una toba pisolítica (probablemente un evento en época lluviosa), densa, oscura, compacta (Fotografía 7, ver Mapa Índice). Se notó una pseudo estratificación laminar en la vía, pero ello probablemente debe a la presencia de una falla (anular) asociado a un asentamiento caldérico.
- Entre 1105 y 1120, colada de lava andesítica (apreciación visual sin confirmación petrográfica) densa y fracturada, que cubre localmente la secuencia de tobas. En el contacto inferior (Fotografía 2) de las lavas con las tobas, metamorfismo de contacto, siendo un afloramiento tipo, el ubicado 25 metros de la quebrada, sobre la vía. En ese mismo punto, actividad fumarólica y las rocas inmediatas han sufrido alteración hidrotermal leve. La parte inmediatamente encima es densa.

El espesor de esta unidad se estima en unos 10 metros y su distribución obedece a la topografía existente originalmente.

- Entre 1120 y 1165, tobas densas bastante similares a las basales.
- Entre 1165 y 1175, secuencia de toba laminar, fisil, poco densas.
- Entre 1175 y 1178, paleosuelo (horizonte guía) oscuro.
- Entre 1178 y 1260, toba gruesa y lapilli estratificado más jóvenes y menos compactas, fisil, laminar en la parte superior.

En el interior del volcán (cerro Pelón) se observa secuencias lávicas intercalando tobas y tefra (Fotografía 1). Otra colada importante yace en el cerro Las Palmas. En general, el aporte más relevante de grandes bloques de lava procede de estas dos fuentes.

### 3.5 GEOLOGIA ESTRUCTURAL

Las zona esta estructuralmente orientado según fallas predominantes:

1. NO-SE,
  2. E-O
  3. N-S,
  4. estructuras anulares asociado al colapso local de tipo caldérico.
- Las estructuras NO-SE de tipo deslizamiento de rumbo, cuyo movimiento relativo es lateral derecho, se constituye en el elemento determinante del alineamiento de los centros volcánicos locales; como es el caso de tres edificios alineados del grupo Oromontique. Lo mismo se puede decir de las manifestaciones fumarólicas. En la zona de Berlín, el cerro Pelón y las Palmas, ambos edificios volcánicos, yacen en fallas de este tipo. Suelen ser fallas transversales de corta extensión (menores de 10 Km) que cortan las fallas longitudinales.
  - Las estructuras ONO-ESE, longitudinales y limitante de la depresión regional, se constituye en una componente de relajamiento en los esfuerzos compresionales, pero de movimiento horizontal dextral relativo.
  - Las estructuras N-S, son de tipo normal y también controlan la ubicación de los cráteres volcánicos, como es el caso del cerro (volcán) El Tigre.
  - Las estructuras anulares asociados a los centros volcánicos son fenómenos post magmáticos. Algunos lagos yacen en el interior de estas estructuras, caso es la Laguna Ciega y Alegría. Una estructura caldérica de mayor tamaño (5 km de norte a sur) se observa bordeando la ciudad de Berlín, de hecho, esta ciudad se ubica en el centro de esta estructura (ver Mapa Geológico). A

juzgar por la configuración local, un sector del antiguo volcán colapsó, probablemente por la migración magmática. Resultado de ello, en la zona en que se ubica la ciudad de Berlín, es el centro del hundimiento y los volcanes (ó cerros) Pelón y Las Palmas, yacen en el límite del gran edificio volcánico erosionado y fallado; probablemente son los últimos eventos de actividad efusiva pre-caldera. En el campo es poco evidente tal evento sin embargo, en la cota 1090-1100, sobre la vía que une Berlín con Alegría, se notan estructuras asociadas a fenómenos de fracturamiento y deformación plástica de material poco consolidado.

### 3.6 GEOMORFOLOGIA

La zona del proyecto es típico de un terreno volcánico joven, predominando materiales y edificios cónicos de fuerte pendiente.

El sistema fluvial es radial, corto, sin un sistema mayor de recogimiento en las inmediaciones de las estructuras volcánicas, las secciones hídricas son angostas y la altura de los taludes se ajustan al litotipo predominante, sin flujo salvo en período de lluvia y suele ser torrencial.

Los cambios de orientación de los cursos deben a los litotipos y a la presencia de estructuras. La presencia de coladas de lava condiciona la forma y orientación de flujo y un ejemplo de ello es la quebrada que desciende del cerro Las Palmas (ver Mapa Geológico el A en ) identificada como quebrada El Gallinero.

En el sector de Berlín hay una marcada tendencia del sistema fluvial en ajustarse a la estructura caldérica que bordea la ciudad, y en ese sentido por igual fluye la escorrentía superficial (A<sub>1</sub> .

Los pequeños saltos en las quebradas deben casi exclusivamente a los contrastes litológicos (A<sub>2</sub> ). Las mayores pendientes están en la parte alta de los edificios (A<sub>3</sub> , Fotografía 9) y gradualmente disminuyen al pié de los cerros o volcanes (A<sub>4</sub> .

### 3.7 GEOLOGIA AMBIENTAL

#### 3.7.1. TIPOLOGIA DE LOS DESLIZAMIENTOS DE MASA

Normalmente se considera el deslizamiento de masa, en términos de algo catastrófico, como suele ser la imagen de una avalancha en terrenos escabrosos, observados en zonas montañosas.

Parte es cierto, pero no siempre es el caso, de hecho, tipos de deslizamiento de masa ocurren en terrenos relativamente llanos.

Algunos son rápidos, otros son muy lentos, ocasionalmente involucran grandes masas de material, otros pequeños y aislados fragmentos, difíciles de detectar por ser casi imperceptibles.

El origen de los deslizamientos de masa ha sido atribuido a numerosas causas, como es el caso de las condiciones del suelos y subsuelo geológico, erosión, prácticas en el uso del suelo, construcción, sismos, lluvia; usualmente se combinan varias de estos para producir el fenómeno.

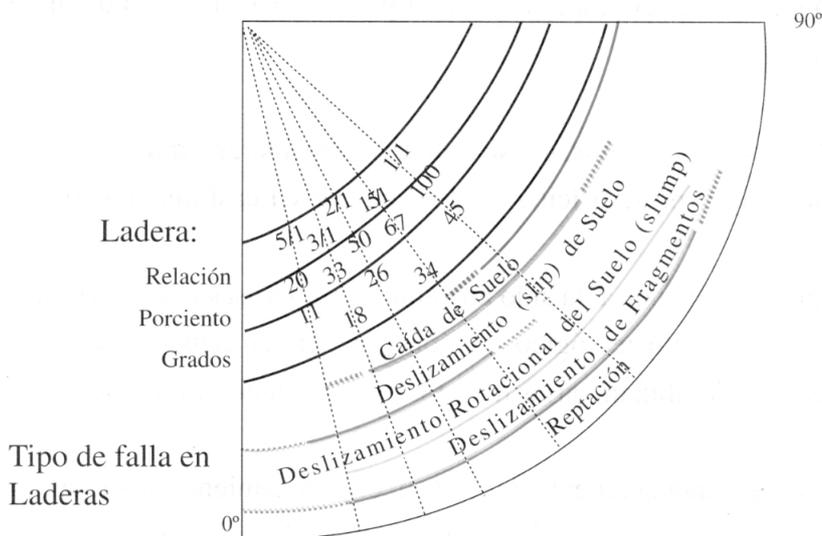
Lo que se ha observado es que independiente del origen, el deslizamiento de masa es muy común, y si no es atendido prontamente, resulta a la larga muy costoso de resolver y difícil.

#### CAUSA DE UN DESLIZAMIENTO

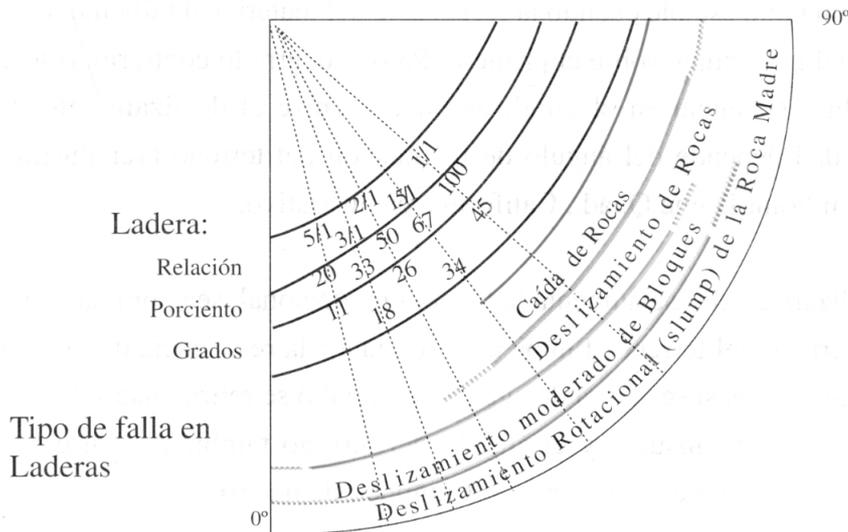
Se ha reconocido que hay dos factores o fuerzas importantes que inciden en cualquier talud. Uno de estos es la fuerza vrs. resistencia (al fallamiento) del material que constituye el talud. La otra fuerza involucrada es la gravedad.

