

DESCRIPCIÓN DE LOS FENÓMENOS DE INESTABILIDAD DE LADERAS OCURRIDOS EN VENEZUELA, EN DICIEMBRE DE 1999.

STOCKHAUSEN, Harald (1), AUDEMARD, Franck (2), RODRIGUEZ, José A. (2) y MORENO, Daniel (2)

(1) Departamento de Ingeniería de los Recursos Naturales y Medio Ambiente, Universidad de Vigo.

(2) Departamento de Ciencias de la Tierra, Funvisis, Caracas-Venezuela.

RESUMEN

Del 14 al 16 de diciembre de 1999, llovió sobre la cordillera norte de Venezuela, conocida como el cerro Avila, una cantidad aproximada de 791 lt/m^2 , el equivalente a todo un año de lluvia, lo que ocasionó una serie de deslaves y aludes torrenciales en una franja de aproximadamente 160 km., a lo largo de la ladera norte y sur de la cordillera, produciendo los conocidos desastres, que fueron ampliamente divulgados por la prensa internacional y local.

Con este trabajo, se pretende describir los fenómenos de inestabilidad de ladera que ocurrieron en esos dos días, cuales fueron sus causas, eventos disparadores, hechos históricos y probables consecuencias a futuro. Se quiere dejar ver, que eventos de esta magnitud en nuestra historia geológica, son difíciles de corroborar, sin embargo, pueden que sean este tipo de eventos, los que hayan quedado en nuestro registro geológico y que hemos interpretado como varios y sucesivos a través del tiempo, en vez de uno solo y grande evento en un tiempo extremadamente corto.

INTRODUCCION

La cordillera del interior, es una cadena montañosa ubicada al norte de Venezuela (fig. 1), con alturas que van desde el nivel del mar hasta los 2000 m, con pendiente promedio entre los 40 a 70° y se extiende este-oeste unos 300 km de largo. En ella existen seis pisos climáticos que van desde sabanas con plantas xerófilas en la zona baja y costera, pasando por bosques tropical húmedo, hasta ambientes de subpáramo en las zonas más altas (Pereira y Aso, 1984). La cordillera esta surcada por numerosos arroyos muy encajados, que llevan agua casi todo el año, tanto a la vertiente norte (al mar) como a la vertiente sur (valle de Caracas, Maracay y Valencia, Guarenas-Guatire), lo cuales tienen sus cabeceras en las zonas alta de la montaña bajando en forma prácticamente rectilínea, lo cual influyó en el tipo de deslaves observados.

En la zona de interés donde ocurrieron los deslaves y aludes torrenciales, se encuentra en una franja de unos 160 km de largo, donde la intervención antrópica en la zonas medias y altas de la cordillera ha sido prácticamente nula, ya que es una zona protegida como parque nacional, conocido como el Parque Nacional El Ávila. En esta zona el suelo es de poco espesor del tipo limo-arenoso y muy húmedo, lo que hace que los árboles desarrollen raíces superficiales sin llegar a fijarlo firmemente.



Fig. 1 Mapa general de Venezuela, donde se destaca la cordillera del interior

Durante todo el mes de diciembre de ese año llovió en forma intermitente en la cordillera (elemento precursor), saturando el suelo de agua, y por ende aumentado su peso y disminuyendo su cohesión, pero no es hasta el día 14, cuando llueve con gran intensidad, cayendo prácticamente el equivalente a todo un año de lluvia. Es en este día cuando ocurren los deslaves en la parte superior, que en su camino de bajada por la alta pendiente aumentan en rápidamente en velocidad llevándose consigo árboles e incorporando bloques de roca sueltos y aumentando así en volumen, es decir, ganando energía, que en la parte media incorporan grandes bloques de roca y disparando así los aludes torrenciales.

