

de su alta pendiente longitudinal (0,075); en realidad, nunca se hubiera podido prever la magnitud del evento hidrológico, aunque sí la alta velocidad del torrente, y se hubieran podido salvar muchas vidas de no haberse ocupado el cauce aluvial. Inmediatamente después de Uria se encuentra la quebrada El Tigrillo ($A = 2,9\text{km}^2$) que, a pesar de tener una cuenca pequeña, tenía una pendiente longitudinal de 0,17; destruyó la vía y depositó un cono de sedimentos finos en el mar.

La cuenca del río Naiguatá ($A = 33\text{km}^2$) tiene características muy particulares. Su forma es peculiar pues el cauce principal se forma por la confluencia de tres tributarios de igual tamaño. Su cono de deyección se encuentra ocupado por uno de los clubes más famosos del Litoral, extendiéndose por el este hasta las playas públicas de Naiguatá. Por las evidencias de los derrumbes en la cuenca, los materiales de arrastre depositados en el cono son principalmente suelos; es decir, arena, limos y algunas rocas. En esto se diferencia de las cuencas de la zona anterior (Maiquetía-Macuto-Caraballeda). Además, las pendientes de las laderas en la cuenca alta son relativamente menores: su cauce desemboca en el mar después de un recorrido bastante recto y tiene un tramo largo y muy ancho (Foto 6.12), con pendientes relativamente bajas (0,03). Muchos de los daños graves y de las pérdidas de vidas humanas fueron debidos a la ocupación del cauce de crecidas (Foto 6.10). Los sedimentos depositados en la dársena del Club Puerto Azul causaron los daños materiales más cuantiosos pero, a la vez, por ser menos masivos, fueron menos destructores.

El río Camurí Grande ($A = 43\text{km}^2$) está formado por el río Grande ($A = 22\text{km}^2$) y el río Miguelena ($A = 19\text{km}^2$) que confluyen a menos de 1km de su desembocadura en el mar. Por sus arrastres y sus crecidas es similar al río Naiguatá; aún más, en el lado izquierdo de su cono de deyección también hay instalaciones y viviendas que resultaron dañadas por las aguas (Foto 6.13). Otras edificaciones residenciales (INAVI) y educacionales que se encontraban dentro de su planicie inundable sobre la ribera derecha fueron afectadas pero no arrasadas pues los arrastres no produjeron los impactos que se produjeron en el cono de deyección del río San Julián y de otros ríos similares ya que tenía una pendiente longitudinal de 0,027 en su último tramo de 2km de largo. También la ribera derecha, ocupada por edificios de apartamentos y casas, fue anegada por las aguas desbordadas que escogieron muchos cauces para llegar al mar. Además, el puente de la carretera falló y fue causa de remanso y el consiguiente desvío de la corriente hacia un nuevo cauce que atravesó por las instalaciones del Club Camurí hasta llegar al mar, quedando incomunicada la ribera derecha del río (Foto 6.14).

En la Quebrada Care ($A = 10\text{km}^2$) no se produjeron mayores daños.

La Quebrada Anare ($A = 25\text{km}^2$) se desbordó afectando la Colonia Psiquiátrica pero no produjo destrozos ni ocasionó grandes pérdidas. En esta cuenca, al igual que en la cuenca del río Los Caracas ($A = 78\text{km}^2$) no se observaron los numerosos y grandes deslizamientos que son comunes en el resto de las cuencas del Litoral (Foto 6.15). Los cauces de ambos ríos tienen pendientes longitudinales mucho menores que los del resto del Litoral; en efecto, la pendiente media del río Anare es de 0,02 en un tramo de 4km y la del río Los Caracas es de 0,01 en un tramo de casi 6km antes de su descarga al mar.

6.5 Conclusiones y recomendaciones

Las lluvias ocurridas en el Litoral del estado Vargas y en el resto de la región norte costera de Venezuela durante las últimas semanas del año 1999 corresponden a un evento verdaderamente extraordinario que ocasionó daños enormes por la ocupación anárquica de las planicies inundables y de los conos de deyección, sin prestar la debida atención a los riesgos potenciales. Nadie puede asegurar que eventos similares no podrán repetirse, incluso en la propia capital, con sus drenajes primarios densamente ocupados por viviendas y edificaciones de todo tipo.

Las isoyetas de las tormentas nunca podrán determinarse. Por no haberse registrado ni la magnitud ni la duración ni la intensidad en los sitios apropiados, nunca se podrá determinar la frecuencia del evento ni la de los flujos de lodo, deslaves, aludes y avalanchas causados por la precipitación.

La zona no contaba con la infraestructura necesaria para actuar en estas emergencias. No existen vías alternas de comunicación para lograr la evacuación en el menor tiempo posible ni tampoco hay sistemas de alerta contra los deslizamientos que se presentaron después de haber transcurrido mucho tiempo con lluvias que empapaban el subsuelo y desestabilizaron las laderas. La electricidad fue el único servicio público repuesto en un plazo razonable. Hospitales, cuarteles de policía y otros servicios relativos a la seguridad social se encontraban en zonas afectadas.