Se entiende que existe un talud estable cuando la resistencia del material al fallamiento es superior a las fuerza gravitacional que actúan sobre el primero. Pero si ocurre lo contrario, o sea, la fuerza gravitacional supera la resistencia en el talud, entonces ocurre el deslizamiento. El tipo de deslizamiento y velocidad depende del ángulo de inclinación del terreno (ver ilustración). Los estudios de Campbell en Point Dume Quad., California, es ilustrativo.

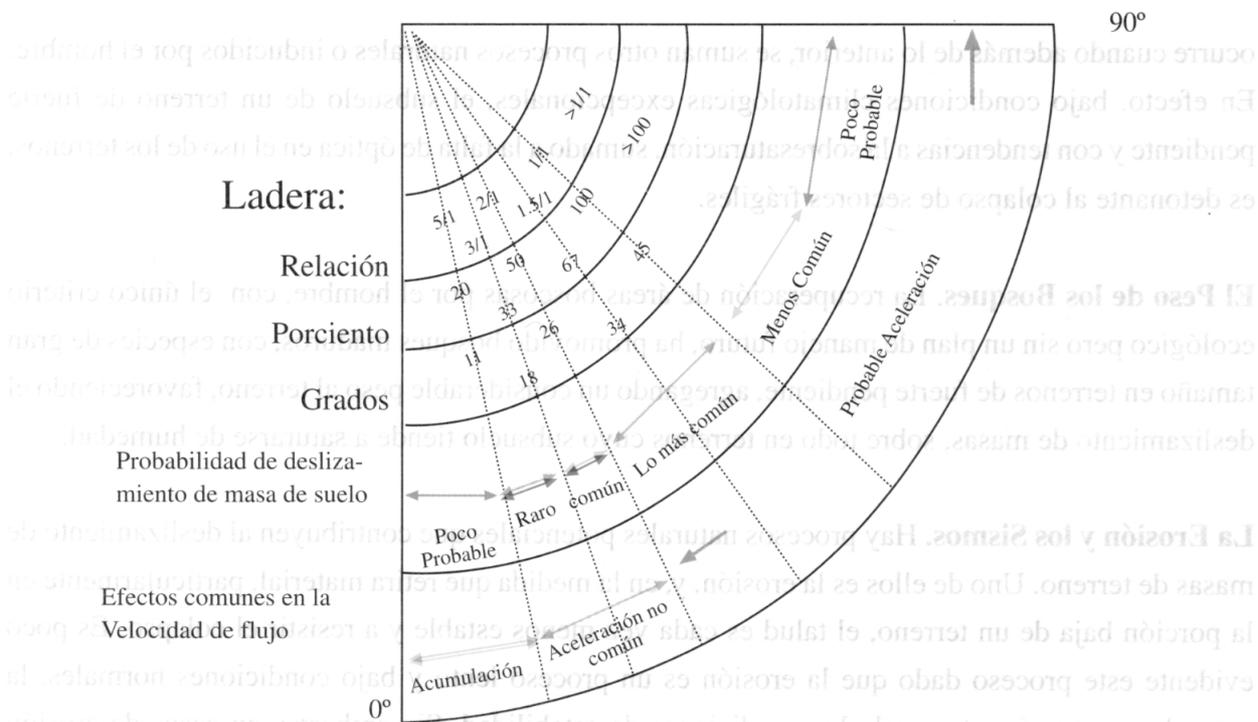
Puede favorecer el deslizamiento si se aumenta la fuerza gravitacional, sea por una construcción o carga adicional de material en el terreno. También, si se reduce la resistencia del material, puede fallar el terreno; caso de ello es si se satura de agua el material o se retira material soportante del talud. La relación del tipo de subsuelo y el ángulo del terreno también están estrechamente relacionados (ver ilustración), aspecto que también Campbell demostró.



RELACION DE LOS DESLIZAMIENTOS EN LADERAS; SUBSUELO MATERIAL INCONSOLIDADO



RELACION DE LOS DESLIZAMIENTOS EN LADERAS; SUBSUELO ROCOSO



**RELACION: DESLIZAMIENTOS DE SUELO Y FLUJO DE ESCOMBROS CON PENDIENTES DE LAS LADERAS**

**El Papel del Agua.** La presencia de agua en el material del talud es uno de los motivos más frecuentes por el cual ocurren los deslizamientos.

Hay dos razones básicas que afectan las fuerzas operando en el talud:

- La primera es: el agua agrega peso adicional al material, dado que es más pesado que el suelo seco. Así se vuelve inestable.
- La segunda razón es: los planos de fricción de la roca son lubricados, reduciendo la resistencia al deslizamiento.

La abundante infiltración, sumado al peso del agua en el medio, su efecto combinado potencia el movimiento de masas de material.

Los terrenos geológicos son usualmente estables aun cuando esté presente tal saturación del medio, y en condiciones aparentemente inestables. Sin embargo, se ha podido observar que un deslizamiento

ocurre cuando además de lo anterior, se suman otros procesos naturales o inducidos por el hombre. En efecto, bajo condiciones climatológicas excepcionales, el subsuelo de un terreno de fuerte pendiente y con tendencias a la sobresaturación, sumado a la falta de óptica en el uso de los terrenos, es detonante al colapso de sectores frágiles.

**El Peso de los Bosques.** La recuperación de áreas boscosas por el hombre, con el único criterio ecológico pero sin un plan de manejo futuro, ha promovido bosques maduros, con especies de gran tamaño en terrenos de fuerte pendiente, agregando un considerable peso al terreno, favoreciendo el deslizamiento de masas, sobre todo en terrenos cuyo subsuelo tiende a saturarse de humedad.

**La Erosión y los Sismos.** Hay procesos naturales potenciales que contribuyen al deslizamiento de masas de terreno. Uno de ellos es la erosión, y, en la medida que retira material, particularmente en la porción baja de un terreno, el talud es cada vez menos estable y a resistir el colapso. Es poco evidente este proceso dado que la erosión es un proceso lento y bajo condiciones normales, la naturaleza actuará restaurando las condiciones de estabilidad. Sin embargo, en casos de erosión acelerada, como la que puede ocurrir en tormentas tropicales, si puede darse un deslizamiento.

Un sismo es otro de los motivos identificados como estrechamente relacionado a los deslizamientos. Aun un sismo relativamente suave, pero en terrenos en el límite de la estabilidad, puede generar el movimiento.

**Actividades Humanas.** La construcción de vías de acceso, casas, reservorios de agua, pueden causar deslizamientos de masa.

En algunos casos, las actividades humanas afectan las fuerzas en el medio agregando peso a un terreno, o cambiando la característica del talud de alguna manera. Un ejemplo del segundo caso y observado frecuentemente, es retirar el pie del talud, o sea la parte baja, en la apertura o ampliación de carreteras en zona montañosa; tiene el mismo efecto que una erosión natural pero mucho más rápido.

También, al despejar la vegetación para la construcción puede permitir que más agua penetre en el subsuelo, aumentando peso y reduciendo la fricción interna, o, aumentando la escorrentía superficial y creando nuevas superficies de escurrimiento con las agravantes del caso. Fenómenos erosivos ocurren cuando material de desecho es descargado en laderas de terrenos escabrosos, destruyendo la vegetación existente y favoreciendo el escurrimiento superficial sin control.

Otro factor de erosión es la inadecuada o inexistente canalización de aguas superficiales en las vías o carreteras. Usualmente, en las vías de menor importancia, como suele observarse en zonas montañosas, es en donde los drenajes son poco atendidos. Como en el caso anterior, el escurrimiento sin control termina afectando la misma vía como los sectores inmediatos.

Ciertas actividades que causan impactos violentos, como explosiones o vibraciones de maquinaria pesada, pueden causar cambios rápidos en las fuerzas actuantes en los taludes y generar un deslizamiento no más distinto a los observados en un sismo. Algunas actividades que afectan el potencial de deslizamiento son:

1. Rellenos para la construcción. Pueden aumentar considerablemente el peso de carga en el talud y dependiendo de su ubicación, bloquear el drenaje subterráneo, aumentando el peso por la carga hidrostática.
2. Construcción de edificios, carreteras u otras estructuras. Aumentan el peso en el talud, pueden aumentar la infiltración en taludes cercanos.
3. Sistema sépticos. Aumentan la infiltración en los taludes, y disminuye la resistencia a la falla.
4. Cualquier actividad que involucre aumentar la infiltración de agua en los taludes.