Por estar estos aludes “canalizados” en los arroyos, no es hasta que llegan a los valles en la costa al norte o al sur en el valle de Caracas cuando tienen la oportunidad de explayarse y ocasionar los destrozos en viviendas y edificios, muchos de ellos construidos dentro o en zonas cercanas a los cauces de las arroyos, con el consiguiente saldo en pérdidas humanas.

Al ocurrir estos aludes en zonas muy pobladas, como lo fué el litoral (zona costera al norte) y al sur en la capital, Caracas, la ciudad con mayor número de habitantes del país, tomo gran notoriedad en la prensa internacional y local. De allí, que se realizasen numerosos estudios y trabajos para identificar las causas del fenómeno, determinar su impacto en la población e infraestructura existente y tratar de buscar medidas correctoras para el futuro.

GEOLOGIA

La geología jugó un papel importante en estos fenómenos, por lo que requiere describirla brevemente, para así ir analizando los distintos factores involucrados que en su conjunción ocasionaron los deslaves. La cordillera del interior, es un complejo alóctono (González de

Juana, 1980), de edad aparentemente Paleozoico al Precámbrico (Urbani y Ostos, 1989), compuesto por diversidad de unidades metamórficas como gneises, esquistos de distintos tipos, augengneises, mármoles, serpentinitas, anfíbolotas, rocas volcánicas, etc., limitado al norte por el sistema de fallas activas conocidas como fallas de San Sebastián y que es el contacto entre las placas del Caribe con la Suramericana, y al sur en contacto discordante con rocas sedimentarias del Paleoceno-Eoceno y Cuaternario.

Las unidades metamórficas están limitadas y cortadas por un sistema complejo de fallas, todas ellas inactivas que no revisten ningún riesgo geotécnico, ya que son en su mayoría fallas verticales muy segmentadas (fig. 2).

Como se puede apreciar en la figura 2, la zona donde ocurrieron la mayoría de los deslaves, esta constituida por gneises graníticos (Augengneis de Peña de Mora) y esquistos cuarzo-plagioclásico-micáceos (Esquisto de San Julián), denominado Complejo Avila. Hacia el norte en la zona costera, aflora la Fase Tacagua compuesta por esquistos cuarzo-micáceos-grafitosos y esquistos epidóticos con intercalaciones de mármoles, de fácil meteorización y que geomorfológicamente conforma la zona de bajo relieve al pie de la cordillera (fig. 3). Al sur hacia la zona de la capital, afloran las serpentinitas y la Fase Antimano compuesta por esquistos micáceos y grafitosos asociados con anfíbolotas, que en general producen una disminución suave de la topografía hacia el oeste (fig. 3)

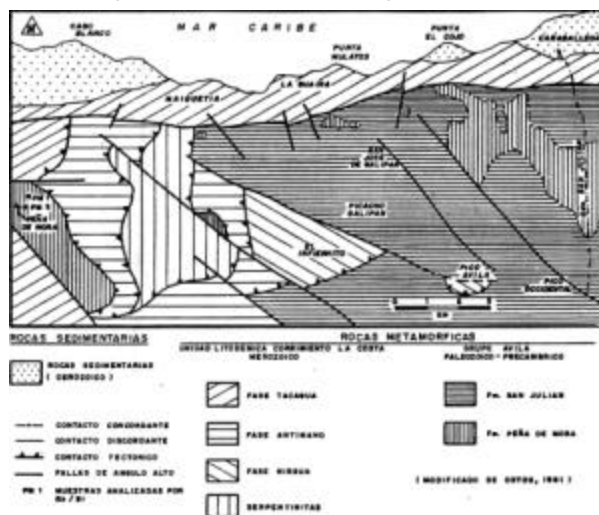


Fig. 2 Mapa geológico de la zona donde ocurrieron los deslaves



Fig. 3 Modelo tridimensional de la orografía del Valle de Caracas, el macizo del Avila y el Litoral Central. Tomado PDVSA (1992)

Estas unidades han sido la fuente de los sedimentos encontrados tanto en el Valle de Caracas como en los conos de deyección en el Litoral Central, y que nuevamente han sido depositados, pero en forma violenta en diciembre de 1999, sin embargo estos fenómenos no son nuevos, han ocurrido en el pasado tanto reciente como en el geológico.

