

DETERMINACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS GENERADOS POR EL DESLIZAMIENTO DEL LOTE B DE LA UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, SEDE EL VIVERO, BOGOTÁ, D. C.

Determination of movements generated by the Sliding of lot b of the Distrital University Francisco José de Caldas theadquarters, “The Nursery”, Bogotá D.C.

*Ismael Osorio Baquero*¹, *Omar Francisco Patiño Silva*², *Orlando Riaño Melo*³, *Mauricio Lozano Cuéllar*⁴
^{1,2,3} Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá – Colombia,

⁴ Estudiante Tecnología en Topografía, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá – Colombia

Correspondencia: iosoriob@udistrital.edu.co, ofpatimos@udistrital.edu.co; oriano@udistrital.edu.co; mlozanoc@udistrital.edu.co

Recibido: 20 de agosto de 2012 Aceptado: 24 de noviembre de 2012

Resumen

Se realizó el presente estudio para mostrar los movimientos del deslizamiento ubicado en el lote B de la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Famarena).

Inicialmente se obtuvo información de la zona del deslizamiento: planos topográficos, cartografía existente, estudios de suelos, generalidades de la zona y demás información que ayudara a complementar el objetivo del trabajo. Se efectuó un levantamiento topográfico ubicando doce puntos para el control o monitoreo por medio del diseño de una cuadrícula por el sistema de ordenada y abscisa, con el objeto de tener un control completo del área afectada y generar una gráfica que nos permita definir y visualizar los desplazamientos. Luego se creó un modelo digital del terreno (MDT) para generar una superficie detallada de él y determinar algún cambio con la información obtenida anteriormente.

El control topográfico hecho durante el proyecto permitió definir el comportamiento del terreno y deducir matemáticamente los movimientos de mayor afectación.

Palabras clave: deslizamiento, falla, taludes, pendientes, modelos digitales del terreno, (MDT), asentamientos.

Abstract

With the desire to show the movements of sliding Lot B located in the Faculty of Environment and Natural Resources of the University Francisco José de Caldas was conducted the following study.

Initially getting information from the slide area, such as topographic maps, cartography, soil studies, an overview of the area and other information to help complement the aims of the study was conducted a survey where they were located twelve points for the control or monitoring through the design of a grid system for the orderly and abscissa, in order to make a complete control of the area and generate a graph that allows us to define and visualize the movement.

With this information we performed a digital terrain model to generate a detailed surface area and determine any changes to the information obtained. The topographic control during the project made it possible to define the behavior of the field and mathematically deduce the movements most affected.

Keywords: slip, fails, embankments, slopes, digital terrain models-MDT, settlements.

Introducción

Para deslizamientos de taludes o laderas, es necesario establecer medidas de prevención y control para reducir los niveles de amenaza y riesgo.

Generalmente, los beneficios más importantes desde el punto de vista de reducción de amenazas y riesgos es la prevención, pero a nivel topográfico, es el correcto control del comportamiento presentado por el talud o en dado caso del deslizamiento, realizado de manera objetiva, específica y clara, dado que la información registrada en el control es de vital importancia para la determinación de las medidas y la búsqueda de soluciones a corto, mediano y largo plazo. En el proyecto se realizó un control topográfico con el fin de identificar los desplazamientos que se presentan en la zona de falla del lote B del predio de la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Universidad Distrital Francisco José Caldas, utilizando métodos topográficos de precisión con los cuales los resultados obtenidos sean absolutamente confiables.

Generalidades de la zona

Geología

La geología de los cerros orientales se caracteriza por la presencia de rocas de origen marino y continental, cuyas edades oscilan entre el Cretáceo y el Paleógeno y por depósitos poco consolidados del Pleistoceno al reciente. El Cretáceo está representado, de base a techo, por la Formación Chipaque (Ksch) y por el Grupo Guadalupe. El Paleógeno está representado por la parte superior de la Formación Guaduas (TKgu), la Formación Cacho (Tpc) y la Formación Bogotá (Tpbi, Tpbs). A partir del contacto de la Formación Guaduas con la Formación Cacho ocurren discrepancias que indican el inicio del levantamiento de la Cordillera Oriental de Colombia. Discordante de las rocas del Cretáceo y el Paleógeno, aparecen importantes

depósitos cuaternarios que incluyen depósitos torrenciales y otros depósitos no consolidados.