## TIPOS DE DESLIZAMIENTO

Los deslizamientos de masa han sido clasificados de diferente manera, según el material involucrado, la velocidad en que el movimiento ocurre. Otro tipo de clasificación está relacionado por el tipo de movimiento, tal como lo explica David Varnes y ampliamente utilizado por los geólogos como por el Servicio Geológico de los Estados Unidos. Este sistema ha sido actualizado en el presente momento y se divide el tipo de movimiento en cinco categorías; subcategorías son utilizadas para referir el tipo de material y la velocidad del movimiento. Por su carácter práctico y por las evidencias de campo, este es la clasificación utilizada en el presente reporte.

Hay cinco maneras en que el suelo, la roca o material suelto se puede mover bajo la fuerza de la gravedad:

1. El material puede caer libremente (o casi libremente) de un talud o acantilado.
2. Se puede deslizar hacia abajo a lo largo de una superficie identificable en el cual el movimiento puede estar ocurriendo. Una masa se mueve a través de otra que es estacionaria.

3. Puede fluir como un fluido denso sin reconocerse una superficie identificable.
4. El material puede volcar o inclinarse sobre un punto pivotal.
5. Puede desparramarse lateralmente por un declive en el terreno más que colina abajo.

Los movimientos en pendientes que involucran a dos más tipos de movimiento se definen como deslizamientos complejos.

**Derrumbes.** Los derrumbes de tierra o roca ocurren cuando se separa el material de un talud o de un acantilado. El material cae, rebota o rueda por el medio en un movimiento muy rápido, acumulándose los rodados, bloques o suelo al pie de la fuente, a manera de talus. Este fenómeno puede deberse a la condición o estado de la roca y su ángulo de estabilidad, fracturamiento, entre otros motivos. Suele estar asociado a otros movimientos de masa, y el viento, agua o vibraciones pueden provocarlo.

**Deslizamientos.** Este término refiere al movimiento de suelo, roca a lo largo de una superficie claramente identificable denominada *Zona de Ruptura*. Esta zona ocurre en planos entre capas de roca (contactos estratigráficos) o el suelo respecto a un subsuelo rocoso. La velocidad del movimiento fluctúa entre muy rápido (10 m por segundo) a muy lento (un metro por año).

Los deslizamientos se dividen en dos tipos, en función a la forma de la zona de ruptura. Aquellos con forma curva o como cuchara son denominados deslizamientos rotacionales (rebajamiento [slump])

Los deslizamiento en superficies relativamente planas son denominados translacionales. Pueden ser llamados deslizamientos de escombros (deyecciones) cuando el material esta suelto o inconsolidado; deslizamientos rocosos cuando el lecho de roca es involucrado. El tipo de deslizamiento más frecuentemente observado es el de rebajamiento (slump); ocurre cuando el pie, la base de un talud o una ladera es cortado por erosión natural o por actividad humana. Cuando esta ladera o talud ha pasado por varios pequeños rebajamientos, resulta una topografía con aspecto de terraza.

**Flujos.** Hay varios tipos de movimiento de ladera o talud que no pueden ser clasificados como derrumbe, deslizamiento, volcamiento o desparramiento. En material inconsolidado, se observa más bien una suerte de flujo, que puede ser rápido, lento, seco o húmedo. Los flujos pueden ser distinguidos por su composición. Pueden ocurrir en arena seca o húmeda, también con suelo, tierra,

escombros de roca, nieve, hielo (avalanchas), o inclusive roca madre. Algunos tipos de flujos, como los “flujos de lodo”, ocurren muy rápidamente, otros muy lento. Existe un tipo de flujo casi imperceptible de suelo o roca mejor conocido como reptación, y es tan lento que solo es percibido en períodos largos de tiempo, amén de su expresión superficial. La reptación tiene la particularidad de inclinar postes, torres, árboles o cualquier objeto, en dirección pendiente abajo de la colina. La reptación ocurre bajo condiciones naturales, pero puede ser acelerado debido a deforestación o construcciones.

**Volcamiento.** Un bloque de roca que se inclina o rota al frente sobre un punto pivotal es denominado volcamiento. El bloque puede haber quedado en posición o ángulo precario, balanceándose a si mismo sobre el punto pivotal y sobre el punto que descansa. El volcamiento no necesariamente puede involucrar mucho movimiento y tampoco puede necesariamente detonar derrumbes de escombros o deslizamiento de rocas.

**Desparramamiento Lateral.** Este tipo de movimiento casi horizontal ocurre en terrenos prácticamente llanos y a lo largo de laderas. Es usualmente iniciado por terremotos, licuando la capa subyacente a la que se desplaza. Se observa como una ruptura superficial y luego la separación de las unidades que se desplazan independientemente unos de otros, lentamente. Pero ha sido observado este tipo de movimiento en materiales terrosos, inesperadamente y relativa alta velocidad.

### 3.7.2 EVIDENCIAS DEL CAMPO

Se han estudiado las fotografías de 1979 y las más recientes de 1992; el análisis ha sido completado con lo observado en el campo.

Los principales elementos relacionados al movimiento de masa fueron identificados y han servido de base para elaborar el Mapa de Susceptibilidad y Movimiento de Masa. Los aspectos más relevantes son:

- La ciudad de Berlín yace al pie de varios edificios volcánicos, dentro de una estructura caldérica, y en el curso de varias quebradas de invierno que descienden de los altos geomorfológicos, concentrándose sus aguas en una zona estrecha, y hundida (Fotografía 8, ver Mapa de Susceptibilidad y Movimiento de Masa).
- El flujo del sistema sigue sus cauces confinantes hasta la ciudad de Berlín, cuyo drenajes y alcantarillados estrangulan el sistema natural (Fotografía 18).

## Explicación

Los estudios de campo y las referencias de los daños durante el evento Mitch son aclaradores. En Hernandez D.A. et al (1999), se indica lo siguiente, a saber:

*“Los deslizamientos se iniciaron en la corona del cerro a una altura de 1380 msnm aproximadamente, formando un flujo de lodo y rocas que arrastró árboles y maleza en su recorrido.*

*Los flujos de lodo y roca fueron uniéndose unos con otros, siguiendo los cauces naturales de las quebradas, de tal manera que a una altura de 1200 msnm aproximadamente se aprecian dos rutas principales de tal recorrido.*

*Al llegar a la base del cerro, el flujo de lodo que ya era uno solo, se distribuyó en forma de abanico para luego tomar el cauce natural de la quebrada hasta llegar a la ciudad de Berlín.*

*Ya en la ciudad de Berlín el flujo inundó el Pasaje Atlacatl, arrasó varias viviendas y muros en su trayecto y continuó por la Calle Dr. A. Guandique y Avenida 14 de diciembre, una parte del flujo siguió por esta misma calle y otra se desvió sobre la 3a Calle Oriente para luego continuar con rumbo norte por otra quebrada....*

*Adicionalmente ... la parte baja del Cerro Las Palmas, específicamente a una quebrada ubicada en la Finca Santa Inés, en donde convergieron todos los deslizamientos originados en el Cerro Las Palmas y que formaron un sólo flujo; esta quebrada se intersecta con una calle de tierra por la que siguió el flujo de lodo y rocas hasta llegar a la ciudad de Berlín, entrando por la zona del Estadio.*

*El flujo de lodo continuó por una de las calles adyacentes al Estadio, luego por la 2a y 4a avenidas. Sobre la 2a Avenida se introdujo en unas viviendas, botando muros y paredes, para seguir sobre la Avenida Simón Bolívar. Continuó desplazándose sobre las tres avenidas antes mencionadas hasta llegar a la zona baja de la ciudad, en donde convergió con el flujo de lodo proveniente del Cerro Pelón, para luego seguir el cauce de la quebrada con rumbo norte.*

*En algunas zonas de las fincas anteriormente indicadas, los cauces de las quebradas han sido interrumpidos por caminos vecinales que han sido construidos. No existiendo obras que permitan el flujo continuo de agua.*

... en la zona ubicada al sur del pasaje Atlacatl convergen además otras dos quebradas, por la cuales, ..., durante la época de invierno fluye gran cantidad de agua lluvia procedente del Cerro Pelón y lugares aledaños. .. se desplaza sobre las calles de la ciudad, incorporándose a las tuberías existentes. .. de igual forma la escorrentía que baja del Cerro Las Palmas. .. se destaparon varios pozos de agua lluvias, observándose tuberías azolvadas u obstruidas por las cuales no circula el agua. .. El sistema de drenaje principal de la ciudad está constituido en su mayoría por tuberías de 36" de diámetro, que convergen en un pozo ubicado sobre la 3a Calle Oriente, en las cercanías de la avenida 14 de diciembre, de donde toda el agua descarga a una quebrada de 4.5 m de ancho por medio de una tubería de 60 pulg. de diámetro. De acuerdo a información proporcionada por habitantes del lugar, algunas tuberías de aguas negras están conectadas al sistema de drenaje de aguas lluvias."