ANTECEDENTES HISTORICOS Y GEOLOGICOS

Según estudios realizados en el Valle de Caracas por Singer et al. (1983), se tiene referencia de fenómenos parecidos desde 1100 DC, 1740 para el Litoral Central y mucho más al este en la ciudad de Maracay (ver fig. 1) en la época Precolombina, antes del 1500.

Para el Litoral Central han sucedido fenómenos no tan conspicuos como el presente, en años más recientes, 1951, ocurrido un alud torrencial cerca del casco viejo de La Guaira, y que fué muy reseñado para la época y descrito minuciosamente por Garner (1959 y 1974). Sin embargo el más devastador ocurrió en febrero de 1798 y más aún en la década de los 30 y 40 ocurrieron otros fenómenos semejantes, por lo que se puede concluir que los aludes torrenciales en la cordillera de la costa se repiten con recurrencia y magnitud variable.

De los fenómenos precolombinos no se tiene evidencias reseñadas en las históricas escritas, es decir, ni antes ni después de la conquista de la América, sin embargo han quedado reseñadas en la geología y geografía tanto del Litoral Central como en el Valle de Caracas.

Para el Litoral Central, la presencia de conos de deyección de gran extensión, son consecuencia de varios y sucesivos eventos, llamando la atención que en un reconocimiento aerofotográfico realizado en el año de 1936-38 (misión 8), se identifican fácilmente grandes bloques blanquesinos pertenecientes a la Fm. Peña de Mora y abandonados tanto pie del arroyo (quebrada) de San Julián, como en el cono de deyección (Castilla, 1999) y que confinó parcialmente el alud de 1999 (fig. 4).

Para el Valle de Caracas Singer et al. (1983) y Singer (1977a y 1977b) identifica conos de deyección a lo largo del valle, en los barrios conocidos como El Pedregal, Los Chorros, Parque Del este y El Country Club (fig. 5), los cuales le adjudica una edad Pliocena, con los cuales se ha tratado de convivir, es decir, se han aprovechado como muros de casa, o zonas para el esparcimiento o como material de construcción, sin tomar conciencia de que forman parte de antiguos aludes.

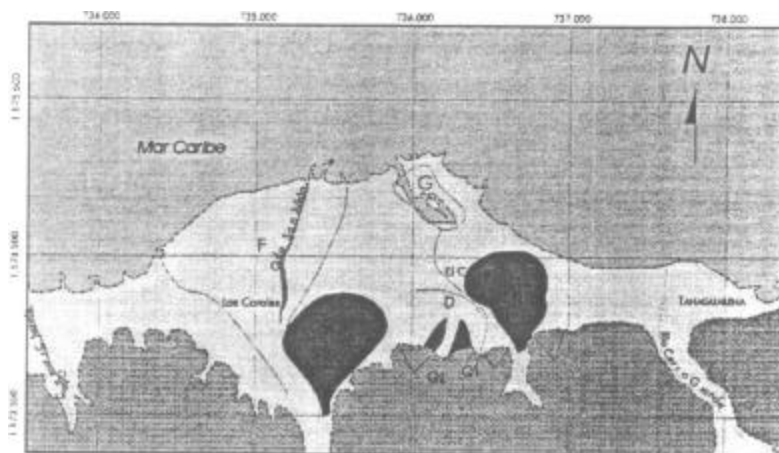


Fig. 4 Cartografía del cono de deyección en el área de Caraballeda-Tanaguarena, según fotointerpretación de Castilla (1999).