En edificaciones marginales, adyacentes a ríos sujetos a crecidas violentas, existen sótanos e incluso viviendas por debajo de los niveles normales de las aguas. Las calles y avenidas fueron parcialmente destruidas pero sirvieron para conducir aguas, piedras, árboles y lodo, contribuyendo a extender la zona de desastre.

En forma general, se recomienda:

1. La preparación y publicación de un documento que sirva para memoria y sea fuente de referencias para eventos futuros, que aunque desearíamos que nunca más volvieran a ocurrir, sí tienen probabilidad de presentarse. Dicho documento debería describir las acciones de rescate, salvamento, evacuación y alojamiento temporal llevadas a cabo por las autoridades y por entes privados en todas esas ocasiones.
2. Publicar y difundir la información básica para que cualquiera que lo desee realice estudios y análisis de lluvias, fotografías aéreas, cartas, suelos y cualquier otra información básica que permita cuantificar los fenómenos de crecidas de los ríos, de arrastre de materiales, de flujos de lodos que, como los recientemente ocurridos, no ha sido posible conocer.
3. Elaborar un informe con base en fotografías aéreas de diferentes fechas, tanto de la vertiente norte como de la sur del Avila, que presente la situación previa, aunque no sea inmediata de las zonas siniestradas: cobertura vegetal, ocupación, reglamentación urbanística, proyectos de canalizaciones y drenajes primarios, servicios públicos, viviendas, comercios, etc., y la situación justamente antes del desastre en cuanto a precipitación, cobertura vegetal, derrumbes visibles, obstrucciones notables para el paso de las aguas, etc.
4. Recuperar las zonas afectadas, tanto desde un punto de vista técnico como

- social. Para lo primero serán necesarias: obras de control de producción de sedimento en las cuencas altas y medias, obras de control de sedimentos en cauces naturales (diques, barreras, etc.), obras de protección en cauces naturales (encauzamientos, limpieza, descarga, etc.), obras para la restitución de la comunicación terrestre, obras para la recuperación de los servicios sanitarios existentes (acueductos y cloacas).
5. Educación de la población en cuanto a: efectos de las inundaciones, prácticas de evacuación ante alarmas, extensión y profundidad de planicies inundables, el desastre en todos sus aspectos tanto técnicos como sociales y administrativos, saneamiento ambiental en zonas afectadas.

Referencias

- Ayala, L. (1978) Estudio hidrológico integral de las cuencas de los ríos del Litoral Central. INOS, Caracas, Enero.
- FAV-Servicios de Meteorología (1999) Análisis de las situaciones meteorológicas que afectaron el área Norte Costera del país durante el mes de diciembre de 1999. Informe para CONAVI, Caracas.
- MARNR (1999) Análisis de la precipitación extrema del mes de diciembre de 1999 en la Región Norte Costera de Venezuela. Dirección de Hidrología y Meteorología, Caracas.
- MOP (1970) Inundaciones significativas en Venezuela en el año 1969. Caracas.
- Pereira, J. R. (2000) Comunicación personal en reunión en CONAVI el 06-01-2000. Caracas.
- Wiese, R. (1959) Hidrology for Canalization of Río Guaire. Assistant Chief Hydrology and Reservoir. Regulation Section, Los Angeles District Office, Corps of Engineers, U.S.Army, California, U.S A.

7. Aspectos geotécnicos

7.1 Características geotécnicas y topográficas

Topografía

En general, la topografía del flanco norte de la Serranía del Litoral Central, en las zonas altas donde afloran los gneises de la formación Peña de Mora y los Esquistos de San Julián, se presenta muy abrupta y con grandes pendientes, mientras que en las zonas bajas de la cordillera, donde afloran los esquistos de la formación Tacagua, las pendientes son más suaves. Por ejemplo, en la cuenca de la quebrada San Julián, las pendientes de las laderas en la zona alta son de 40° a 60°, y en las zonas bajas de 25° a 40°. En la Serranía del Litoral se encuentran picos de gran altura como el pico El Avila (2.153 msnm), el pico Occidental (2.478 msnm), el pico Oriental (2.637 msnm), y el pico Naiguatá (2.765 msnm), ubicados todos a lo largo de la Fila de El Avila, la cual supera en casi toda su longitud los 2.000 msnm. Hacia el norte de la fila se desarrollan las cuencas del Litoral Central, dentro de las cuales se destacan las cuencas del río Macuto, quebrada San Julián, río Camurí Chico, río Cerro Grande, quebrada Uria, río Naiguatá, y río Camurí Grande. Estas cuencas presentan pendientes en sus cauces de 20° a 40° en las zonas altas y de 2° a 4° en las zonas bajas de deposición.

Perfiles de meteorización

El conocimiento de los perfiles de meteorización es indispensable para entender los procesos de movimiento de masas. Las características de los perfiles de meteorización son determinadas por el régimen de lluvias, las temperaturas, la vegetación, la topografía y el tipo de roca existente. Lluvias intensas, altas temperaturas, vegetación espesa y pendientes suaves favorecen la formación de espesores profundos de suelo residual. En las montañas del Litoral Central, los espesores de suelos residual son poco profundos, esto debido principalmente a los moderados niveles de precipitación promedio anuales y las elevadas pendientes de las laderas. Los perfiles de meteorización poco profundos son relativamente jóvenes, debido a que la tasa de remoción por erosión de los productos meteorizados es relativamente alta si se compara con la tasa de meteorización de la roca, lo cual no permite que se desarrollen perfiles más profundos.