Tal estudio estima el volumen de lodo y rocas del deslizamiento en unos 15,000 m<sup>3</sup>, solo lo procedente del Cerro Pelón.

La inspección llevada a cabo por el consultor llega a las mismas básicas conclusiones. Es aclarador el hecho que un sistema natural de 4.5 m o más de ancho ha sido estrangulado a una sección de 0.90 a 2 metros a lo largo de la ciudad, además, estos drenajes no han sido diseñados para masas fluidas densas, como podría ser el caso de un deslizamiento de masa tipo Flujo de Lodo. Se suma el hecho del azolvamiento, producto de la falta de mantenimiento del sistema de drenaje. En otros sectores de la misma ciudad, el drenaje es inexistente, siendo entonces el canal "natural", las mismas vías. Esto por sí mismo es suficiente para explicar el problema en la ciudad. En septiembre de 1999, el consultor estuvo en el pasaje Atlacatl durante una lluvia y pudo percatar visualmente lo anterior, confirmando el escurrimiento superficial a lo largo de la vía durante una precipitación de corta duración (Fotografía 19), y lo inoperable del sistema de drenaje.

Una evaluación más amplia indica que la ciudad de Berlín tiene unos cinco puntos convergentes de flujos superficiales de alta vulnerabilidad (ver mapa), tres del lado este y dos del sur, todos procedentes de los sectores altos del Cerro Pelón y Las Palmas. De estas, dos fueron la raíz de los daños en la ciudad durante el evento Mitch. Un deslizamiento de mayor envergadura a lo largo de los cauces podría superar las pequeñas diferencias morfológicas y barreras, entrando a la ciudad en sectores no previamente afectados, con devastadores efectos.

La zona alta tiene varios elementos naturales, que por sí mismos no son suficientes causas de un deslizamiento de tipo Flujo de Lodo, como son:

- \* Quebradas con fuertes pendientes, o sea, zona de probable aceleración de masa, en tramos cortos, cuyos
- \* Cauces son confinantes en gran parte del trayecto, pero en la parte baja, hay un cambio de pendiente, a una más suave, que es una zona de acumulación de material arrastrado de la parte alta, con
- \* Un subsuelo volcánico joven y pobremente consolidado, sobreyacido por
- \* Material rocoso de gran tamaño, y localmente abundante vegetación, pero que bajo situaciones inducidas, la frágil estabilidad puede tornarse inestable. Los factores que inducen a la inestabilidad no solo pueden ser trazados a la naturaleza geológica, sino a las modificaciones que las actividades humanas han causado en ese equilibrio.

Las más importantes observadas son:

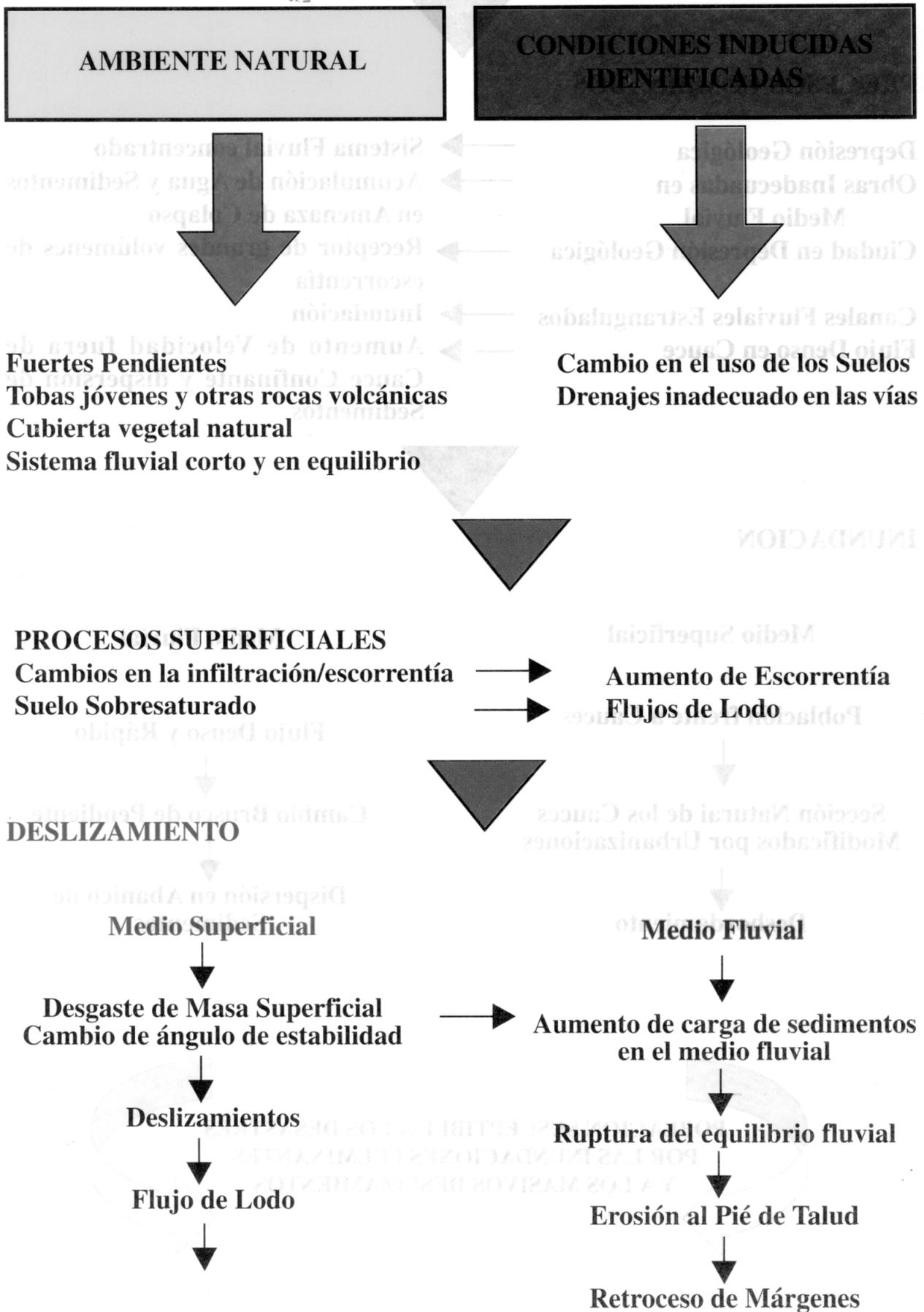
- \* Falta de un sistema de drenaje en las vías de acceso a la zonas rurales (Fotografía 14)
- \* Falta de obras adecuadas para el manejo de aguas superficiales en las propiedades privadas.
- \* Estrangulamiento de los cauces por vías de acceso en terrenos privados.
- \* Inadecuado uso de las tierras altas. Se notan extensos terrenos sin su cubierta vegetal.
- \* Obras en el curso de las quebradas que son inadecuadas (Fotografía 13).

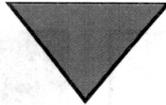
Contrastes litológicos pueden favorecer la erosión en la vía, como es el caso del afloramiento de un paleosuelo (Fotografía 14). En otros casos, la vía con balastro reduce la erosión y la velocidad de escurrimiento superficial (Fotografía 17).

Algunos tramos tienen sistemas elementales de protección, a manera de bordos y bermas (Fotografías 15 y 16), pero funcionan.

El hecho que no se haya dado una situación más grave en Berlín durante el evento Mitch, probablemente se debe a que no todo el sector alto es afectado de la misma manera.

Los siguientes cuadros explican el proceso:





## PROCESOS COMBINADOS

Depresión Geológica  
Obras Inadecuadas en  
Medio Fluvial

Ciudad en Depresión Geológica

Canales Fluviales Estrangulados  
Flujo Denso en Cauce

- ▶ Sistema Fluvial concentrado
- ▶ Acumulación de Agua y Sedimentos en Amenaza de Colapso
- ▶ Receptor de grandes volúmenes de escorrentía
- ▶ Inundación
- ▶ Aumento de Velocidad fuera de Cauce Confinante y dispersión de Sedimentos



## INUNDACION

### Medio Superficial

Población frente a Cauces



Sección Natural de los Cauces  
Modificados por Urbanizaciones



Desbordamiento

### Medio Fluvial

Flujo Denso y Rápido



Cambio Brusco de Pendiente



Dispersión en Abanico de  
Sedimentos



**POBLACION SUSCEPTIBLE A LOS DESASTRES  
POR LAS INUNDACIONES FULMINANTES  
Y A LOS MASIVOS DESLIZAMIENTOS**

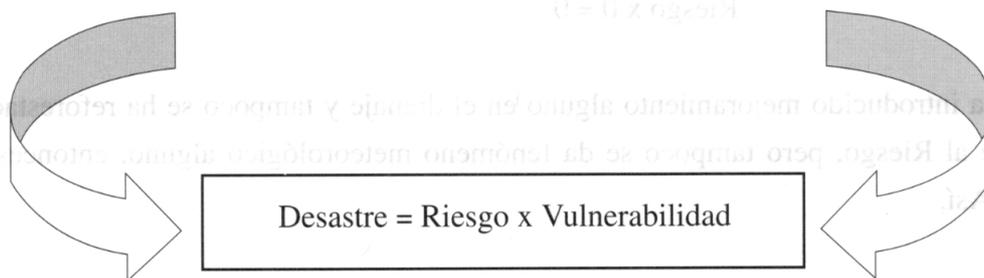


### 3.8 RIESGO - VULNERABILIDAD

Es entendido que los fenómenos naturales obedecen a leyes y continuamente hay reajustes que mantienen el equilibrio dinámico entre las distintas componentes del sistema.

