

ANÁLISIS DE LOS DESLIZAMIENTOS EN LA CUENCA DE LA QUEBRADA LA IGUANÁ DE LA CIUDAD DE MEDELLÍN A PARTIR DE LA INTERACCIÓN LLUVIA- PENDIENTE-FORMACIÓN GEOLÓGICA

OSCAR ECHEVERRI

Ingeniero civil Universidad Nacional.

YAMILE VALENCIA

Ingeniera Civil Universidad Nacional. yvalenciag@yahoo.com.co

Recibido para revisar 20 de Octubre de 2003, aceptado 23 de Febrero de 2004, versión final 23 de Febrero de 2004

RESUMEN: En el lapso comprendido entre 1980 y 2001 se han registrado un total de 40 deslizamientos sobre las laderas de la cuenca de la quebrada La Iguaná al occidente de la ciudad de Medellín. En esta investigación se han analizado las relaciones de la ocurrencia de deslizamientos con los registros de precipitación precedente, la pendiente de la ladera y las distintas formaciones geológicas superficiales locales, estableciendo comparaciones con cada una de las mencionadas y con la interacción conjunta de las tres variables de análisis. El trabajo desarrollado ha permitido proponer un umbral de amenaza para precipitaciones antecedentes de 3 días y precedentes de 15 días, reconocer la susceptibilidad al deslizamiento de cada formación superficial y las pendientes más propensas a los movimientos en masa. La conjugación de las tres variables (precipitación, pendiente y formación superficial) ha facilitado la elaboración de un mapa de amenaza por deslizamiento que se estima puede ser empleado como elemento en la ejecución de programas de prevención de desastres. La metodología propuesta permite, mediante la actualización de la información pluviométrica, que se detecten con antelación las áreas dentro de la cuenca en las cuales se puede presentar un deslizamiento, y puedan tomarse las acciones preventivas del caso. La concepción metodológica plantcada permite en cualquier momento conocer la amenaza por deslizamiento con solo disponer de los registros de lluvia, lo que la constituye en una herramienta innovadora y de fácil manejo.

PALABRAS CLAVES: Deslizamiento, Precipitación, Pendiente, Formación superficial, Amenaza.

RESUMEN: There have been registered 40 landslides in the Iguaná basin, at the Aburrá Valley, Colombia, during the interval 1980 – 2001. The relationship of landslide occurrence with antecedent precipitation, slope gradient and superficial deposits are examined in this paper. The results of this research let us propose a hazard threshold of 3/15 days antecedent precipitation, combined with the landslide susceptibility of superficial deposits and slope gradients. The combination of these three variables (precipitation, slope gradient, superficial deposit) allows the preparation of a landslide hazard map which may be used as an input in the disaster prevention programs. The proposed methodology allows the prediction of most imminent landsliding events with just the daily rain gauge information in a local meteorological station no farther than 6 Km.

PALABRAS CLAVES: Landslide, Precipitation, Slope gradient, Superficial deposits, Hazard.

1. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Medellín y su área metropolitana han sido escenario de múltiples eventos de deslizamientos que han generado numerosas pérdidas de vida y cuantiosos costos económicos. En los últimos años, los deslizamientos en el barrio Villatina (1987, 1989, 1996 y 1998) con saldo trágico de mas de 500 muertes, la vulnerabilidad de barrios como Villa Hermosa con recuentos de mas de 100 deslizamientos en 1996 y la casi sistemática cifra de 150 deslizamientos en el área urbana entre los años 1994 y 1998, son algunos ejemplos de la problemática. A lo anterior se suma que el municipio registre alrededor de 20000 viviendas en zonas de alto riesgo.

A nivel mundial se ha estudiado ampliamente la incidencia de las precipitaciones como elementos detonantes de deslizamiento. En Colombia este tipo de investigaciones han analizado relaciones entre infiltraciones distantes y movimientos de masa (Gómez *et al.*, 1990), relaciones entre lluvias antecedentes y lluvias diarias (Arango, 2000), precipitaciones y deslizamientos en el Valle de Aburrá (Paz & Torres, 1989) y mas recientemente la influencia de la lluvia sobre los deslizamientos en el departamento de Antioquia (Vélez *et al.*, 2002). Estos estudios han mostrado como los fenómenos macroclimáticos (ENSO) inciden en el número de deslizamientos con marcado incremento de eventos por año en

épocas de La Niña. Así mismo, se han propuesto umbrales para la ocurrencia de deslizamientos basados en lluvias acumuladas antecedentes y precedentes al fenómeno (Vélez *et al.*, 2002). En los estudios mencionados y en otras investigaciones a nivel internacional, los análisis han abordado solo parcialmente aspectos relativos a la pendiente o la formación geológica y su interacción con el fenómeno lluvia-deslizamiento. La contribución de este trabajo se orienta a ampliar el espectro de análisis al incorporar los factores geomorfológicos (pendiente del talud) y geológicos (tipo de formación superficial) en el estudio de los deslizamientos. Se analizó un conjunto de 40 de eventos y se prestó interés especial en los 16 deslizamientos ocurridos el 21 de noviembre de 2001.

2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ZONA ESTUDIADA

La cuenca de la quebrada La Iguaná está localizada al noroeste de la ciudad de Medellín (Colombia) sobre la ladera occidental del Valle de Aburrá y comprende un área de 50,887 km². Su nacimiento se ubica en el Alto de las Antenas de la Cuchilla Las Baldías en la cota 2950 m.s.n.m y discurre a lo largo de 15,5 km por la zona centro occidental del municipio de Medellín hasta su desembocadura en el río del mismo nombre (Figura 1).