Suelos

Como consecuencia de las características geológicas, geomorfológicas y climáticas de los cerros orientales, los suelos presentan buen drenaje y notable susceptibilidad a la erosión dadas las condiciones de topografía y pendiente. Los niveles de fertilidad son bajos en la mayor parte de su área debido a su composición química, alta en aluminio, baja en bases totales y pobre en fósforo.

Remoción en masa

En Colombia existen condiciones que favorecen la ocurrencia de fenómenos de remoción en masa, como la abrupta topografía de las cordilleras, la actividad sísmica, su ubicación en la zona tropical y los altos valores de precipitación.

En Bogotá los fenómenos de remoción en masa se presentan a lo largo de los cerros orientales, del sur, de Suba y sus respectivas franjas de piedemonte (localidades de Usaquén, Chapinero, Santa Fe, San Cristóbal, Rafael Uribe Uribe, Usme, Ciudad Bolívar y Suba).

También se tienen diversos sectores sometidos a fenómenos de remoción en masa, estos fenómenos se presentan con diferentes grados de actividad: desde los que han destruido viviendas e infraestructura de servicios públicos, hasta aquellos en los que la amenaza potencial ha sido identificada por medio de estudios¹.

Antecedentes históricos

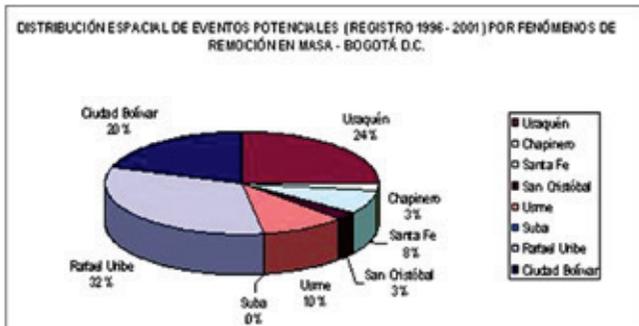
Los deslizamientos son los eventos con mayor recurrencia en Bogotá y se presentan en las localidades de Usaquén,

¹ Dirección de Prevención y Atención de Emergencias, (DPAE) *Remoción de Masas*.

Chapinero, Santa Fe, San Cristóbal, Usme, Suba y Ciudad Bolívar, estos pueden generarse como efecto colateral por sismos e inundaciones.

En la figura 1 se puede observar la representación gráfica de los eventos de remoción en masa que se han registrado en el periodo 1996 – 2001.

Figura 1. Distribución de eventos potenciales por remoción en masa.



Fuente: www.fopae.gov.co.

Descripción geográfica de la zona del proyecto

Ubicación:

Latitud 4° 35' 49.90" N
 Longitud 74° 3' 52.81" W
 Altura 2.510 m

En la figura 2 se puede apreciar la zona del deslizamiento en la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, al costado oriental de la ciudad de Bogotá.

Número de Habitantes. La localidad de Santa Fe en 1993 contaba con 107.044 habitantes, mostrando un cambio muy leve de esa cantidad en 2010 ya que la población es altamente cambiante en el curso de un día por el desplazamiento masivo de ciudadanos al centro de la ciudad para cumplir con actividades cotidianas de trabajo y estudio. En contraste con esta dinámica, la población que habita los sectores residenciales es relativamente estable y las modificaciones en el tiempo son discretas².

² www.localidad de Santa fe de Bogotá.

Figura 2. Ubicación de zona de falla.



Fuente: Google Earth (2010).

Extensión. El área total de la localidad es de 4.487.74 hectáreas, el área urbana es de 662.05 hectáreas, que corresponde al 2.29% del área total de las localidades urbanas de Bogotá. El área rural de la localidad ocupa aproximadamente las dos terceras partes del área total, es decir, parte de lo que se conoce como cerros orientales, la cual comprende la vereda Verjón Alto (2.277 ha) y una vasta área que ha sido declarada como zona de reserva, con (2.338 ha), donde se ubican los santuarios de Monserrate y Guadalupe.