Se ha determinado que la intervención humana ha cambiado algunas de las relaciones naturales, alterando el equilibrio del sistema y los procesos dinámicos han respondido rectificando el desequilibrio. La intensidad con que han actuado ciertos procesos naturales modificados, como ocurrió durante el huracán Mitch, es muy superior a las acciones lentas propias de un sistema dinámico en su equilibrio anterior. Los resultados, rápidos e inesperados, afectó a la comunidad de Berlín, a manera de un Desastre, porque fue producto de la convergencia, en un momento dado y lugar determinado, de dos factores: Riesgo y Vulnerabilidad.

Así,



Existen muchas definiciones en cuanto a Riesgo, Desastre, Vulnerabilidad y Amenaza, pero se ha tomado el propuesto por Gustavo Wilches-Chaux (1989), porque, siendo cualitativo, aplica a la Teoría de Sistemas al Estudio de Desastres.

En efecto, se entiende el Riesgo como cualquier fenómeno de origen natural o humano que signifique un cambio en el medio ambiente que ocupa una comunidad determinada, que sea vulnerable a este fenómeno. Por Vulnerabilidad se va a denotar la incapacidad de una comunidad para “absorber” mediante el auto-ajuste, los efectos de un determinado cambio en su medio ambiente, o sea su “inflexibilidad” o incapacidad para adaptarse a ese cambio, que para la comunidad constituye, por las razones expuestas, un Riesgo. La Vulnerabilidad determina la intensidad de los daños que produzca la ocurrencia efectiva del Riesgo sobre la comunidad. La Amenaza para una comunidad se va a considerar la probabilidad de que ocurra un Riesgo frente al cual esa comunidad particular es vulnerable.

A manera de ejemplo, al eliminar la vegetación de un terreno o no disponer de un drenaje adecuado, la zona se ha vuelto temporalmente vulnerable frente a un fenómeno meteorológico (Riesgo). La probabilidad de que ocurra un evento meteorológico (probabilidad que se manifiesta en negros nubarrones y truenos cercanos) mientras no se ha resuelto el drenaje local y la reforestación, constituye una Amenaza para la comunidad. La ocurrencia efectiva del aguacero en ese tiempo, lo convertirá en un Desastre. La Intensidad o daños dependerá de la magnitud (precipitación, duración) del aguacero y del grado de Vulnerabilidad de la zona (porción sin drenajes y deforestado), y del valor y cantidad de los bienes expuestos al Riesgo. Dentro de la misma teoría, si el mismo aguacero (Riesgo) ocurre existiendo drenajes adecuados y terrenos vegetados conforme a los mejores métodos, entonces no ocurre Desastre porque la Vulnerabilidad es igual a cero, se tomaron acciones.

O sea ,

$$\text{Riesgo} \times 0 = 0$$

Si no se ha introducido mejoramiento alguno en el drenaje y tampoco se ha reforestado la zona vulnerable al Riesgo, pero tampoco se da fenómeno meteorológico alguno, entonces no habrá Desastre. Así,

$$0 \times \text{Vulnerabilidad} = 0$$

Sin embargo, la Vulnerabilidad sigue vigente en la medida en que exista la posibilidad de que se produzca el Riesgo.

Debe entenderse que bajo este concepto, la Vulnerabilidad es eminentemente social por cuanto hace referencia a las características que le impiden a un determinado sistema humano adaptarse a un cambio del medio ambiente. Además, los conceptos de Vulnerabilidad y Riesgo están íntimamente ligados entre sí, puesto que, también por definición, un fenómeno de la naturaleza como también uno de origen humano, sólo adquirirá la condición de Riesgo cuando su ocurrencia se dé o se prevea, en un espacio ocupado por una comunidad que sea vulnerable frente a dicho fenómeno. Pero la condición de Vulnerabilidad de un grupo humano puede dar lugar a nuevos Riesgos, los cuales a su vez, generan nuevas vulnerabilidades y, en consecuencia, nuevas posibilidades de Desastre.

Es por ende que, el que un evento o fenómeno se considere o no Riesgo dependerá de que el lugar en donde se manifieste esté ocupado o no por una comunidad vulnerable al mismo. El que se

considere una amenaza dependerá del grado de probabilidad de su ocurrencia en esa comunidad. Y el que se convierta o no en un Desastre dependerá de la magnitud real con que efectivamente se manifieste el fenómeno, y el nivel de Vulnerabilidad de la comunidad.

Ahora bien, los aspectos relevantes en la zona de Berlín son:

- El entorno natural de la zona objeto de estudio se caracteriza por lo siguiente:
  1. Fuertes pendientes en los flancos de los cerros.
  2. Pronunciada inclinación de cauces.
  3. Rocas volcánicas jóvenes sin compactar, sobreyacidos por bloques de lava.
  4. Desgaste de masa lento.
  5. Concentración de los flujos en una depresión tectónica.
- El Riesgo de origen Natural (RN) de la zona debe a:
  1. Precipitación Estacional. Desde mayo hasta noviembre ocurre la estación lluviosa, y en tal período ocurren los eventos extraordinarios meteorológicos; ocasionalmente fuera de estación. Se conoce que en el mes de septiembre la precipitación es máxima y también el subsuelo yace saturado de humedad, siendo potencialmente factible el deslizamiento y el Flujo de Lodo. El exceso de humedad en el terreno es el principal componente de Riesgo local.
  2. Eventos Sísmicos. Suelen ocurrir a lo largo del año, sin embargo, los eventos más peligrosos ocurren al inicio de la estación lluviosa y el otro máximo entre septiembre y noviembre.
  3. La suma de ambos elementos de Riesgo es potencialmente factible, y el caso de Montebello, San Salvador, es un caso perfectamente documentado.
  4. Ambos tipos de Riesgo no pueden ser evitados, dado que son las condiciones naturales de la zona y están fuera del control humano.
- El Riesgo de origen Humano (RH) de la zona debe a:
  1. Construcción de una comunidad en una zona donde convergen varias quebradas susceptibles a la torrencialidad. La ciudad de Berlín cae en esta categoría, dado que yace en una depresión tectónica.

2. La deforestación. Ello abre la puerta a cierto tipo de movimientos de masas.
  3. Inadecuado uso del Suelo.
  4. Obras inadecuadas en las quebradas.
  5. Drenajes ausentes o inadecuados en la zona rural y urbana.
  6. Estos tipos de Riesgo si pueden ser evitados o prevenidos.
- La Vulnerabilidad debe a:
    1. Falta de acciones Estructurales (VE). La comunidad de Berlín no ha respondido efectivamente a lo largo del tiempo, al control, reducción o eliminación de determinados cambios en el ambiente (Mitigación), a pesar que anualmente tienen problemas de inundaciones, daños a la propiedad o pérdidas humanas. La Mitigación equivale a reducir la Vulnerabilidad. O sea, la Vulnerabilidad a los sismos, a las inundaciones y a los deslizamientos es reconocido por la comunidad local y las medidas estructurales, que son obras físicas más que pautas de comportamiento social o individual, no han sido llevadas a cabo de forma integral.
    2. Falta de acciones No Estructurales (VNE). Relacionado a la materialización de normas de conducta, como planes de Uso de Suelo, códigos de construcción y desarrollo urbano, educación ambiental a la comunidad, tecnologías adecuadas en el agro, la falta de diversificación económica. El hecho que se siga construyendo en Berlín, afectando los sistemas naturales de drenaje y siendo testigo de las inundaciones, destaca la falta de líneas de acción de parte de las autoridades locales. Pero ello apunta también a la interacción de una serie de factores y características internas y externas que convergen en la comunidad local. El resultado de esa interacción es el “bloqueo” o incapacidad de la comunidad para responder adecuadamente ante la presencia de un Riesgo determinado, con el consecuente Desastre. Esta interacción de factores y características se le define como Vulnerabilidad Global, resultado de distintas vulnerabilidades estrechamente interconectadas, como son las físicas, económicas, políticas, social, cultural, etc..