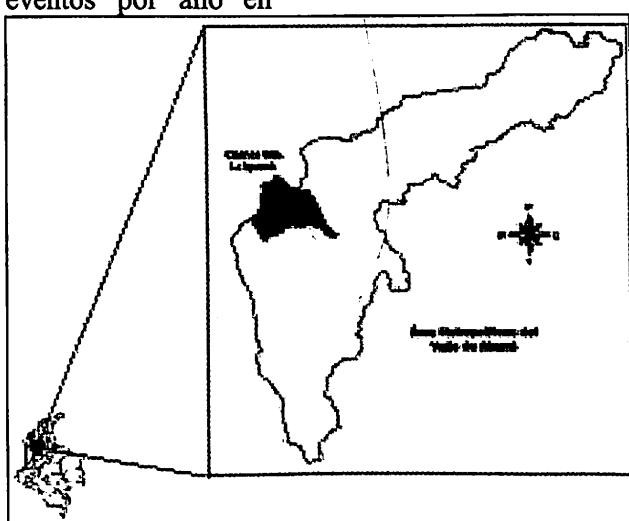


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio

Las laderas de la parte alta y media de la cuenca se caracterizan por pendientes pronunciadas mientras que la parte baja hasta su desembocadura (cota 1453 m.s.n.m.), es plana y densamente urbanizada. Desde el punto de vista geológico, predominan depósitos residuales (anfibolitas y cuarzodioritas) y flujos de escombros. Son también notorios los depósitos antrópicos dispuestos erráticamente a lo largo de las carreteras principales, de los asentamientos urbanos y de las zonas de invasión que ocupan en muchas ocasiones hasta el propio cauce de la Quebrada.

La precipitación promedia anual es de 1500 mm, con predominio de lluvias en los meses de mayo y octubre y eventos esporádicos de lluvias torrenciales de gran intensidad y corta duración.

3. METODOLOGÍA EMPLEADA

La investigación desarrollada se orientó al análisis de la interacción de la lluvia, la pendiente y la formación geológica superficial como elementos asociados a la generación de deslizamientos. En particular se prestó especial importancia al estudio de las lluvias previas a los deslizamientos y aquellas ocurridas el mismo día del evento con el fin de observar la incidencia tanto de la acumulación de lluvias en el deterioro de las condiciones de estabilidad como el efecto detonante de precipitaciones de alta intensidad y corta duración en la generación de movimientos en masa.

En numerosos estudios se ha trabajado con lluvias promedias (anuales, mensuales y diarias) y en investigaciones recientes se han planteado correlaciones entre niveles freáticos y precipitación mostrando que la respuesta a eventos de lluvia tiene un tiempo de rezago de 15 días (*Sterret et al.*, 1982; *Clifton et al.*, 1985; y *Arango*, 2000), hecho que resalta la importancia de la lluvia acumulada. Otros autores (*Guidicini e Iwasa*, 1977) basados en análisis estadísticos proponen un umbral de lluvia a partir del cual la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento es alta, concluyendo que las lluvias acumuladas de 15 días son las que mas influyen, aún para períodos de retorno bajos.

Investigadores como Chleborad (2001) desarrollan un método para anticipar la ocurrencia de deslizamientos basados en lo que denominan "índices de precipitación" o umbrales que resultan del análisis de lluvias antecedentes de tres días. Ellos concluyen que los deslizamientos son disparados por tormentas de alta intensidad en intervalos de 72 horas o menores y las lluvias acumuladas en los 15 días anteriores a éstas. Aboshi (1977) y Lumb (1975), establecieron correlaciones entre la cantidad de lluvia en los 15 días precedentes y la cantidad de lluvia del día del deslizamiento. Así mismo, Caine (1980) y Sidle (1987), estudiaron una correlación entre las características de la precipitación (intensidad y duración) y la ocurrencia de deslizamientos someros en Australia.

Estos criterios han sido aplicados dentro del análisis de la lluvia para el desarrollo de la presente investigación y se han correlacionado con elementos geotécnicos (pendientes, formación superficial) para cuantificar la incidencia de cada uno y del conjunto. La innovación propuesta permite mantener actualizado el mapa de amenaza con solo disponer de los registros de lluvia diaria.

4. RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

4.1 REGISTRO DE LLUVIAS ESTACIÓN SAN CRISTÓBAL

Se obtuvieron los registros de lluvias diarias de los últimos 50 años (período 1950-2001). De estos registros se utilizaron los datos a partir de 1970, año desde el cual se cuenta con información confiable de deslizamientos. Los datos fueron suministrados por Empresas Públicas de Medellín y el postgrado de Recursos Hidráulicos de la Universidad Nacional.

4.2 REGISTROS DE DESLIZAMIENTOS

Se recolectó información de 40 deslizamientos con detalle de su ubicación y su fecha de ocurrencia. Estos registros provienen de entidades oficiales como el municipio de Medellín, Ingeominas y extractados de investigaciones adelantadas por estudiantes de la Universidad Nacional de Medellín.

En la Figura 2 se muestra la ubicación de cada uno de los deslizamientos dentro de la cuenca de la quebrada.

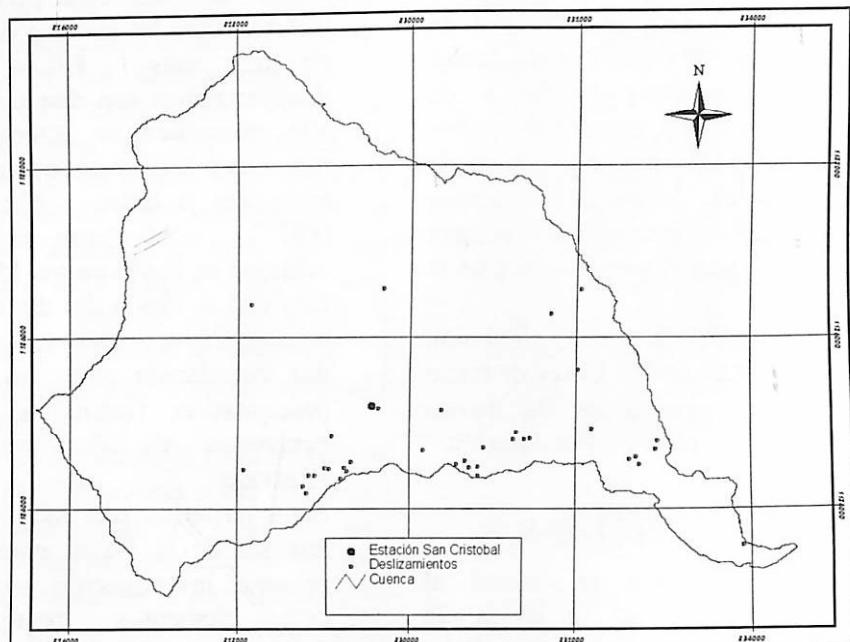


Figura 2. Ubicación de los deslizamientos en la zona de estudio.