Límites: La localidad de Santa Fe limita al norte con la localidad de Chapinero, al occidente con las localidades de Los Mártires, Teusaquillo y Antonio Nariño, al sur con la localidad de San Cristóbal y al oriente con los cerros que marcan el lindero del distrito capital, los municipios de Choachí y Ubaque. Los límites del área rural, caracterizada por ser reserva forestal, son: por el norte con la avenida El Verjón, por el oriente con los municipios de Choachí y de Ubaque, por el sur la zona forestal de la localidad de San Cristóbal y por el occidente con el área urbana de dicha localidad³.

Hidrografía. Se encuentra entre las cuencas de los ríos San Francisco (1.598 ha) y San Agustín, al norte ocupa gran parte de la cuenca del río Arzobispo (477 ha) y al sur parte de la cuenca de San Cristóbal (2.646 ha). La recorren igualmente las quebradas San Dionisio Norte, Manzanares y los canales de La Perseverancia.

³ www.bogota.gov.co

Orografía. La localidad de Santa Fe abarca desde los cerros orientales, que corresponden estructuralmente al anticlinal de Bogotá, hasta el plano fluvio lacustre, en su parte occidental. Para diferenciar las características geomorfológicas, se han identificado varias unidades con base en topografía tectónica, litología, formaciones superficiales y suelos.

Presenta áreas planas con pendiente menor a 4° y construida por material de origen fluvio lacustre con granulometría especialmente arcillosa, otras con inclinación de 4 a 28° de pendiente construida por arcilla y arenisca diferencialmente meteorizada que localmente representan inestabilidad por su baja cohesión y fácil compresibilidad, y algunas áreas con pendiente mayor a 12° presentan una litología arcillosa alterada, suelos residuales blandos y altamente friables muy afectados por deslizamientos y flujos de lodo.

Riesgos por deslizamientos de tierra. Los fenómenos de inundaciones o deslizamientos de tierra se presentan de forma imprevista en diferentes sitios de la ciudad, y si bien son producto de fenómenos naturales, sus causas también son sociales. Los deslizamientos son producidos por el mal manejo de las aguas lluvias y de las aguas residuales, sumado a la acción antrópica, representada de manera particular por la explotación antitécnica de canteras y chircales en los cerros nororientales y suorientales; otro factor de riesgo es el manejo inadecuado de las aguas ocasionado por vertimientos directos al terreno de aguas servidas y por la generación de aguas, de escorrentía de alto poder erosivo que al entrar en contacto con terrenos de escasa capa vegetal facilita los movimientos de masas de tierra.

Vegetación y fauna. En la zona existen especies como el eucalipto, pino candelabro y retamo espinoso, también gran variedad de especies como frailejones, romero, mortiño, chilco, entre otros. En cuanto a fauna nativa se conoce de la existencia de borugo, gran número de aves y una buena cantidad de insectos.

Climatología. Períodos de lluvia y condiciones secas, precipitación media anual de 1.050 mm en el límite oriental y 1.000 mm en el extremo suroccidental, temperatura promedio de 13.1 °C y humedad relativa del 73% en los meses secos. Esta información climática corresponde a ocho estaciones pluviométricas de la localidad y del observatorio meteorológico nacional.⁴

⁴ Instituto Distrital de Cultura y Turismo, última ficha técnica turística de la Localidad de Santa Fe, 2010.