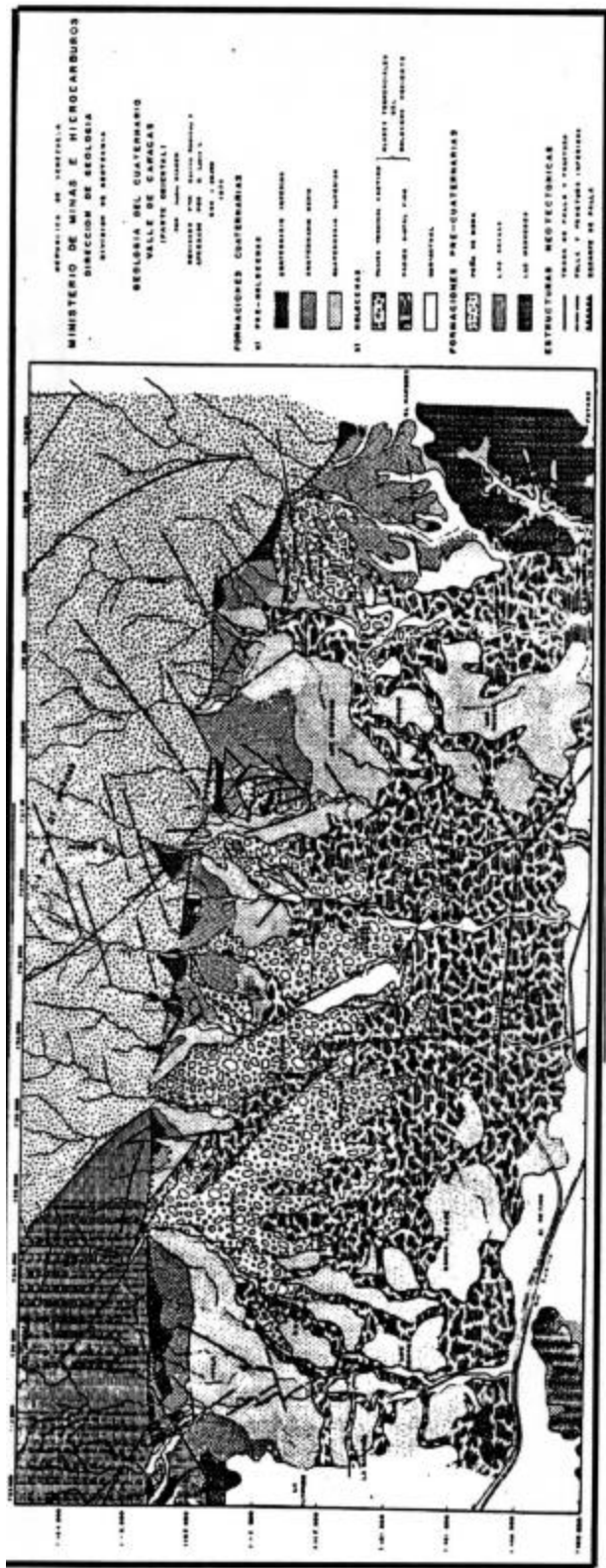


Fig. 5 Geología del Cuaternario del Valle de Caracas (según Singer, 1977a), donde se evidencian episodios de aludes torrenciales precolombinos

EVENTOS PRECURSORES

La figura 5, muestra la precipitación diaria tomada en el Aeropuerto Internacional de Maiquetía, ubicado en el Litoral Central cerca del mar, la estación más cercana a los aludes en su parte baja, se observa como a lo largo del mes de diciembre hubo precipitaciones de baja a mediana intensidad, del tipo tropical, es decir llueve un par de horas y luego sale el sol, pero no es hasta el día 14 al 16 cuando son los picos de intensidad lluviosa que disparan los aludes.

Estas lluvias sucesivas ocurridas en los primeros días de diciembre, produjeron que los suelos en la parte alta de la cordillera central se saturaran en agua, aumentado su peso y disminuyendo la cohesión entre granos y lo que ha sido llamado “evento precursor” o lluvia antecedente (Stockhausen et al., 2000; Audemard, et al., 2000).