En la Figura 3 se presenta el mapa de las formaciones geológicas superficiales de la

cuenca. Como ya se ha mencionado en esta zona predominan el stock de Altavista, los flujos de escombros y los depósitos de anfibolita.

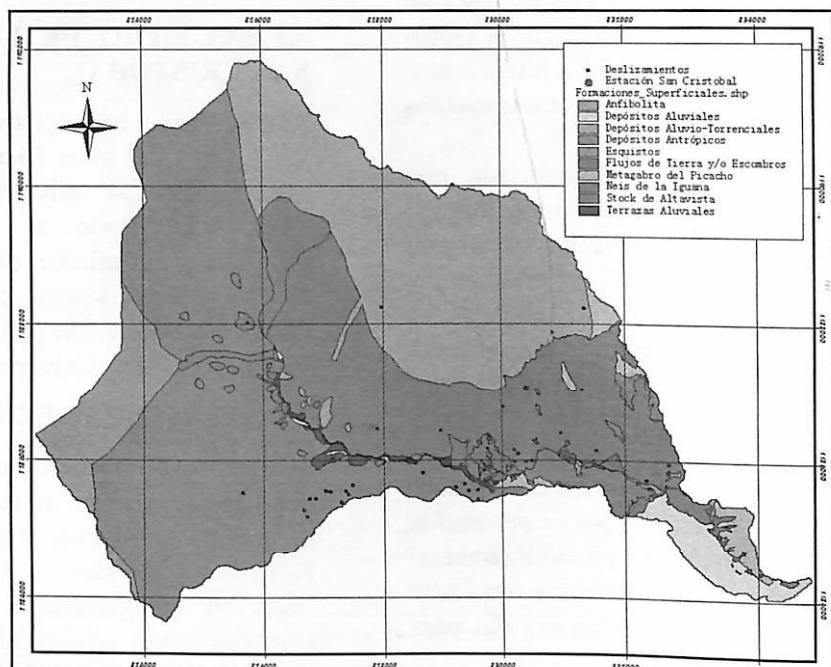


Figura 3. Mapa de formaciones superficiales (fuente Integral S.A.)

La Figura 4 muestra las pendientes de la zona de la cuenca influenciada por los deslizamientos; las pendientes mas frecuentes están en el rango de

12° a 25°, seguidas por inclinaciones de 25° a 35°, presentes estas últimas en el costado sur de la cuenca.

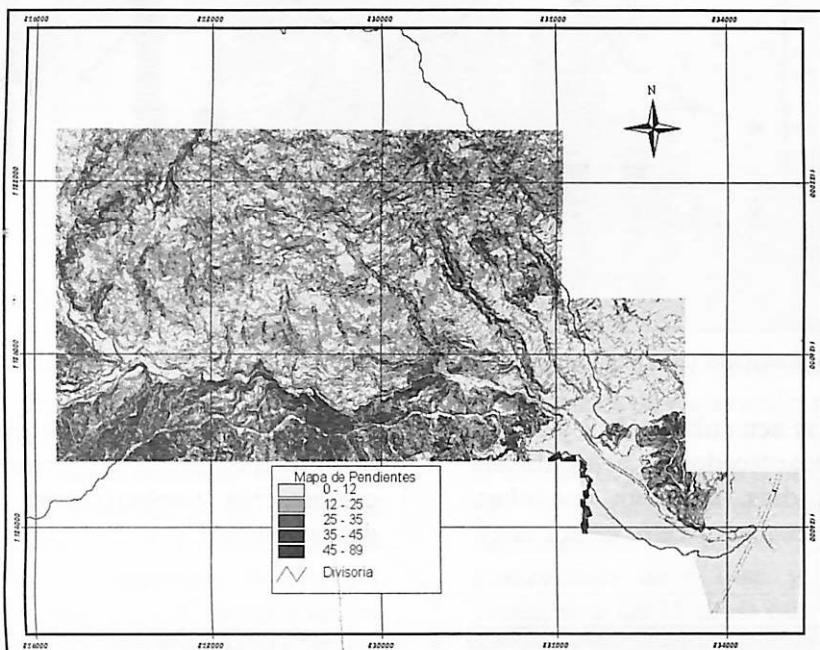


Figura 4. Mapa de pendientes (fuente Postgrado de Recursos Hidráulicos, Universidad Nacional)

5. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Se analizaron los datos de las lluvias y se completaron los registros diarios faltantes. Los registros de lluvia fueron organizados en orden cronológico a partir del año 1970, luego para cada uno de los 40 deslizamientos se contó el número de días acumulados desde el año base (1970) hasta la fecha de ocurrencia del mismo y se obtuvieron combinaciones de lluvias acumuladas de 3, 5, 10 y 15 días antecedentes a la lluvia de 3 días precedente al deslizamiento, con la ayuda de un programa en lenguaje IDL. Todos los deslizamientos disponibles se georreferenciaron a partir de un plano topográfico con origen Bogotá. Estos datos se llevaron al programa ARCVIEW, permitiendo observar que todos los deslizamientos se encontraban dentro de la cuenca de la Quebrada La Iguaná, a una distancia no mayor de 6 km de la estación San Cristóbal; respetando lo

enunciado por otros autores con respecto a la importancia de la variabilidad espacial de la lluvia, en el posterior desencadenamiento de los deslizamientos.