Los movimientos de masa observados en el Litoral Central están estrechamente asociados a la capa superficial de suelo residual, y en algunos casos a la roca meteorizada. Por ello se hace necesario reconocer y describir los perfiles típicos de meteorización de la roca en las zonas donde se observaron los movimientos de masa, prácticamente en todo el Litoral Central, desde Maiquetía hasta Naiguatá. Esta es una tarea que deberá ser ejecutada en estudios detallados posteriores.

A fin de disponer de una nomenclatura clara y precisa para la descripción de los perfiles de meteorización, se sugiere utilizar la clasificación de perfiles de meteorización de rocas ígneas y metamórficas propuesta por Deere y Patton (1971), la cual se presenta en la Tabla 7.1. Para el momento de la elaboración de este informe, solamente se efectuaron visitas rápidas por tierra y en helicóptero, razón por la cual no es posible hacer una descripción detallada de los perfiles de meteorización. Sin embargo, basado en las observaciones realizadas y los conocimientos previos de la geología de la región, se puede establecer una relación entre los perfiles de meteorización del sitio y los perfiles de meteorización típicos propuestos por Deere/Patton (1971), los cuales se muestran en la Figura 7.1.

El perfil A, típico de rocas metamórficas, se puede aplicar a los esquistos de la formación Tacagua presente en las zonas bajas de las montañas, mientras que el perfil B, típico de rocas ígneas intrusivas, es aplicable a los gneises de la formación Peña de Mora. Como se puede observar, es evidente que movimientos de masa en un perfil típico B pueden acarrear consigo grandes cantidades de peñones, mientras que en un perfil típico A, el material arrastrado será predominantemente fino.

7.2 Descripción de los movimientos de masas

Los movimientos de masas observados en el Litoral Central se describen según la Clasificación de Movimientos de Masa propuesta por Varnes (1978), y la Clasificación de Movimientos de Suelos y Roca en Regiones Tropicales Montañosas propuesta por M. Vargas (1999). En principio, se considera apropiado usar una nomenclatura internacionalmente conocida y aceptada, como es la de Varnes, a fin de evitar confusiones de terminología. Sin embargo, se propone también utilizar la clasificación de Vargas, dado que en algunos casos se adapta mejor a las condiciones climáticas y de meteorización del Litoral Central, describiendo con mayor exactitud los fenómenos ocurridos. Las clasificaciones de movimientos de masa propuestas por Varnes y Vargas se presentan en las Tablas 7.2 y 7.3, respectivamente.

La ocurrencia de los movimientos de masa en el Litoral Central está estrechamente relacionada con las intensas lluvias que cayeron entre el 01 y el 16 de diciembre de 1999. Se presume que la mayor parte de los flujos de lodo tomaron lugar entre el 15 y 16 de diciembre, cuando cayeron las lluvias más intensas.

Los movimientos de masa observados en las visitas de reconocimiento fueron clasificados y descritos en forma preliminar. Descripciones más completas deben realizarse basadas en visitas de campo más prolongadas y detalladas a los sitios donde ocurrieron los movimientos. Para el momento de la elaboración de este trabajo tampoco hubo disponibilidad de fotografías aéreas tomadas después del evento. A continuación se presentan las descripciones de los distintos tipos de movimientos observados:

Zonas altas del Litoral Central

Caídas y deslizamientos de roca: Los desprendimientos o caídas de roca se

Figura 7.1
 Perfiles de meteorización típicos de rocas metamórficas e ígneas intrusivas
 (según Deere/Patton, 1971)