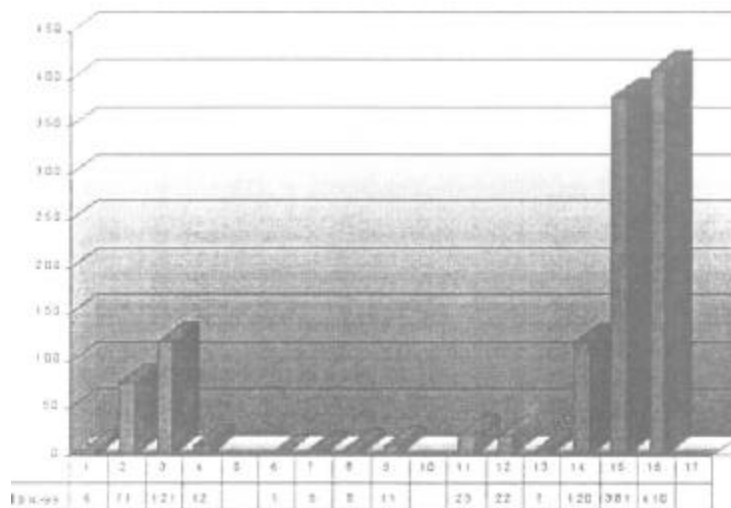


Fig. 5 Precipitaciones diarias en la estación de Maiquetía, en diciembre de 1999

Según nos fue explicado por el Maestre Pereira (com, per., 1999), las lluvias del 14 al 16, llamadas por Stockhausen et al. (2000) como “evento disparador”, son el resultado de un fenómeno poco común en la zona, en la cual durante esos 3 días existió un ciclo de retroalimentación en las que corrientes de aire chocaron contra la cordillera, se cargaban de vapor de agua, precipitaba, descendían y volvían a subir con más vapor, lo cual ocasionó que en esos tres días llovió el equivalente a todo un año de lluvia, es decir 791 lt/m².

Lo anterior fue corroborado mediante análisis de imágenes del satélite, pero al no existir estaciones meteorológicas montaña arriba se desconoce la cantidad de lluvia caída en las zonas altas, sin embargo se sabe que hacia el sur, en el valle de Caracas, solo se registraron para esos días menos de 100 lt/m² (Maestre Pereira, com, per., 1999).

Con lo anterior se llega a la conclusión ampliamente aceptada y publicada en diversos congresos, seminarios, simposios y prensa, que las lluvias antecedentes y las ocurridas entre el 14 al 16 dispararon los aludes, sin embargo existieron otros factores precedentes con influencia mucho menor, pero importantes de analizar.

La litología predominante del Complejo Avila, gneises graníticos y esquistos cuarzo-muscovíticos (González de Juana, 1980), son de relativa fácil meteorización y degradación, especialmente en zonas húmedas, lo cual hace que la litología en cierta medida facilitó los procesos de decaimiento y deslaves al degradarse con el tiempo, explicando en cierta

medida la periodicidad de los fenómenos en años anteriores. Más aún, a la litología facilitó los procesos de erosión, permitió que durante los aludes se incorporasen bloques de distinto tamaño, ya que seguramente estarían relativamente sueltos en los cauces de los arroyos.

El otro factor que debió influir fue la presencia de diaclasas, fracturas y foliaciones, muchas con buzamiento a favor de la ladera, siendo las dos primeras muy numerosas en el macizo, permitiendo así la incorporación de grandes bloques, durante los deslaves, como se observa en la fig. 6.