6. ANÁLISIS DE VARIABLES Y RESULTADOS

La distribución de las lluvias muestra una forma bimodal característica, con valores máximos entre abril-mayo y septiembre-noviembre, que coinciden con el mayor número de deslizamientos. En los meses de bajas precipitaciones (meses de verano) como enero, febrero, junio, julio y diciembre no se reportan deslizamientos.

El mes de noviembre es el de mayor número de eventos en 22 años de registro, aunque noviembre es de hecho un mes lluvioso, 16 de los deslizamientos reportados ocurrieron en un solo día y bajo condiciones particulares de precipitación como se explicará más adelante.

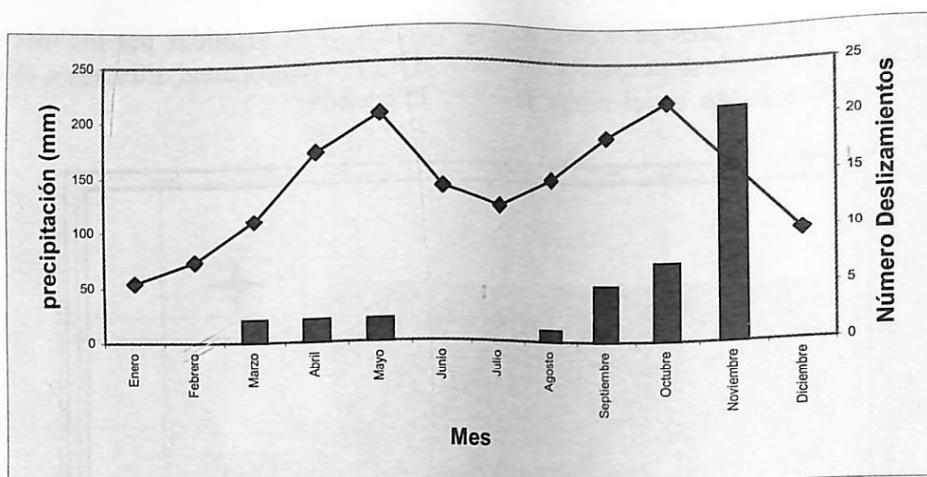


Figura 5. Relación precipitación promedia desde 1970-2001 y número de deslizamientos.

Los análisis de lluvias acumuladas de 3 y 5 días (ver Figuras 6 y 7) antecedentes a las lluvias precedentes de tres días, muestran una clara aglomeración de los resultados entre menor es el

número de días de lluvia acumulada, lo cual no permite definir con precisión razonable la combinación (umbral) para la generación de deslizamientos.

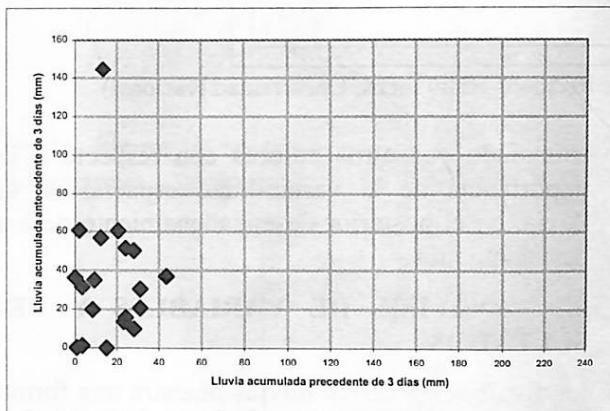


Figura 6. Lluvia acumulada de 3 días.

En la Figura 8, se muestra el análisis para la lluvia acumulada de 10 días. A diferencia del comportamiento descrito anteriormente, se aprecia con mayor claridad la incidencia de la combinación de lluvias en cada uno de los eventos, sin embargo, para las condiciones históricas de precipitación del área, las posibles combinaciones lluvia antecedente y precedente,

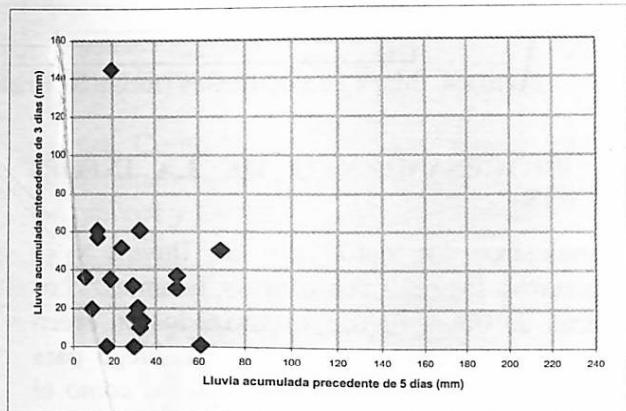


Figura 7. Lluvia acumulada de 5 días

excluyen un apreciable número de deslizamientos (muchos eventos quedarían por debajo del umbral); o de otra manera, si se quiere tener el mayor número de deslizamientos, se tendrían combinaciones de lluvias acumuladas muy bajas y de escasa probabilidad de ocurrencia si se comparan con las condiciones reales medidas en la estación pluviométrica (estación San Cristóbal).

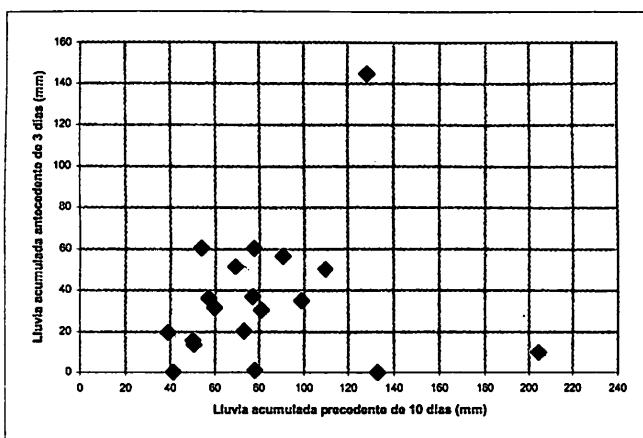


Figura 8. Lluvia acumulada de 10 días.