Retomando la fórmula básica:

$$\text{Riesgo} \times \text{Vulnerabilidad} = \text{Desastre}$$

localmente es:

$$(\text{RN} + \text{RH}) \times (\text{VE} + \text{VNE}) = \text{Desastre}$$

y para reducir o eliminar el desastre, alguno de los factores deben de ser igual o tender a 0.

El Riesgo es reducido o eliminado con la Prevención, la Vulnerabilidad con la Mitigación.

Tal como anteriormente se dijo, el Riesgo de origen Natural no es posible, en el actual momento, eliminarlo. El Riesgo de origen Humano si es posible, de tal suerte que RH tendera a 0.

La Vulnerabilidades si pueden tender a 0 con acciones de mitigación, de esta suerte, el Desastre en términos locales se redefine como:

$$(RN + (RH \Rightarrow 0)) \times ((VE + VNE) \Rightarrow 0) = \text{Desastre} \Rightarrow 0$$

o sea, en condiciones óptimas el resultado sería:

$$(RN) \times 0 = 0$$

la posibilidad al Desastre es nulo. Sin embargo, en la práctica, la mayoría de las veces no será posible obtener ese resultado ideal. En consecuencia, se debe de reconocer que en algún momento, por más medidas que se tomen, es posible que se produzca un Desastre y, por consiguiente, se debe preparar a la comunidad para afrontarlo. La Preparación ingresa como divisor, y, en cuanto mayor sea la preparación, menor será el resultado, el traumatismo por el Desastre.

Así, la fórmula se compone de:

$$\text{Desastre} = \frac{\text{Riesgo} \times \text{Vulnerabilidad}}{\text{Preparación}}$$

La Preparación busca reducir al máximo la duración del período de emergencia post-desastre y, en consecuencia, acelerar el inicio de las etapas de rehabilitación y reconstrucción. Busca, igualmente, reducir la magnitud del sufrimiento individual y colectivo, el traumatismo económico e institucional.

En cuanto a la etapa de emergencia pre-desastre, la Preparación busca el más adecuado alistamiento de la comunidad (Instituciones y particulares) para afrontar el desastre, y entre las medidas incluye el establecimiento de comités de emergencia, montaje de sistemas de alarma, elaboración de planes de evacuación y contingencia, preparación de albergues, acopio y almacenamiento de recursos.

Los aspectos abordados en la Preparación han sido ya expuestos por los Consultores a la comunidad y un documento ya fue entregado para su implementación. Durante la estación lluviosa de 1999, entraron en vigencia varias medidas apuntadas en “Plan de Contingencia a los Riesgos de Deslizamiento, sector Berlín”, y ello ha reducido considerablemente el nivel de Desastre en la zona.

Existe la bien fundamentada idea que la relación íntima entre los riesgos y la vulnerabilidades es de doble vía. Un fenómeno de la naturaleza o de origen humano sólo adquirirá la condición de Riesgo cuando su ocurrencia se dé o se prevea, en un espacio ocupado por una comunidad que debe afrontar las consecuencias de dicho fenómeno. La Vulnerabilidad se predica frente a los fenómenos determinados que adquieren para esa comunidad el carácter de Riesgo.

Al cambiar el factor vulnerabilidad, cambia, sobre todo, en el caso de Berlín, los riesgos y viceversa.

$$(RN + RH) \longleftrightarrow (VE + VNE) = \Delta_1 \text{ Desastre} \longleftrightarrow \Delta_1 \text{ Desastre}$$

El no actuar o no tomar medidas o acciones, en cualquiera de los factores, huelga decir, factura a favor del Desastre.

La Vulnerabilidad Física. Se expresa localmente en términos de ubicación de los asentamientos humanos, expuesta a los riesgos a inundaciones, deslizamientos, sismos; la Vulnerabilidad no Estructural debe en gran medida a la imposibilidad de esa comunidad de afrontar los costos de estabilización, contención de las quebradas, con el agravante de la deforestación, manejo inadecuado de aguas y uso de los suelos.

La Vulnerabilidad Económica. No puede ser pasado por alto, y existen los datos suficientes que demuestran la existencia de una relación inversamente proporcional entre la mortalidad y el ingreso en casos de desastre. Wijkman y Timberlake (1985) afirman:

“No cabe duda de que las fuerzas naturales desempeñan un papel importante en la iniciación de multitud de desastres, pero ya no deben seguir considerándose como causa principal de los mismos. Tres parecen ser las causas fundamentales que dominan los procesos de desastre en el mundo en desarrollo, que es, precisamente, donde su incidencia es mayor:

1. *La Vulnerabilidad humana, resultante de pobreza y desigualdad;*
2. *La degradación ambiental resultante del abuso de las tierras; y*
3. *El rápido crecimiento demográfico, especialmente entre los pobres”.*

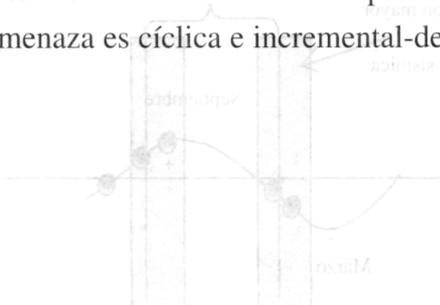
Los mayores daños periódicos han ocurrido en sectores marginales, que son ciertamente los más pobres en Berlín. En un desastre mayor, como fue en 1998, los efectos se hicieron sentir en toda la comunidad. Los demás aspectos que los autores expresan son ciertamente factores plenamente reconocidos en el país.

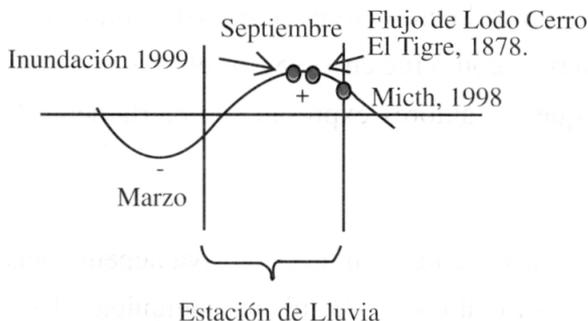
También la Vulnerabilidad Económica se expresa en una excesiva dependencia de la economía de factores externos prácticamente incontrolables por la misma comunidad. El caso de Berlín es el café. Los precios bajos limitan el adecuado mantenimiento de las propiedades favoreciéndose la degradación de los mismos; o los buenos precios, fomentan la invasión de terrenos altos inadecuados para ese tipo de cultivo, que luego pueden traducir en los deslizamientos.

La Vulnerabilidad Social. El nivel de traumatismo social resultante de un desastre es inversamente proporcional al nivel de organización existente en la comunidad afectada. Cuando se posee una trama de organizaciones sociales, formales como no formales, pueden absorber mucho más fácil las consecuencias de un desastre y reaccionar con mayor rapidez. Durante las reuniones en 1999 con la comunidad como con las autoridades, nos hemos percatado que Berlín posee varias organizaciones locales como regionales que han integrado una red de apoyo y asistencia. Asimismo, se han llevado simulacros en caso de eventos naturales con alto nivel de Riesgo. Los Consultores han hecho por igual, algunas propuestas.

Otro síntoma de Vulnerabilidad es la ausencia de liderazgo efectivo en una comunidad, entendiéndose a personas u organizaciones capaces de impulsar en la comunidad los sentidos (y las prácticas) de coherencia y de propósito, de pertenencia y participación, de confianza ante la crisis y de seguridad dentro del cambio; de fomentar la creatividad; de promover, mediante la práctica social, el descubrimiento de los valores, de solidaridad, de dignidad y de trascendencia; que contribuyan a forjar la identidad individual y social de la comunidad y de sus miembros y, a partir de allí, a descubrir y desarrollar sus potencialidades para construir una sociedad a partir de la crisis.

- \* La Amenaza se define localmente en términos de la probabilidad de ocurrencia. En el caso particular de Berlín, la Amenaza es cíclica e incremental-decremental y responde a los ciclos estacionales.





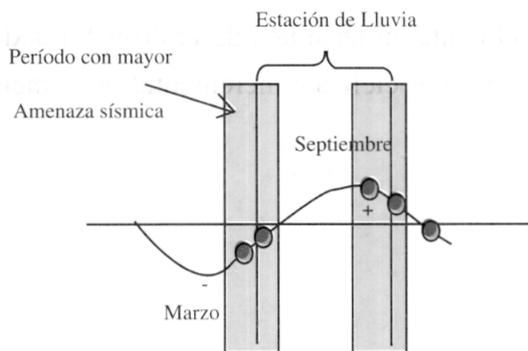
La Amenaza tiende a su máximo en cuanto llega a los meses de mayor precipitación y al nivel de saturación del medio.