Se descarta la influencia antrópica en los deslaves, ya que por un lado los deslaves se iniciaron montaña arriba, donde no existe ningún tipo de influencia antrópica, por ser una zona protegida, constituida por el denominado Parque Nacional del Avila. Por el otro lado, a pesar de las numerosas víctimas mortales, estas ocurrieron en las faldas de la montaña, donde la mayoría de ellos ubicaron sus residencias informales en los lechos de los arroyos, los cuales fueron los captadores de los aludes, o mejor dicho, por donde ocurrieron los aludes.

DESCRIPCION DE LOS ALUDES

Debido al raro fenómeno atmosférico ocurrido los días 14 al 16, en el Litoral central, la concentración de lluvia fue en la ladera norte, en una franja de unos 160 km, “disparando” los deslaves. Debido a lo alto de la cordillera (2000 m de altura sobre el nivel del mar), esta hizo de barrera impidiendo que la lluvia se moviera hacia el sur, por lo que los aludes ocurridos en la ladera sur, son en menor número y hacia la parte occidental de la ciudad de Caracas, donde la cordillera es más baja (Stockhausen et. al (2000) y ver fig. 3).

En la parte norte los aludes se inician en la zona alta de la montaña, principalmente en la zona de captación de los arroyos (fig. 7) donde partes del suelo deslizan sobre los esquistos, involucrando parte de ellos y arrastrando parte de los árboles (fig. 6).

Al entrar los deslaves en los arroyos, estos se fluidifican, adquiriendo mayor velocidad y energía, que al ir incorporando bloques de roca en los lechos de los arroyos aumentan en volumen e incorporan cada vez más bloques de roca más grandes, que llegan a medir más de 10 m³ (fig. 8).

Los deslaves son canalizados ladera abajo por cada uno de los arroyos en esta franja de 160 km, por estar estos encajados en la cordillera, pero no sino hasta que llegan al pie de la montaña, donde pueden explayarse ampliamente formando los abanicos (fig. 9).

Llama la atención que el fenómeno de deslaves ocurre en forma prácticamente simultánea en todos arroyos de esta franja de 160 km (fig. 9), algo no reportado hasta el momento de tal intensidad y extensión, considerándose siempre como fenómenos aislados en un tiempo relativamente largo.

Es en estos abanicos donde suceden la mayoría de las víctimas mortales, y es donde el fenómeno se magnifica al poder explayarse los sedimentos traídos en los deslaves, los cuales circulan por los canales de menor resistencia, es decir, calles, avenidas y caminos, llevándose por delante cualquier objeto en su camino, es decir, coches, casas y edificios (figs. 10 y 11), dejando inutilizables las vías de comunicación, acueductos, sistema de alcantarillado y aguas negras, así como líneas eléctricas y de telefonía.

A diferencia de la ladera norte, la ladera sur, hacia la capital del país, no ocurrieron tantos deslaves, concentrándose hacia la zona occidental, donde los deslaves fueron canalizados prácticamente por un solo arroyo, conocida como la quebrada Catuche (figs. 12 y 13) y donde ocurrieron las otras fatalidades. Sin embargo en un reconocimiento aerotransportado (Funvisis, 2000) se constató que en la ladera sur ocurrieron deslaves de menor magnitud, algunos de ellos involucrando cierta extensión, con la suerte que para el momento las lluvias fueron de tanta intensidad, sin embargo pueden ser una amenaza potencial para el futuro.

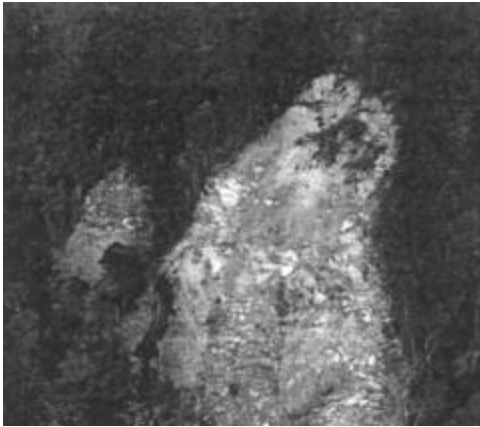


Fig. 6. Foto tomada en la parte alta del Avila, donde se aprecia en un deslave la foliación a favor de la pendiente.