En la Figura 9 se presenta la relación de lluvia acumulada de 15 días. Como puede observarse, en general, todos los deslizamientos ocurrieron para lluvia acumulada antecedente de 3 días de 60 mm, se aprecia que en dos deslizamientos parece no influir la lluvia acumulada de tres días para que ocurra el evento. Para la mayoría de los deslizamientos parece ser mucho mas importante la lluvia acumulada precedente de 15 días que la lluvias que ocurran en los tres días anteriores al deslizamiento.

Con el objeto de definir la combinación lluvia antecedente de 3 días y lluvia precedente de 15 días de mayor incidencia en los deslizamientos, se realizó un análisis detallado de los meses más lluviosos (mayo y octubre) de los últimos 31 años. Las diversas combinaciones mostraron valores alrededor de 60 mm de lluvia antecedente para tres días (desviación estándar de 20.2) y un valor de 120 mm para la lluvia precedente de 15 días (desviación estándar de 40.9). A partir de esta información se definió un umbral de amenaza al deslizamiento por lluvia, el cual es una recta que une los puntos de 60 mm para lluvia acumulada de 3 días y de 110 mm para lluvia acumulada precedente de 15 días. Valores por debajo de este umbral parecen no generar deslizamientos; solamente dos eventos se encuentran bajo el umbral propuesto que equivalen al 5% de la muestra total (40 eventos);

uno de ellos es un deslizamiento de un botadero de sobrantes de excavación para la adecuación de

la unidad deportiva de San Cristóbal, depósito de por si inestable, y el restante obedece a una combinación de lluvias (20 mm para lluvia antecedente de 3 días y 57 mm para lluvia precedente de 15 días) que difiere notoriamente del comportamiento pluviométrico general de la zona.

Sobre éste gráfico se definieron cuatro zonas de la siguiente manera:

Zona 4: Localizada por debajo de la recta que define el umbral.

Zona 3: Por encima del umbral con un valor límite de 70 mm precedente de 15 días y que no presenta reporte de deslizamientos.

Zona 2: Por encima del umbral y con lluvia precedente entre 70 y 200 mm.

Zona 1: Por encima del umbral y con lluvia precedente mayor de 200 mm. El valor 200 mm generalmente está asociado en la literatura técnica a la generación de eventos catastróficos.

La metodología de análisis planteada ha permitido establecer la siguiente ecuación de amenaza por lluvia:

$$A = y + 0.55x - 60$$

Para:

$$\begin{aligned} 0 \leq x \leq 110 &\Rightarrow A \leq 0 \\ 0 \leq x \leq 110 &\Rightarrow A > 0 \\ 0 < x \leq 200 &\Rightarrow A > 0 \\ 70 < x < 110 &\Rightarrow A > 0 \end{aligned}$$

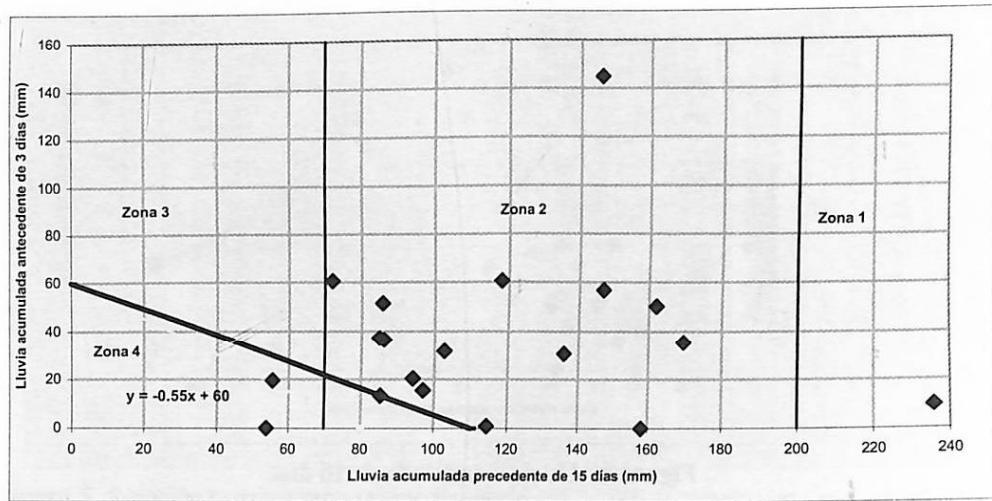


Figura 9. Deslizamientos y lluvia acumulada de 15 días.

El 21 de noviembre de 2001, ocurrieron varios eventos (16) del tipo desgarre superficial (punto de mayor lluvia antecedente de tres días en la Figura 9) que no necesitaron de una acumulación de lluvias precedente para su activación, si no que se generaron por una alta intensidad de lluvia en el día del evento (33.2 mm en una hora). El

análisis de la lluvia horaria de este día ha permitido concluir que los eventos se desencadenaron a la hora de la máxima precipitación (ver Figura 10) y se concentraron en la margen derecha de la quebrada La Iguaná sobre taludes conformados en suelos del stock de Altavista.