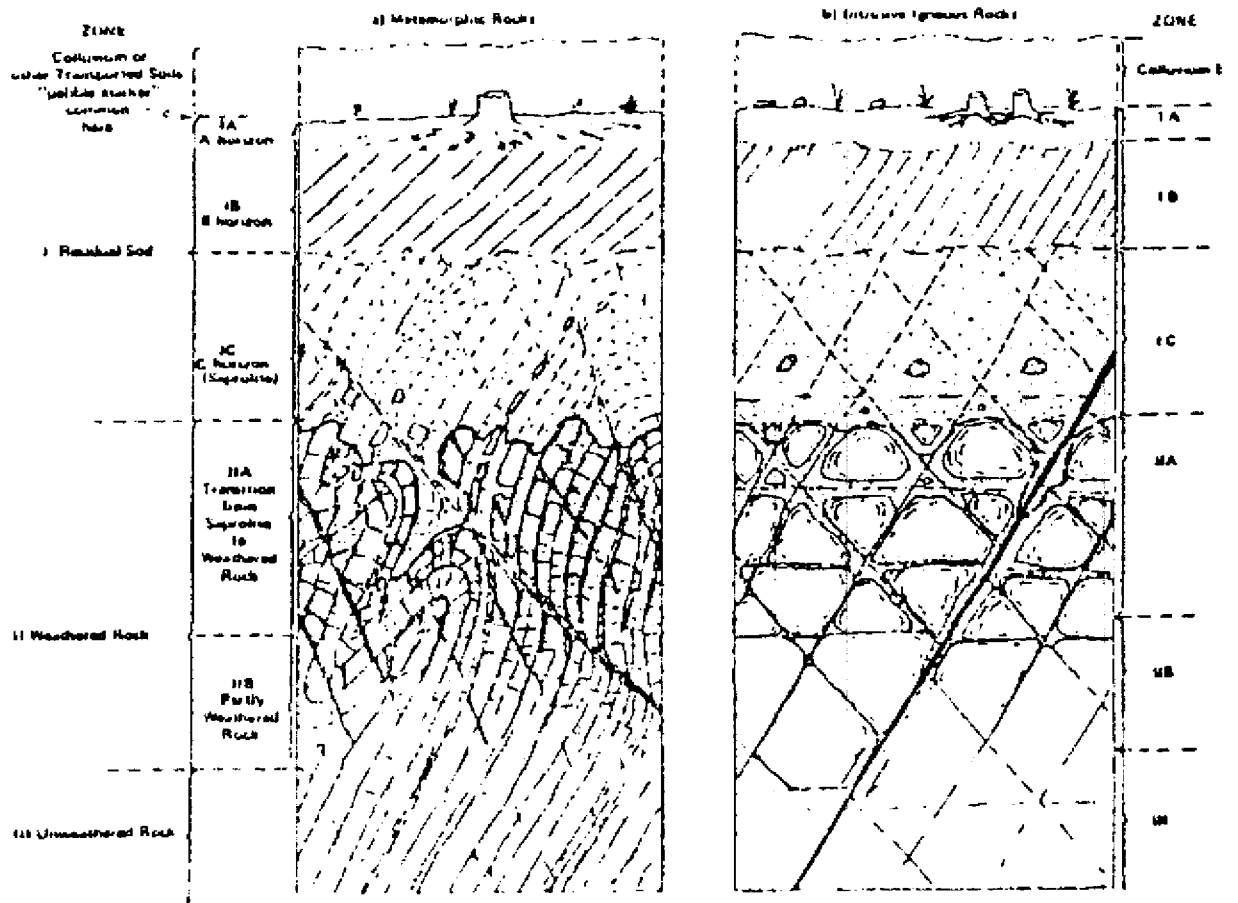


Tabla 7.1
Descripción de un perfil de meteorización para rocas ígneas y metamórficas
 (Deere/Patton, 1971)

	ZONA	DESCRIPCIÓN	RQD (%) (Broca NX)	RECUPERACIÓN (Broca NX)	PERMEABILIDAD RELATIVA	RESISTENCIA RELATIVA
I - SUELO RESIDUAL	IA HORIZONTE A	Capa vegetal, raíces, materia orgánica, zona de percolación y eluviación, puede ser poroso.	no aplicable	0%	media a alta	baja a media
	IB HORIZONTE B	Característicamente arcilloso, acumulaciones de fe, al, y si puede estar cementado, no guarda estructuras heredadas.	no aplicable	0%	baja	comúnmente baja (alta si está cementada)
	IC HORIZONTE C (Saprolito)	Retiene estructuras heredadas de la roca, gradación limosa a arenosa, menos de 10% de recuperación, frecuentemente micáceo.	0% o no aplicable	generalmente 0 - 10%	media	baja a media (son muy significantes las estructuras heredadas)
II - ROCA METEORIZADA	IIA TRANSICIÓN (de suelo residual o saprolito a roca parcialmente meteorizada)	Altamente variable, apariencia de suelo y roca, finos comúnmente a arena fina a gruesa, recuperación de 10 a 95%, meteorización esterofidat es común.	variable, generalmente 0 - 50%	variable, generalmente 10 - 90%	alta (pérdida de agua es común)	media a baja en zonas débiles y estructuras heredadas
	II B ROCA PARCIALMENTE METEORIZADA	Apariencia rocosa, roca blanda a dura, discontinuidades coloreadas, alteración de feldespatos y micas.	generalmente 50 - 75%	generalmente > 90%	media a alta	media a alta
III - ROCA SANA		No se observa coloración de fe en las discontinuidades, los feldespatos y micas no han sido meteorizados.	> 75% (generalmente > 90%)	generalmente 100%	baja a media	muy alta

Tabla 7.2
Clasificación abreviada de movimientos de masa (Varnes, 1978)

TIPO DE MOVIMIENTO		TIPO DE MATERIAL	
		ROCA	SUELOS INGENIERILES
CAÍDAS	VOLCAMIENTOS	Caída de roca	Predominantemente Granular Predominantemente Fino
		Volcamiento de roca	Caída de tierra Volcamiento de tierra
DESPLAZAMIENTOS	ROTACIONAL	Deslizamiento rotacional en roca	Deslizamiento rotacional de detritos
	TRASLACIÓN	Deslizamiento de bloques de roca Deslizamiento de roca	Deslizamiento de bloques de detritos Deslizamiento de detritos
DESPLAZAMIENTOS LATERALES (Lateral Spreads)	POCAS UNIDADES	Desplazamientos en roca	Desplazamientos de tierra
	MUCHAS UNIDADES	Flujo de rocas	Flujo de tierra
COMPLEJOS		Combinación de dos o más de los principales tipos de movimiento	