Los fenómenos climatológicos extraordinarios ocurren en períodos más largos, de tal suerte que los eventos de mayor Riesgo tienen su componente de ciclo largo. La Intensidad o daños serán mayores en el segundo más que en el primero, pero no por ello deja de existir el Desastre.

Los ciclos de los fenómenos sísmicos no han sido evaluados para la zona, solo se sabe que ocurren nueve eventos peligrosos a nivel nacional cada cien años, de los cuales dos de ellos pueden ocurrir en la zona. Los siguientes eventos (Baxter, nd) ocurridos en el período de los siglos XIX y XX ilustran la frecuencia, a saber:

1. diciembre de 1838, destrucción de Chinameca y Nueva Guadalupe, 15 km al este de Berlín.
2. 2 de octubre de 1878, ruina total en Jucuapa, Santiago de María, Chinameca, Nueva Guadalupe, etc.
3. 19 de noviembre de 1929, daños en el área de Chinameca.
4. 6 de mayo de 1951, ruina en Jucuapa, Chinameca, Santiago de María y Berlín, evento muy similar al de 1878.
5. 21 de abril a 31 de mayo de 1985, actividad sísmica en Berlín, sin daños que reportar.

En términos generales, la recurrencia sísmica local es de 30-40 años, de los cuales dos fueron al final de la estación lluviosa, dos al inicio, uno fuera de estación.



En estos eventos no hay registros de deslizamientos en Berlín, tampoco hay registros previos dado que la ciudad de Berlín es de reciente nacimiento (1885, Lardé y Larín). Santiago de María, escasos 7 km al este, es una comunidad más antigua y con referencias históricas de valor. Según un informe del Gobernador de San Miguel, señor L. Letona, en el terremoto del 2 de octubre de 1878, del cerro El Tigre hubieron grandes Flujos de Lodo (*“parte del cerro de El Tigre se derrumbó ... el número de muertos ascendió a 14 ... de ese volcán, que arrojando inmensas correntadas de agua y lodo ..*). Ello es un indicativo que los Riesgos de los Desastre de este tipo son reales, sobre todo al final de la estación lluviosa.

\* La Intensidad o daños. Normalmente se interpreta los Desastres en función de la magnitud de los daños. El evento Mitch dejó una estela de daños, y el evento fue calificado como un Desastre. En la estación lluviosa de 1999, los daños fueron mínimos y hubo una pérdida humana, poco se habló de un Desastre, más sin embargo, lo fue. El elemento focal no solo radica en los daños durante los eventos, sino, si se ha buscado minimizar la resultante de los factores de Riesgo y Vulnerabilidad. Basta que el período de lluvia se prolongue o que precipite una cantidad anormal de lluvia, como el de junio de 1934, y los resultados podrían ser devastadores. En el caso de Berlín, los Desastres ocurren anualmente y varias veces en la misma estación, y el evento de 1998 solo fue un ejemplo extremo de una situación que no se resuelve y adquiere un rostro de “Natural”. Existe una anécdota que vale la pena de rescatar y que aplica al caso de Berlín, y dice así:

*“Un forense recibió un cadaver para su autopsia. El cadaver tenía 30 puñaladas. Luego de concluir su trabajo, el forense emitió su reporte y señaló que la muerte había sido natural. Al disgusto de la familia del muerto, el forense respondió que con 30 puñaladas, era natural que la muerte hubiese ocurrido”.*

En el caso de Berlín, 1998 fue un Desastre mayor anunciado, estaban todas las condiciones. Eventos más graves podrían ocurrir si no se toman medidas de envergadura para evitarlas.

Así, las evidencias de los fenómenos de Movimiento de Masa son de un único tipo, el Flujo de Lodo. En los terrenos altos se observa aun las cicatrices (Fotografías 9-13).

### **3.9 CONCLUSIONES**

#### *GEOLOGICAS*

El problema local se puede dividir en dos sectores particulares con problemas distintivos, estos son, la parte alta del cerro Pelón-Las Palmas y la zona urbana.

La parte elevada tiene la característica de ser muy inclinados, material volcánico joven, fracturamiento poco evidente salvo en las zonas de fallas. Los cauces son de fuerte pendiente, confinados, radiales, o estructural-litológicamente ajustados y con abundante material pétreo procedente de la incorporación de bloques volcánicos. La zona yace cubierta de vegetación, salvo esporádicas áreas libres de ella, debido al cambio de uso de los suelos. Los flujos de la época lluviosa descienden a alta velocidad, con carga de materiales de fondo, y cuando las condiciones climatológicas extraordinarias ocurren, la carga es sustancialmente mayor.

La parte baja, que es ocupada por la ciudad de Berlín, es a la vez, centro de recogimiento de las aguas procedentes de los sectores altos. Se ha observado que algunos barrios de esta ciudad ocupan parte de estos drenajes naturales, estrangulando el sistema, que bajo condiciones de alta precipitación, superan la capacidad de drenaje; suma además, el alcantarillado, diseñado sin el criterio de recogimiento de las micro-cuencas.

De hecho, el sistema natural confinado, quiebra su pendiente a otra de relativa baja inclinación y abierta en la periferia de la ciudad. La masa fluida con su respectiva carga abruptamente rompe la velocidad, deposita el material de carga a manera de abanico y escurre en los sectores urbanos ocupando las vías como sus cauces naturales.

En vista que Berlín es una zona sísmica, existe el riesgo de un deslave debido al fenómeno y bajo condiciones de alta saturación del medio, dicho flujo de masa seguiría camino por los antiguos cursos en dirección a la zona poblada.

## RIESGO-VULNERABILIDAD

La comunidad de Berlín yace en un terreno geológico joven, predominantemente volcánico; en una depresión tectónica-volcánica en el cual convergen las aguas que escurren superficialmente de las partes altas, cuyas fuertes pendientes hacen susceptible los fenómenos de torrencialidad en las partes bajas, a las inundaciones, deslizamientos y Flujos de Lodo.

Se ha identificado dos tipos de Riesgos, a saber:

1. Riesgos Naturales. Los eventos climáticos y sísmicos son los factores predominantes. Se ha concluido que no pueden ser evitados.
2. Riesgos de origen Humano de la zona deben a:
  - \* Construcción de una comunidad en una zona donde convergen varias quebradas susceptibles a la torrencialidad. La ciudad de Berlín cae en esta categoría, dado que yace en una depresión tectónica.
  - \* La deforestación. Ello abre la puerta a cierto tipo de movimientos de masas.
  - \* Inadecuado uso del Suelo.
  - \* Obras inadecuadas en las quebradas.
  - \* Drenajes ausentes o inadecuados en la zona rural y urbana.
  - \* Estos tipos de Riesgo si pueden ser evitados o prevenidos.

Los tipos de Vulnerabilidad son:

1. Falta de acciones Estructurales. La comunidad de Berlín no ha respondido a lo largo del tiempo - al control, reducción o eliminación - de determinados cambios en el ambiente (Mitigación), a pesar que anualmente tienen problemas de inundaciones, daños a la propiedad o pérdidas de vidas humanas. La Mitigación equivale a reducir la Vulnerabilidad, o sea, no se han efectuado obras físicas adecuadas que resuelvan los problemas.
2. Falta de acciones No Estructurales. Relacionado a la materialización de normas de conducta, como planes de Uso de Suelo, códigos de construcción y desarrollo urbano, educación ambiental a la comunidad, tecnologías adecuadas en el agro, la falta de diversificación económica.

Amenaza se define localmente en términos de la probabilidad de ocurrencia. En el caso particular de Berlín, la Amenaza es cíclica e incremental-decremental y responde a los ciclos estacionales, siendo el momento de mayor susceptibilidad, al final de la estación lluviosa. Los fenómenos sísmicos ocurren al principio y al final del período de lluvias, y existen Flujos de Lodo documentados en la zona.

Intensidad o daños dependen de la magnitud de los Riesgos. Ocurren en la estación lluviosa, todos los años, siendo los daños menores más frecuentes pero no deja de ser un Desastre y en períodos mayores de tiempo, un Desastre de gran envergadura.

Desastre se define como Riesgo por Vulnerabilidad. Es potencialmente presente porque los factores que inciden localmente existen sin haber sido mitigados o prevenidos.

Preparación pesa en el presente momento y debe al nivel de organización e integración de la comunidad, reduciéndose los alcances de un Desastre.

## SUGERENCIAS

Medidas en las Vulnerabilidades Estructurales para reducir los Riesgos, a saber:

1. Construcción de obras para reducir la velocidad de flujo en los cauces.
2. Obras de control de escurrimiento en las vías rurales.
3. Mejoramiento del drenaje de aguas superficiales en Berlín.
4. Obras de paso en las vías rurales.
5. Obras para el control de escurrimiento en los terrenos agrícolas.
6. Obras de ingeniería para el control de los deslizamientos.
7. Reforestación y Manejo de Bosques.