Fig. 7. Foto tomada de Wieczorek et al. (2001) donde se aprecian los aludes en zona alta de la montaña.



Fig. 8. Foto tomada de Wieczorek et al. (2001) donde se aprecian el tamaño de los bloques de roca.

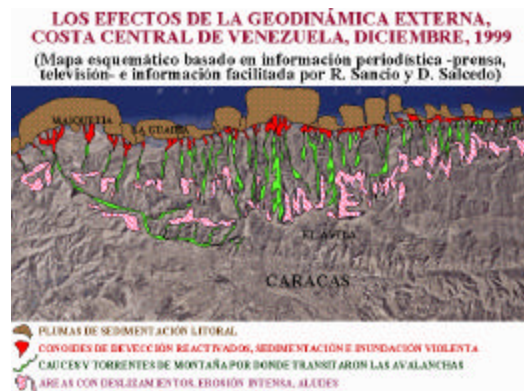


Fig. 9. Tomada del Lexico (2001) donde se han cartografiado todos los aludes ocurridos.



Fig. 10. Foto tomada en Caraballeda, donde se aprecia uno de los aludes de mayor tamaño.



Fig. 11. Tomada del Lexico (2001), donde se aprecia el daño a uno de los edificios.



Fig. 12. Foto aérea del valle de la quebrada Tacagua, sector Blandin, donde se aprecian los deslaves en la vertiente sur del Avila



Fig. 13. Tomada por El Nacional (1999), donde se han aprecia el daño que ocasionó la quebrada Catuche.

MEDIDAS PREVENTIVAS QUE SE PUEDEN REALIZAR

En los meses posteriores a esta tragedia, hubo un gran debate sobre las medidas preventivas a tomar, donde intervinieron diversidad de personas, expertos y políticos, siendo estos últimos, lo que mayor fuerza de imposición tuvieron. Bajo el punto de vista científico existen métodos probados para controlar aludes torrenciales, como lo son sistema de control de torrentes, retardadores de caudal y de carga sólida (presas Sabo, o "check dams"), también la implantación de sistema de alarmas, control de precipitaciones con telemetría, así como limpieza de arroyos, canalizar adecuadamente los arroyos, construcción de brazos aliviaderos, etc.

El problema de implementar cualquiera de los sistemas mencionados, algunos de ellos muy utilizados en Japón y otros países, es la adaptación a las condiciones locales, tanto geográficas, culturales como de recursos económicos.

La cordillera del interior, como ya expuso anteriormente, presenta una alta pendiente, para la instalación de sistema de control en los arroyos, implicaría la construcción de carreteras con pendiente moderada en zonas de difícil acceso, lo cual requiere enormes recursos económicos que el país carece. También hay que considerar que estos sistemas han de ser mantenidos para que sean efectivos, lo cual es una tarea difícil en países donde no existe la cultura del mantenimiento, con su consiguiente gasto.

En este sentido queremos reflejar nuestra preocupación, por un lado que las medidas a implementar son difíciles, que requieren de recursos económicos y un compromiso, y por el otro que si no son realizadas, en un futuro volverá a ocurrir con el consiguiente trágico saldo en pérdidas de vidas humanas.

CONCLUSIONES

Los aludes torrenciales ocurridos en los días 14 al 16 de diciembre de 1999, en la zona del Litoral Central, son la consecuencia directa de unas lluvias precursoras ocurridas durante los primeros días de diciembre, que saturaron el suelo de agua, incrementando su peso y disminuyendo su cohesión, y que fueron accionados por una lluvia torrencial (elemento disparador).