Tabla 7.3
Clasificación de movimientos de suelo y roca en regiones tropicales montañosas
(Vargas, 1999)

Tipo de Movimiento	Clase	Ocurrencia	Causas	Prevención
Movimientos plásticos o viscosos	Repteo de capas superficiales (creeping)	Movimientos lentos de repteo movilizando parte de la resistencia al cizallamiento	Movimiento constante acelerado durante época lluviosa	Impermeabilización de superficies. Drenajes superficiales.
Deslizamientos a lo largo de superficies de ruptura	Deslizamientos de "talud"	Movimientos continuos de depósitos de deslizamientos anteriores	Corte en pie de "talud" durante época lluviosa	Lo mismo más subdrenajes con drenes horizontales o galerías.
	Deslizamientos planares	Deslizamiento de manto relativamente delgado sobre la superficie de la roca	Ruptura repentina durante o después de lluvias mayores de 100 mm/día*.	Lo mismo más reperfilamiento del talud. Bermas al pie del talud.
Deslizamientos estructurales de macizos rocosos	Deslizamientos rotacionales	Deslizamientos de suelos residuales o macizos saprolíticos, eventualmente con bloques de roca	Al final de los periodos de lluvia.	Muros de retención por gravedad o anclados.
	Deslizamientos de cuñas	Deslizamientos a lo largo de discontinuidades planas	Ruptura repentina durante o después de lluvias mayores de 100 mm/día*.	Anclaje de la roca. Estructuras ancladas.
	Deslizamientos de macizos muy fracturados	Deslizamientos de macizos rocosos muy fracturados en bloques, a veces envueltos en lodo	No necesariamente al final de los periodos de lluvia.	
Avalanchas	Caídas de roca	Desmoronamiento de bloques de roca inestables		
	Flujos de lodo	Erosión o licuación de mantos superficiales	Durante tempestades mayores de 50 mm/hora* en épocas lluviosas de años lluviosos	No existe remedio
	Flujos de bloques de roca	Demolición hidráulica de macizos rocosos muy fracturados y descompuestos		

* Estos umbrales de lluvias son típicos de la Sierra del Mar, en el estado de São Paulo, Brasil.

observaron en las cimas de las montañas, principalmente en las cuencas de Galipán, El Cojo, Camurí Chico, San Julián, Cerro Grande y Uria, donde afloran las formaciones Peña de Mora y San Julián, las cuales contienen augengneises de grano grueso y bandeado, y gneises de grano fino a medio color grisáceo, fracturados, en zonas de topografía muy abrupta y con grandes pendientes. Los desprendimientos de roca se presentan como deslizamientos de traslación y/o planares dependiendo de la orientación de los sistemas de diaclasas y planos de debilidad presentes (Fotos 7.1, 7.2 y 7.8). Los perfiles de meteorización en estas zonas son poco profundos y la vegetación es espesa conformada por árboles de gran tamaño. Los bloques de roca se desprenden y descienden en caída libre, a saltos o rodando cuesta abajo por las pendientes de las montañas. Estos movimientos son muy rápidos, pudiendo alcanzar velocidades de 40 a 70 m/s (145 a 250 km/hora). Los bloques de roca desprendidos son provenientes de los horizontes IIA y IIB del estrato de roca meteorizada. Se presume que la ocurrencia de este tipo de desprendimiento es debida a la formación de altas presiones de poros en las discontinuidades y fracturas de la roca. Estas presiones de poros se generan por la infiltración de agua de lluvias dentro de los sistemas de diaclasas de la masa rocosa. Por otro lado, la saturación del material de relleno entre las diaclasas disminuye la fricción entre caras de bloques contiguos, lo cual también puede influir en desestabilizar el macizo rocoso. Según M. Vargas, estos deslizamientos ocurren principalmente como rupturas repentinas durante o después de lluvias mayores.

Flujos de detritos y bloques de roca: En las zonas altas de pendientes muy empinadas, iguales o mayores de 45°, donde los perfiles de meteorización contienen gran cantidad de bloques de roca en el horizonte de transición IIA, los flujos de detritos y bloques de roca ocurren simultáneamente (Foto 7.3). Una vez que el manto de suelo residual y la vegetación han sido lavados por las aguas de lluvia, los bloques de roca meteorizada subyacentes se desprenden descendiendo por las laderas, y luego son arrastrados por las corrientes de agua y lodo que transitan por los cauces menores afluentes a las quebradas (Foto 7.4). M. Vargas describe este tipo de movimientos como deslizamientos de macizos muy fracturados, en los cuales bloques de roca se deslizan envueltos en lodo y su ocurrencia también está asociada a lluvias mayores.