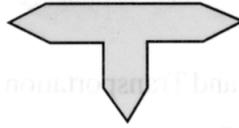
Medidas en las Vulnerabilidades no Estructurales para reducir los Riesgos, a saber:

1. Diversificación económica.
2. Ordenanzas Municipales en cuanto al Uso de los Suelos y desarrollo urbano.
3. Programa de Educación Ambiental.

Medidas en la Preparación:

1. Continuamente poner en práctica el Plan de Contingencia.
2. Reevaluar resultados de los ejercicios de emergencia.
3. Monitorear los sectores altos de la zona, de manera sistemática, y tener elementos de comparación para establecer situaciones de Riesgo.
4. Mejorar los sistemas de comunicación interna.
5. Plan para el desarrollo de líderes comunales ante situaciones de Riesgos.

**RESUMEN GEOLOGICO  
CERRO PELON, BERLIN**



**Problemas  
Identificados**

**¿Qué hay que  
Hacer?**

**¿Cómo se va  
Hacer?**

SISTEMA FLUVIAL CORTO Y RAPIDO	- CONTROL DE VELOCIDAD FLUVIAL	- DIQUES
ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL EN LAS VIAS DE BERLIN	- CANALIZACION	- DRENAJES Y DEMAS OBRAS DE ARTE
ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL EN LAS VIAS RURALES	- CONTROL AL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL	- DRENAJES ADECUADOS
TERRENOS AGRICOLAS EN ZONAS INESTABLES	- ESTABILIZACION	- TIPO DE CULTIVO ADECUADO, POZOS - INGENIERIA
SECCIONES FLUVIALES MODIFICADOS	- ESTABLECER NUEVAS CONDICIONES EN LAS SECCIONES SEGUN EL FLUJO	- ESTABLECER ZONA DE SEGURIDAD - DISPOSICIONES LEGALES
POBLACION EN ZONAS DE RIESGO	- INFORMAR - PREVEER	- REUBICACION - INGENIERIA - MEDIOS DE INFORMACION
DESCONOCIMIENTO AMBIENTAL	- EDUCACION AMBIENTAL A POBLACION Y ENTIDADES OFICIALES - TECNIFICACION Y ESPECIALISTAS	- SEMINARIOS Y TALLERES. - EXTENSION RURAL
DESARROLLO LOCAL SIN PLANIFICACION	PLAN DE DESARROLLO	NORMATIVIDAD Y ORDENANZAS

### 3.10 BIBLIOGRAFIA

American Association of State Highway and Transportation Officials, 1985, Manual on Subsurface Investigations. AASHTO. Washington

Anónimo, 1971, Diccionario Geográfico de El Salvador. 2 tomos. Instituto Geográfico Nacional. MOP. San Salvador.

Baxter S., 1982-1983, **Plano estructural (2) de un horizonte reflector Postmiocénico superior, Bloques A, B, C, D. Costa Afuera. Escala 1:100,000**. CEL, reporte inédito.

- , 1984, Léxico Estratigráfico de El Salvador. CEL, Imp. Litográficos
- , 1985, Bibliografía Geológica de El Salvador. CEL, Tipografía Central
- , 1986, Estudio Gravimétrico a lo largo de las rutas Acajutla-Anguiatú; La Libertad-El Poy; Barra de Santiago-Mizata. CEL, reporte inédito.
- , 1996, Historia Natural y Ecología de El Salvador. 2 tomos. Ministerio de Educación, El Salvador.
- , 1999a, Mapa Geodinámico de El Salvador, escala 1:500,000 con el texto: Sobre la Naturaleza de los Procesos Geodinámicos en El Salvador. Imp. Artes Gráficas.
- , 1999b, Mapa Geológico de El Salvador, escala 1:500,000 con el texto: Sobre la Naturaleza Geológica de El Salvador. Imp. Artes Gráficas
- , nd, Crónicas sobre las Erupciones Volcánicas y los Sismos Históricos. Documento no publicado aun.

Bernknopf R.L., et al, 1985, Feasibility of a Nationwide Program for the Identification and Delineation of Hazards from Mud Flows and other Landslides. Chapter D. The Economics of Landslides Mitigation Strategies in Cincinnati, Ohio: A Methodology for Benefit-Cost Analysis. Preliminary Report for the Federal Emergency Management Agency. U.S. Geological Survey, Department of the Interior.

- Bosse H.R., et al, 1978, Mapa (6) Geológico de El Salvador. Escala 1:100,000 Bund. f.Geow.u.Rohs; Hannover.
- Committee on Ground Failure Hazards, 1985, Reducing Losses from Landsliding in the United States. Commission on Engineering and Technical Systems. National Research Council. Washington. USA.
- Compañía Suiza de Reaseguros, 1989, Peligros de la Naturaleza y Carga siniestral por evento. Zurich, Suiza.
- Del Tanago, M.G., D.G. de Jalón Lastra, 1995, Restauración de Ríos y Riberas. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid.
- Dengo G., 1968, Estructura Geológica, historia tectónica y morfología de América Central. ICAITI, Guatemala. Centro Regional de Ayuda Técnica, AID.
- , O. Bohnenberger, S. Bonis, 1970, Tectonics and Volcanism along the Pacific Marginal Zone of Central America. Geol. Rdsch., 59, 3, 1215- 1232. Stuttgart.
- , 1983, Mid America Tectonic Settings for the Pacific Margin from southern Mexico to Northwestern Colombia. Centro de Estudios de América Central, Guatemala.
- Dürr F., et al, 1960, Energía Geotérmica, informe 1. Servicio Geológico Nacional, 268 pg., San Salvador.
- Erley D., W.J. Kockelman, 1981, Reducing Landslides Hazards: A guide for Planners. U.S. Geological Survey, U.S. Department of the Interior. U.S. Environmental Protection Agency
- Hernandez D.A., et al, 1999, Informe sobre deslizamientos en alrededores de Berlín, Usulután. Centro de Investigaciones Geotécnicas, MOP. Reporte inédito, San Salvador.
- Kerwin S., D. Clark, J. Eagen, 1984-85, Restoration of the Cove Road landslide, Dana Point, California. N°1, Ground Failure. National Research Council, National Academy of Sciences and the National Academy of Engineering. USA.
- Lardé y Larín J., 1957, El Salvador. Historia de sus pueblos, villas y ciudades. Editorial del Ministerio de Cultura. San Salvador.

- Lira E.F., 1974, Manual de Conservación del Suelo y del Agua. Cap.1, La mecánica de la erosión. Colegio de Postgraduados, Escuela Nacional de Agricultura. México.
- Lockwood M., et al, 1990, Natural Hazards Map of the Circum-Pacific Region. Pacific Basin Sheet. 1:17,000,000. U.S. Geological Survey. Department of the Interior. USA.
- Maskrey A., 1993, Los desastres no son naturales. Red en Prevención de Desastres en América Latina. Colombia
- Naciones Unidas, 1979, Prevención y mitigación de desastres. Compendio de los conocimientos actuales. Vol.4: Aspectos Meteorológicos; Vol.5: Aspectos Relativos al Aprovechamiento de la Tierra; Vol. 7:Aspectos Económicos; Vol.9 : Aspectos Jurídicos. Oficina del Coordinador de las Naciones Unidas para el Socorro en casos de Desastre. Ginebra.
- Organización Panamericana de la Salud, 1994, Hacia un Mundo más seguro frente a los desastres naturales. La Trayectoria de América Latina y el Caribe. Washington.
- Russell H.C., 1980, Soil slips, debris flows, and rainstorms in the Santa Monica Mountains and vicinity, southern California. Landslide Maps showing Field Classification, Point Dume Quadrangle, California. Geological Survey Professional Paper 851. Geological Survey. United States Department of the Interior.
- Sangrey D.A., A.B. Bernstein, 1984-85, Landsliding a hazard that can be mitigated. N°1, Ground Failure. National Research Council, National Academy of Sciences and the National Academy of Engineering. USA.
- U.S. Geological Survey, 1983, Goals and Tasks of the Landslide. Part of a Ground-Failure Hazards Reduction Program. Geological Survey Circular 880. Alexandria, Va, USA.
- Wiesemann G., 1974, Remarks on the geological structure of the Republic of El Salvador, Central America. Palaönt. Inst. Univ., Hamburg, Heft 44, 557-574.
- Wijkman A., L. Timberlake ,1985, Desastres naturales: fuerza mayor u obra del hombre?. Earthscan.
- Wilches-Chaux G., 1989, Desastres, ecologismo y formación profesional. Servicio Nacional de Aprendizaje, SENA. Colombia.