Adicionalmente, otros elementos de menor importancia, estuvieron involucrados, como la litología predominante el macizo, de fácil meteorización y erosión, un sistema de diaclasas, fracturas y foliación paralelo a la pendiente del macizo y el poco espesor de suelo, donde los árboles se ven forzados tener raíces someras.

Estos fenómenos no son nuevos en la zona, y han sido recurrentes en el pasado tanto histórico como geológico, llamando la atención que este tipo de fenómeno de tanta magnitud, no este ampliamente referido en la bibliografía, sino más bien como hechos aislados en el tiempo, y que de repente, son este tipo de fenómenos los que realmente quedan en el registro geológico.

Finalmente, se deben diseñar sistemas de prevención en los arroyos de esta cordillera, ya que en el futuro volverán a ocurrir otros deslaves, con la salvedad que deben de ser adaptados a las condiciones particulares de terrenos casi inaccesible, de alta pendiente en una sociedad donde no hay una cultura firme del mantenimiento.

BIBLIOGRAFIA

Audemard, F.A., Rodriguez J.A. y Stockhausen, H.W. (2000) "La vertiente Caracas del Macizo Avila en el espejo del desastre de Vargas de diciembre 99". XVI Seminario

Venezolano de Geotecnia. Calamidades Geotécnicas Urbanas con Visión al Siglo XXI. Caracas. pp. 18.

Castilla, R. (1999) "facies sedimentarias del abanico de Caraballeda y su relación con la posible licuación de suelos ocurrida durante el sismo de Caracas de 1967". Informe final de "Investigación Aplicada". Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Universidad Central de Venezuela. Caracas

Funvisis (2000) "Análisis de la vertiente Caracas, a raíz de los sucesos de Vargas de diciembre 1999" Informe interno.

Garner, H. (1959) "Stratigraphic-sedimentary significance of contemporary climate and relief in four region of the Andes Mountains" Bulletin Geological Society of America. 70 (10). p. 1327-1368

Garner, H. (1974) "Geomorphology" Ed. Rutgers University, Newark

González de Juana, C., Iturralde, J. y Picard, X. (1980) "Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas". Ed. Foninves. Caracas. Volumen I y II.

Lexico (2000) "Código Geológico de Venezuela". <http://www.pdvsa.com/lexico/>

PDVSA (1992) "Imagen de Venezuela. Una visión espacial" Ed. Arte. Caracas.

Pereira, J. y Aso, P. (1984) "Parque Nacional del Avila, Guaraira Ripano Sierra Grande". Ed. Cuadernos Lagoven. Caracas.

Singer, A. (1977A) "Acumulaciones torrenciales catastróficas, de posible origen sísmico, y movimientos neotectónicos de subsidencia en la parte oriental del Valle de Caracas". GEOS 22. p. 64-65

Singer, A. (1977b) "Tectónica reciente, morfogénesis sísmica y riesgo geológico en el graben de Caracas". V Congreso Geológico Venezolano. Caracas. IV. p. 1861-1902.

Singer, A., Rojas, C. y Lugo, M. (1983) "Inventario Nacional de riesgos geológicos". Ed. Funvisis. Caracas.

Stockhausen, H.W., Audemard, F.A., Rodriguez J.A., Singer, A. y Schmitz, M. (2000) "Deslizamientos, aludes y deslaves en el valle de la quebrada Tacagua, sector Gramoven y Blandin". X Congreso Venezolana de Geofísica. Caracas.

Urbani, F. y Ostos M. (1989) "El complejo Avila, cordillera de la costa, Venezuela" Memorias 50º Aniversario de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica. GEOS 29. Caracas.

Wieczorek, G.F., Larsen, M.C., Eaton, L.S., Morgan, B.A. and Blair, J. L. (2001) "Debris-flow and flooding hazards associated with the December 1999 storm in coastal Venezuela and strategies for mitigation" Open file report ofr-01-0144. <http://geology.cr.usgs.gov/pub/open-file-reports/ofr-01-0144/>