Zonas bajas del Litoral Central

Flujos de lodo: Aunque Varnes denomina a este tipo de movimiento flujos de tierra, se prefiere utilizar el término flujo de lodo, tal como lo propone Vargas, ya que el material depositado en la costa es esencialmente lodo. Vargas asocia este tipo de eventos con tempestades muy intensas que ocurren en épocas excepcionalmente lluviosas. Los flujos de lodo fueron observados prácticamente en toda la cordillera del Litoral Central desde La Guaira hasta Camurí Grande. Principalmente, los flujos de lodo ocurrieron en las pendientes de colinas pertenecientes a la formación Tacagua, la cual está formada por roca de esquisto y un manto de suelo residual de poco espesor (Foto 7.5). Las laderas absorbieron grandes cantidades de

agua, produciéndose la saturación total de masas de suelo y, como consecuencia, la licuación de los mismos. Estos flujos pueden ser generados por una pequeña falla o deslizamiento de rotación o traslación, seguido de un canal a través del cual fluye el material viscoso y finalmente una zona de deposición o acumulación. En las zonas bajas, los flujos de lodo abarcaron áreas inmensas. La capa vegetal y el manto de suelo residual fueron completamente lavados dejando expuesta la roca meteorizada. La socavación originada por estos flujos no avanzó más allá del horizonte de transición IIA, por lo que el material arrastrado es predominantemente fino. El material fue transportado hacia los cauces de las quebradas o directamente sobre las costas, causando enormes daños materiales y pérdidas de vidas. En particular, los flujos de lodo afectaron extensos tramos de la carretera del Litoral, inhabilitándola por completo (Foto 7.6). En la actualidad se ha improvisado un camino sobre los sedimentos, tal como se observa en la foto.

Deere y Patton (1971) ilustran la forma en que comúnmente ocurren los movimientos en macizos meteorizados (Figura 7.2). Las figuras A y C representan flujos superficiales que solamente arrastran material de los horizontes IA y IB, y de coluvio. La figura B representa un deslizamiento planar desarrollado a lo largo de una discontinuidad o plano de debilidad ubicado en las zonas IC, IIA, o IIB, arrastrando consigo el material meteorizado y dejando en algunos casos la roca más sana al descubierto. La figura D representa un tipo de deslizamiento más profundo en un perfil de suelo residual y coluvio de mayor espesor. El caso A se corresponde con los flujos de lodo observados en la zona baja de la cordillera, mientras que los casos B y C fueron observados en las zonas altas.

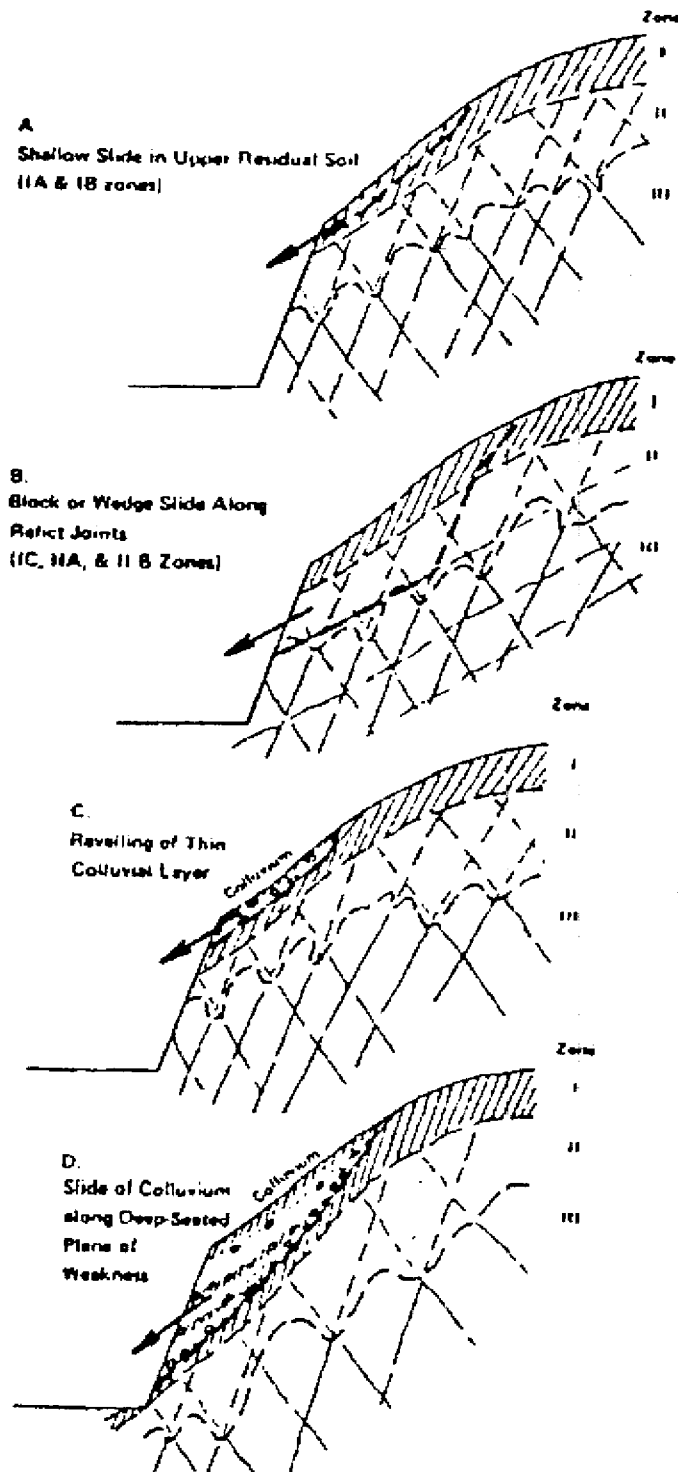
Movimientos complejos: En algunas zonas se observaron movimientos de masas complejos que incluyen dos o más tipos de desplazamientos. Este tipo de movimiento de masas es descrito por Varnes (1978). En el río Naguayá se observó uno de estos deslizamientos, el cual depositó cantidades importantes de material en el cauce del río. Es de hacer notar que en este sitio el perfil de meteorización es algo más profundo que lo observado en el resto del Litoral Central (Foto 7.7).