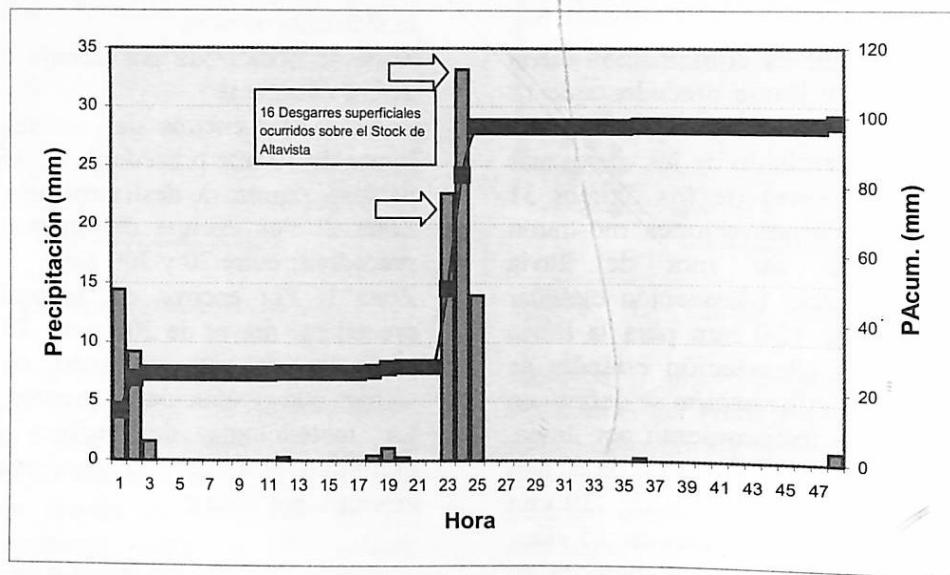


Figura 10. Lluvia acumulada y deslizamientos el 21 y 22 de noviembre de 2001.

Los flujos de tierra son la formación superficial históricamente más susceptible a deslizamientos con un 32.5% del total. Aunque el stock de Altavista presenta un porcentaje mayor de eventos (42.5%), que equivalen a 17

deslizamientos, 16 de ellos ocurrieron en un solo día (21 de noviembre de 2001) y están claramente relacionados con una lluvia torrencial de corta duración, como ya se ha mencionado.

Sobre depósitos aluviotorrenciales se reportaron 4 deslizamientos (10% del total) y 3 sobre anfibolitas (7.5% del total). Sobre las

formaciones neis de La Iguaná, metagabro del Picacho y terraza aluvial se reporta un deslizamiento para cada una de ellas.

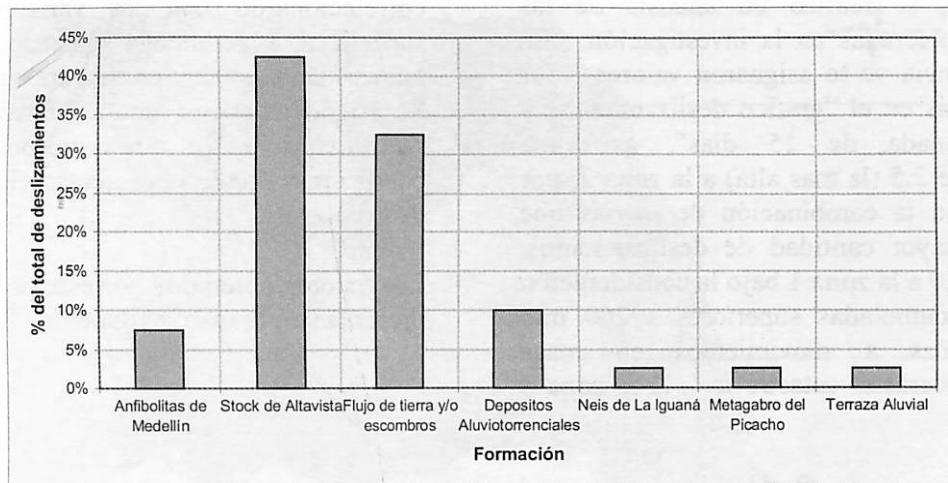


Figura 11. Formación superficial y deslizamientos.

A medida que la pendiente aumenta, los taludes son más susceptibles a los deslizamientos; en general, sobre pendientes entre 12° - 25° se presenta el mayor número de deslizamientos. Sin embargo, una vez se sobrepasan los 25° de

inclinación, la susceptibilidad al movimiento en masa disminuye; este comportamiento es explicable si se tiene en cuenta que las pendientes más pronunciadas están asociadas a formaciones rocosas de gran estabilidad.

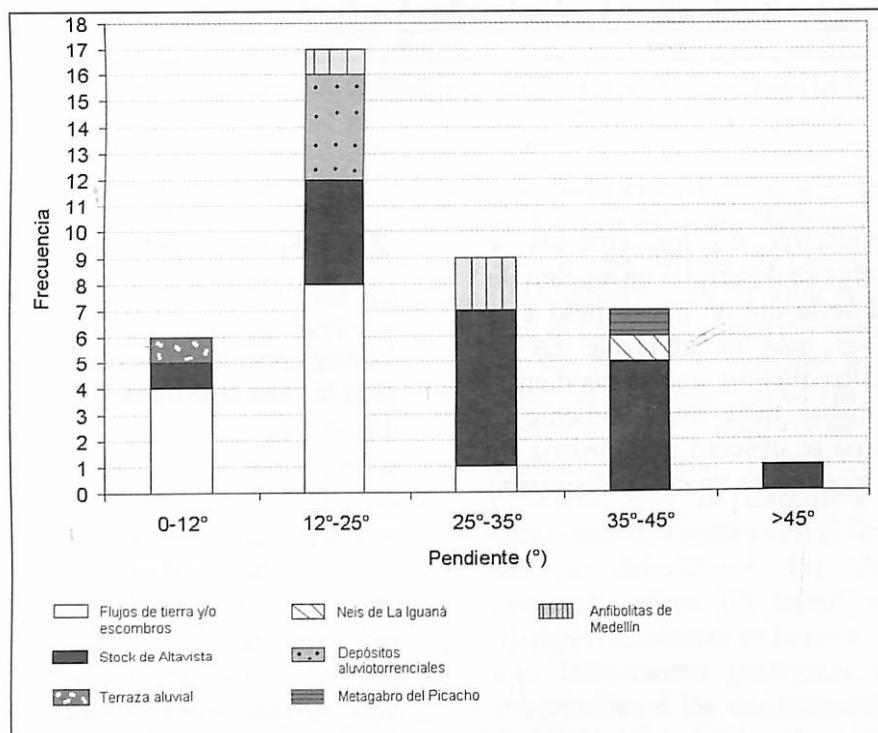


Figura 12. Pendiente del terreno y frecuencia de deslizamientos.