Cauces de quebradas

Flujos de detritos y bloques de roca (flujos torrenciales): En las cuencas de las quebradas del Litoral, los flujos de lodo, detritos y bloques de roca (peñones) se desplazaron hasta incorporarse a los cauces de las quebradas, formando flujos torrenciales de un material mixto, en estado viscoso, denso, conformado por agua, peñones, detritos y lodo (Fotos 7.4 y 7.6). La presencia de peñones se observa principalmente en las quebradas ubicadas entre Macuto y Uria, mientras que hacia el este de Uria y el oeste de Macuto, los aportes de peñones son menores o inexistentes, prevaleciendo el lodo y los detritos. Este comportamiento selectivo de los torrentes se debe al tipo de geología de cada cuenca, que determina las fuentes de materiales de distintos tipos.

El término "flujo de detritos" es el recomendado por Varnes para describir este tipo de evento (Figura 7.3). Sin embargo, los términos avalancha y flujo de bloques

Figura 7.2
 Tipos de deslizamientos en roca meteorizada, suelo residual y coluvio
 (según Deere/Patton, 1971)



de roca, utilizados por Vargas, también se consideran apropiados. Otros términos como alud, alud torrencial, flujo torrencial, avalancha torrencial y lava torrencial, son muy utilizados entre los profesionales de la geotecnia y la hidráulica. Suárez (1998) describe gráficamente una avalancha ocurrida por efectos de un sismo, de una manera bastante similar a la observada en el Litoral Central (Figura 7.4). Sin embargo, se considera que flujo torrencial de detritos y bloques de roca es más específico, ya que avalancha y alud también se usan para referirse a movimientos de nieve o hielo. En este trabajo, se utilizará el término flujo torrencial para referirse a este tipo de movimiento de masa viscosa en los cauces de las quebradas.

En algunas zonas, como por ejemplo en Los Corales, se observaron peñones de forma redondeada de hasta 3 y 5m de diámetro y árboles de más de 20m de largo, los cuales fueron transportados por un gran flujo torrencial que se formó en la quebrada San Julián, hasta las zonas pobladas, causando enormes daños a la infraestructura, el medio ambiente y numerosas pérdidas de vidas. Se presume que estos movimientos pueden alcanzar velocidades superiores a los 5 m/s (18 km/hora), y de hasta 50 m/s (180 km/hora) en las zonas de mayor pendiente. La forma redondeada de los peñones arrastrados es producida por la demolición hidráulica de los macizos rocosos muy fracturados y descompuestos que son arrastrados por los torrentes de las quebradas, aunque también es posible que peñones existentes en los horizontes IIA del perfil de meteorización, que fueron transportados, tuvieran forma redondeada debido al propio proceso de meteorización. Los flujos torrenciales también generaron socavación de los cauces y transporte de antiguos aluvios y coluvios.

En la Tabla 7.4 se presenta la clasificación de velocidad de movimientos de masa propuesta por Cruden/Varnes (1995). En relación con la magnitud de daños causados por los flujos torrenciales ocurridos en el Litoral Central, éstas se pueden clasificar como Clase 7, con velocidades de movimientos de masas superiores a los 5 m/s, dado que hubo muchas edificaciones destruidas, pérdidas considerables de vidas y posibilidades de escape muy difíciles.

Al igual que los flujos de lodo, Vargas señala que estos movimientos ocurren bajo la acción de tempestades muy intensas en épocas de lluvias extraordinarias.

Vale la pena señalar que una parte importante de los aportes de material se presume proviene de los coluvios y aluvios que se encontraban depositados al pie de las laderas y en los cauces de las quebradas antes de ocurrir al evento. La determinación de las fuentes de material aportado, su ubicación y cuantificación, será objeto de estudios de geología de superficie detallados, mediante levantamientos de campo y comparación de aerofotografías y planos de restitución topográfica antes y después del evento.

7.3 Influencia de las lluvias

Precipitaciones mensuales

En la Figura 7.5 se presenta una comparación de las precipitaciones promedio

Figura 7.3
Flujo de detritos (según Varnes, 1978).