6.1 MATRIZ DE CALIFICACIÓN

Con el objeto de generar el mapa de amenaza por deslizamiento, se realizó un análisis de las variables involucradas en la investigación. En primera instancia se le asignaron valores a las zonas definidas en el “grafico deslizamientos y lluvia acumulada de 15 días”, así: una calificación de 2.5 (la mas alta) a la zona 2, por corresponder a la combinación de lluvias que generan la mayor cantidad de deslizamientos. Un valor de 2.0 a la zona 1 bajo la consideración que lluvias acumuladas superiores a 200 mm están asociadas a movimientos en masa profundos de carácter catastrófico. A la zona 3

se le asignó un valor de 1.5 y a la zona 1 se le dio el valor de 1.0.

Una vez establecidos estos valores se correlacionaron con las variables formación superficial y pendiente, teniendo en cuenta el número de deslizamientos para cada condición. Se asignó entonces, una calificación de 1 a 5, siendo el valor 1 el que corresponde a aquellas condiciones donde se presentan el mayor número de eventos.

Los valores obtenidos por este procedimiento se presentan en la matriz siguiente:

	0°-12°	12°-25°	25°-35°	35°-45°	>45	Total	% del total de la muestra	Calificación
Flujos de tierra y/o esc	9.5	18	2.5			30	31.4	1
Stock de Altavista	2.5	10	15	12.5	2.5	42.5	44.5	2
Anfibolita de Medellín		2.5	5			7.5	7.9	4
Depos. Aluviotorrencial		8.5				9	9.4	3
Neis de La Iguaná				2.5		2.5	2.6	5
Metagabro Píccado				2.5		2.5	2.6	5
Terraza Aluvial	2.5					2.5	2.6	5
Total	14.5	39	22.5	17.5	2.5			
% total de la muestra	15.2	40.8	23.6	18.3	1.6			
Calificación	4	1	2	3	5			

Mediante la aplicación de los criterios y parámetros anteriores se desarrolló un álgebra de mapas, en el cual se le dio un mayor peso a la formación, por ser más determinante en la generación de deslizamientos que la pendiente. Este álgebra de mapas tiene implícitamente la variable lluvia como se observó en la matriz de calificación y el modelo de amenaza resultante es:

$$Z = ((Formación * 0.60) + (Pendiente * 0.40))$$

El mapa resultante de amenaza por deslizamiento para la zona estudiada se observa en la Figura N° 13.

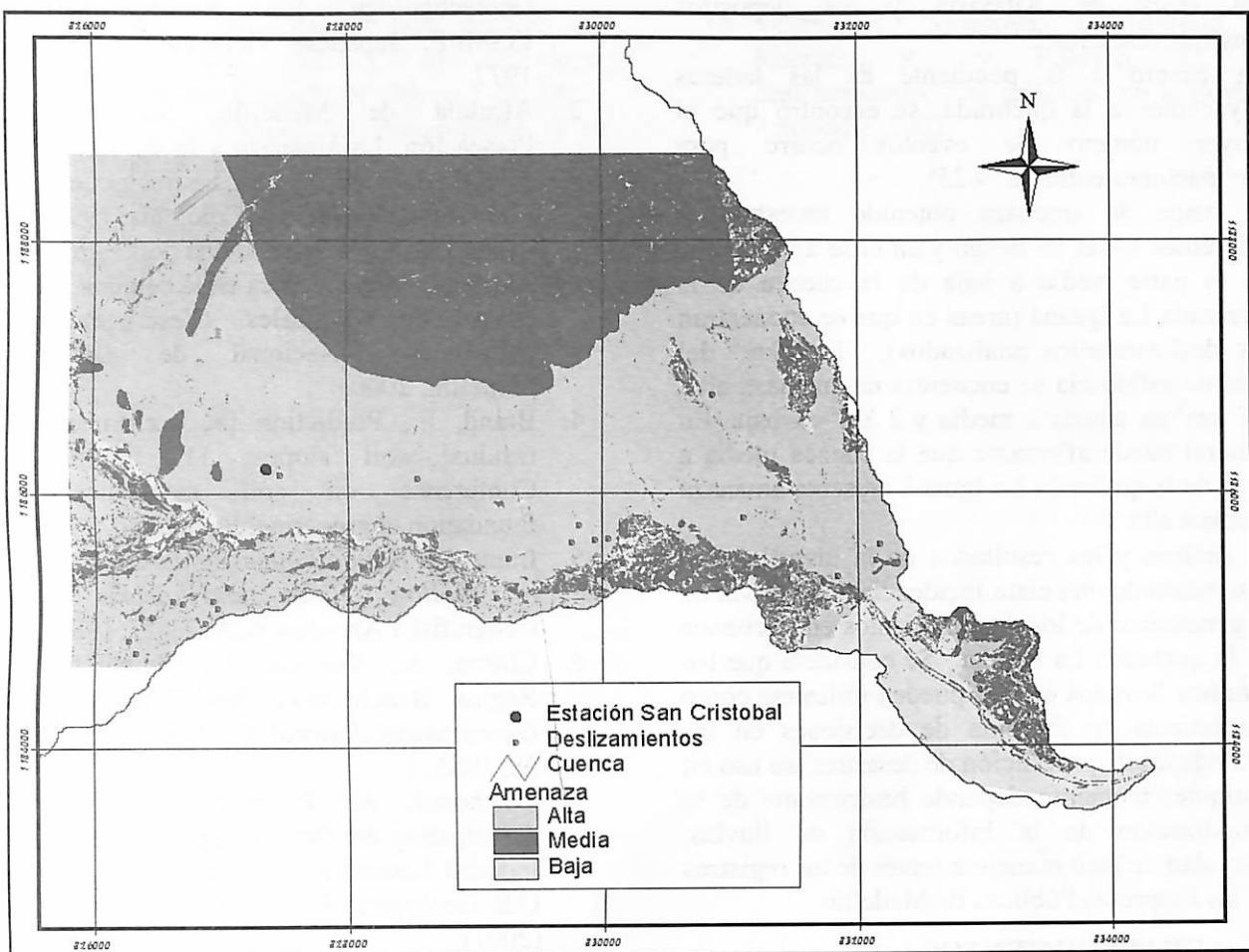


Figura 13. Mapa de amenaza por deslizamiento en la cuenca de la quebrada La Iguaná.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis estadístico de las variables ha mostrado una clara relación entre los períodos lluviosos y la ocurrencia de deslizamientos, destacándose la influencia de las lluvias acumuladas durante 15 días antes del evento como agentes desencadenantes de movimientos en masa; para la zona de estudio, lluvias acumuladas en 15 días mayores de 110 mm propician condiciones de inestabilidad.

Sin embargo, lluvias de alta intensidad y corta duración, como la ocurrida el 21 de noviembre de 2001, pueden ocasionar deslizamientos. Por lo observado estos movimientos son de tipo somero (desgarre superficial) y en el caso

estudiado están ligados directamente al cambio en los usos del suelo (deforestación acelerada). Para los análisis de las lluvias precedentes a los deslizamientos es de vital importancia conocer con la mayor precisión el día del deslizamiento y de ser posible la hora del mismo. Aunque la estación pluviométrica se encuentra cercana a la mayoría de los deslizamientos (en general a menos de 6 km), sería recomendable y más confiable que se dispusiera de una red de estaciones de registro con el fin de minimizar los efectos debidos a los distintos cambios geomorfológicos (el cauce no es recto, por ejemplo) existentes en la zona.

Las formaciones geológicas superficiales más susceptibles a los deslizamientos son los flujos de tierra, seguidos por los depósitos residuales

del stock de Altavista y los depósitos aluviorreniales.

En cuanto a la pendiente de las laderas adyacentes a la quebrada, se encontró que el mayor número de eventos ocurre para inclinaciones entre 12° y 25°.

El mapa de amenaza obtenido muestra las diferentes zonas de riesgo y en él se aprecia que en la parte media a baja de la cuenca de la quebrada La Iguana (áreas en que se encuentran los deslizamientos analizados), 12,9 km² del área de influencia se encuentra en amenaza alta, 7,7 km² en amenaza media y 2 km² en baja. En general puede afirmarse que la cuenca media a baja de la quebrada La Iguaná presenta amenaza media a alta.

El análisis y los resultados de la investigación han mostrado una clara incidencia de la lluvia en la generación de los deslizamientos en la cuenca de la quebrada La Iguaná. Se considera que los estudios llevados a cabo pueden utilizarse como herramienta en la toma de decisiones en las actividades de prevención de desastres; su uso en cualquier momento depende básicamente de la actualización de la información de lluvias, actividad de fácil manejo a través de los registros de las Empresas Públicas de Medellín.

7. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de las siguientes personas y entidades:

Ing. Mario Flórez, Planeación Municipal de Medellín.

Ing. Eduardo Parra, Ingeominas, Medellín.

Ing. Jairo A. Ortiz, EEPMM.

Ing. Patricia Ángel, Integral Ltda.

Ing. Fabián Hoyos P., Universidad Nacional Medellín

Ing. Juan David Montoya, Ing. Remberto Rhenals. Postgrado de Recursos Hidráulicos de la Universidad Nacional Medellín.

8. REFERENCIAS

1. Aboshi, T., *Concentrated rainfall and slope failure*, Manual for Zonation on Areas Susceptible to Rain Induced Slope Failure, Asian Technical Committee on Geotechnology for Natural Hazards, ISSMFE, Japanese Geotechnical Society, 1977.
2. Alcaldía de Medellín, Secretaría de Planeación, La amenaza y la vulnerabilidad en el análisis de riesgos. La microcuenca de la Quebrada La Iguana, Colombia, 1998.
3. Arango, J., Relaciones lluvia deslizamiento y zonificación geotécnica en la comuna 2 de la ciudad de Manizales. (Tesis pregrado), Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 2000.
4. Brand, E., Prediction the performance of residual soil slopes, 11^a International Conference on soil mechanics and foundation engineering, Estocolmo, 1985.
5. Caine, N., *Rainfall intensity-duration control of shallow slides and debris flows*, Geografiska Annalen, 62A, 23-27, 1980.
6. Clifton, A., Yoshida, T., Chursinoff, W. Regina Beach town landslide. *Canadian Geotechnical Journal*. Canada, N° 1: pp 60-68, 1985.
7. Chleborad, A., Preliminary Method for Anticipating the Occurrence of Precipitation-Induced Landslides in Seattle, Washington. U.S. Geological Survey. Tomada de Internet (2001).
8. Gómez, S., Predicción de niveles freáticos a partir de la precipitación y su influencia en la estabilidad de taludes (caso de aplicación en la meseta de Bucaramanga). (Tesis de Maestría), Universidad Nacional de Colombia, Medellín. 1990.
9. Guidicini, G. and Iwasa, O., *Tentative correlation rainfall and landslides in a humid tropical environment*. Bulletin international Association Engineering Geology, Sao Paulo, N° 16: pp 13-20, 1977.
10. Hormaza, M., *Deslizamientos en el Valle de Aburrá*. (Tesis Maestría), Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 1994.
11. Lumb, P., Slope failures in Hong Kong. Quarterly, *Journal of Engineering Geology*, N° 8, pp 31-65, 1975.
12. Sidle, R., Pearce, A., O'Loughlin, C., *Hillslope stability and land use*, American Geophysical Union, Washington, 140 p., 1985.

13. Sterret, R., Groundwater flow systems and systems and stability of a slope, *Groundwater Canada*. N° 20, pp 5-11, 1982.
14. Paz, C. y Torres, A., Precipitación y su influencia sobre algunos deslizamientos ocurridos en las laderas del Valle de Aburrá. (Tesis pregrado), Universidad Nacional de Colombia, Medellín, 1989.
15. Vélez, M., Montoya, J., Moreno, H., Rhenals, R., y Polanco, C. Los deslizamientos y su relación con la lluvia en Antioquia, 2002.