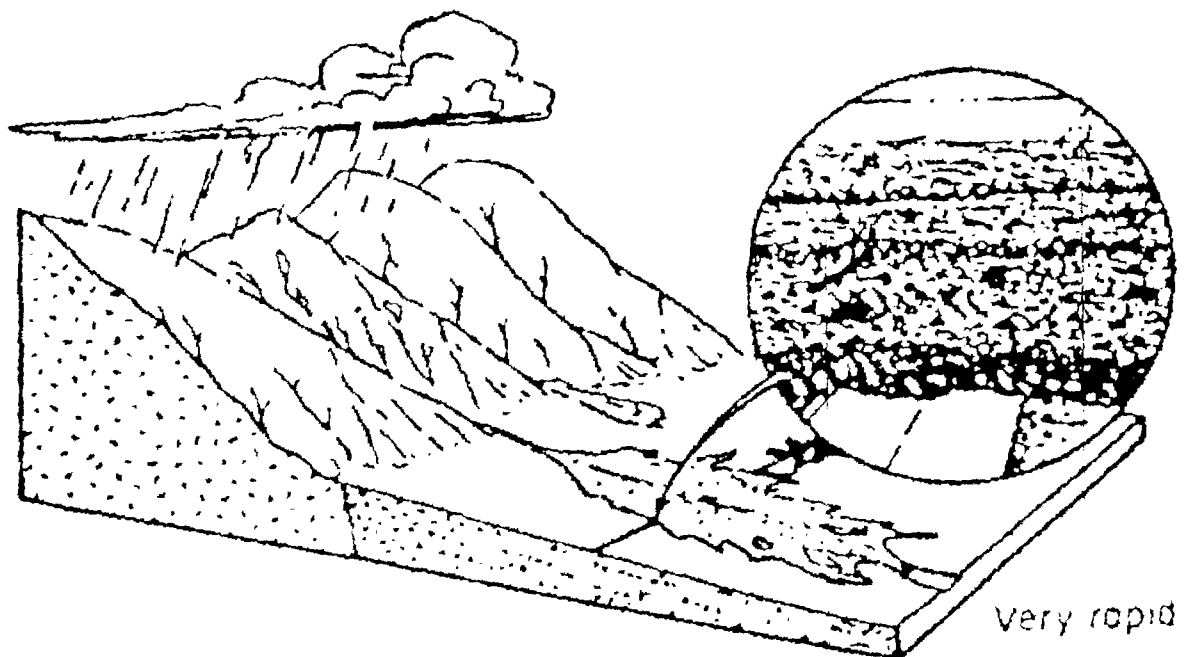


Figura 7.4
Avalancha en cauce de río por acumulación de materiales producto de
una gran cantidad de deslizamientos ocurridos en el momento de un sismo
(según Suárez, 1998)



mensuales y las ocurridas durante el año 1999 en Maiquetía. En el mes de octubre, la precipitación mensual en 1999 fue de 122mm, el doble del valor promedio de 56mm; en noviembre la precipitación mensual fue de 290mm, más de cinco veces el valor promedio de 54mm, y en diciembre fue de 1.204mm, más de 20 veces el valor promedio de 54mm para ese mes. Como se puede observar, el régimen de lluvias comenzó a tener un comportamiento inusual desde octubre, incrementándose las diferencias progresivamente en noviembre y diciembre.

Precipitación acumulada

En la Figura 7.6 se muestran las curvas de precipitación acumulada promedio y la acumulada en 1999. Se puede observar claramente que a partir del mes de octubre la curva de precipitación acumulada en 1999 se despega de la curva promedio con una pendiente muy elevada. Es importante destacar que mucho antes de ocurrir los movimientos de masas catastróficos en el Litoral Central, los registros de las lluvias en la estación de Maiquetía mostraban valores de acumulación extraordinarios.

Tabla 7.4
Velocidad de los movimientos de masas (adaptado de Cruden/Varnes, 1996)

Clase	Descripción	Velocidad (m/s)	Desplazamiento	Poder Destructor
7	Extremadamente rápido	70 5	> 5 m/s 5 m/s	Catástrofe de violencia mayor; edificios destruidos por el impacto o el material desplazado, muchas muertes; escape improbable.
6	Muy rápida	5 5×10^{-2}	5 m/s 3 m/min	Pérdidas de vidas; no todas las personas pueden escapar.
5	Rápida	5×10^{-2} 5×10^{-4}	3 m/min 1.8 m/hora	Escape posible; estructuras, propiedades y equipos destruidos.
4	Moderada	5×10^{-4} 5×10^{-6}	1.8 m/hora 13 m/mes	Algunas estructuras temporales y poco sensibles pueden mantenerse.
3	Lenta	5×10^{-6} 5×10^{-8}	13 m/mes 1.6 m/año	Construcciones de remediación pueden llevarse a cabo durante el movimiento. Algunas estructuras pueden mantenerse con mantenimiento frecuente.
2	Muy lenta	5×10^{-8} 5×10^{-10}	1.6 m/año 16 mm/año	Algunas estructuras permanentes no son dañadas por el movimiento.
1	Extremadamente lenta	5×10^{-10} 5×10^{-10}	16 mm/año 16 mm/año	Imperceptibles sin instrumentos; construcción posible pero deben tomarse precauciones.