Pluviometría. Según datos consultados ante el Ideam (Instituto de Estudios Ambientales y Meteorológicos), la precipitación total de Bogotá es de 600 a 800 mm anuales y en el sector de los cerros del oriente de la ciudad es de 800 a 1.000 mm anuales, con altimetría entre 2.400 y 3.100 m. s. n. m. (tabla 1).⁵

Fases del proyecto

La toma de datos, instrumental, método y tolerancia

Cuando se habla de la tolerancia, esta es la que va a marcar las pautas a seguir en la realización del proyecto, por ello la toma de datos está muy influenciada por la precisión. Si se quiere hacer un estudio previo a la realización del proyecto, para tener un conocimiento más completo de la zona y no cometer errores respecto de la escala en la que se pretende realizar el proyecto, es evidente que la toma de datos y toda la información simplificará el trabajo a realizar durante el proyecto. En la figura 3 se aprecia una vista de la zona donde se tomarán los datos de campo.

Figura 3. Zona del Proyecto Universidad Distrital lote B, Sede Vivero



Fuente: Autores.

Comprobaciones de la red de control

Cuando se efectúa el control topográfico de la zona afectada, tanto horizontal como vertical, y para ello se tienen los datos correspondientes a partir de una cierta red de puntos con coordenadas y cotas conocidas, en teoría lo primero que

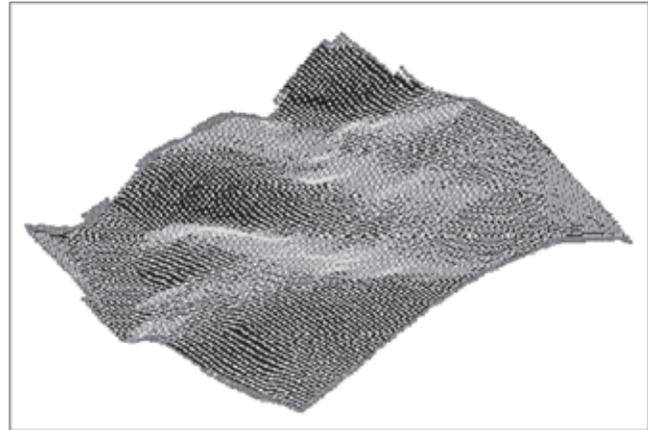
⁵ IDEAM, Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.

se tendría que hacer sería comprobar esa red de puntos. La finalidad es evitar los posibles problemas que una inadecuada observación y cálculo de esta, le pueda acarrear en un futuro. Al tener información de una red ya realizada (una poligonal), conviene revisar las distancias entre las bases y los ángulos que la conforman, para posteriormente calcular las coordenadas y comprobarlas con las suministradas, y así mirar si están dentro de la tolerancia.

Modelos digitales del terreno (MDT)

Los MDT son una categoría de modelos simbólicos que se han desarrollado a través de las nuevas tecnologías; dichos modelos se han definido como un conjunto de datos numéricos que describe la distribución espacial de una característica del territorio, tal y como se aprecia en la figura 4. Para llegar a la elaboración de los modelos digitales es necesario efectuar un proceso de codificación de la información que permita una representación virtual en forma de cifras. Las relaciones espaciales o las características que se desean representar se traducen a diferentes tipos de estructuras numéricas (vectores, matrices, conjuntos, etc.) o a expresiones matemáticas que expresan relaciones topológicas y funcionales.

Figura 4. Ejemplo de modelo digital de un terreno.



Fuente: www.cartesia.org

Metodología

Información Secundaria. Recopilación de la información existente sobre estudios geológicos, redes geodésicas, levantamientos topográficos en la zona afectada o áreas de riesgo, especificaciones de laderas y planos elaborados anteriormente.

Tabla 1. Valores de precipitación.

VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mm)													
Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Var. Anual
2000	102.4	165.5	131.7	127.1						109.0	61.3	17.5	714.5
2001	16.1	94.2	161.6	36.9	74.0	76.5	62.4	55.8	82.5	58.8	118.5	89.0	926.3
2002	62.4	33.3	108.1	192.8	177.2	152.5	52.8	76.3	82.8	95.7	63.7	129.9	1227.5
2003	16.6	64.8	124.6	124.1	38.0	67.0	65.3	52.2	91.6	227.8	184.3	57.0	1113.3
2004	31.8	179.2	56.5	172.1	104.7	139.1	47.0	81.2	45.1	87.0	193.1	54.9	1191.7
2005	49.5	50.7	33.5	93.2	274.8	39.3	36.3	36.5					613.8
2007												180.2	180.2
2008	35.4	107.5	141.0	90.4	207.4	89.0	84.5	97.5	59.1	95.2	245.6	178.0	1430.6
2009	133.6	125.9	151.1	128.7	38.0	58.8	59.2	44.9	31.4	158.5	108.9	43.6	1082.6
2010	28.6	24.7			193.2								246.5
Medios	52.9	94.0	113.5	120.7	138.4	88.9	58.2	63.5	65.4	118.9	139.3	93.8	1147.5
Máximos	133.6	179.2	161.6	192.8	274.8	152.5	84.5	97.5	91.6	227.8	245.6	180.2	274.8
Mínimos	16.1	24.7	33.5	36.9	38.0	39.3	36.3	36.5	31.4	58.8	61.3	17.5	16.1

Fuente: Ideam.

En esta parte se encontró información importante, como aspectos generales de la zona del deslizamiento, detalles e información de otros proyectos relacionados y un plano topográfico general de la facultad.

Registros de precipitación, estación venado de oro: Estos registros de precipitación corresponden a la estación con código 2120558, Venado de oro, del IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), ubicada en la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Universidad Distrital con las siguientes coordenada: latitud $4^{\circ} 35' N$, longitud $74^{\circ} 3' W$ y altura 2.725 m.

Levantamiento topográfico inicial. Se realizó un levantamiento inicial dentro de los predios de la Universidad Distrital en la Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales en el lote B, con el fin de identificar una parte del área de la falla y generar o diseñar una cuadrícula que nos permitiera llevar un control detallado de esta zona a partir de un sistema de ordenadas y abscisas. Esta cuadrícula inicial tuvo un área de 45 m x 60 m, cubriendo una parte de la zona de la falla (figura 5).

Figura 5. Vértice geodésico vivero-8, Universidad Distrital



Fuente: Autores.

Este levantamiento se realizó con una estación Sokia serie SET500 armado en el punto Vivero-8 con coordenadas Norte: 100344.422 y Este: 101332.028, Cota: 2685.776, haciendo ceros al punto UD06-6 con coordenadas Norte: 100286.582 y Este: 101342.972, Cota: 2698.601, tomando puntos de nivel sobre la zona de la falla, puntos en la vía sobre la avenida Circunvalar y otros puntos que nos permitían identificar una parte del área total de la falla.

Levantamiento topográfico en zona de deslizamiento.

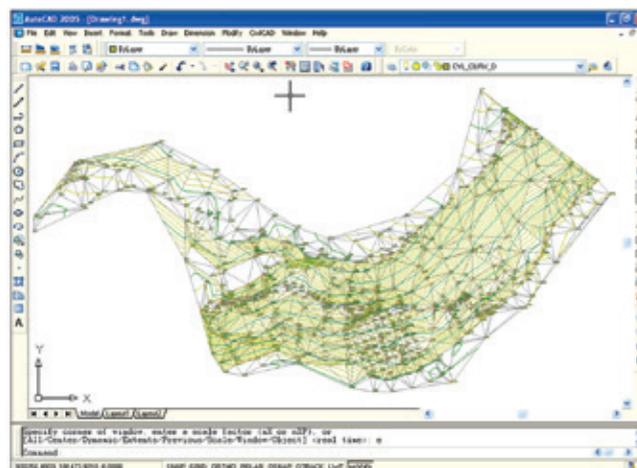
Posteriormente se realizó un levantamiento para la ubicación de los instrumentos a utilizar en el control topográfico, donde se tomaron puntos de nivel y se identificaron senderos, árboles y construcciones cercanas. De esta manera se realizó una cuadrícula de 5 m x 5 m más completa sobre la zona del deslizamiento, con un área de 65 m x 105 m mediante el sistema de abscisas y ordenadas.

Instrumentación. Se localizaron placas de bronce y varillas de longitud aproximada de 3m para realizar el control horizontal y así poder identificar los desplazamientos. Se ubicaron 12 varillas para realizar un control topográfico sobre toda la zona de deslizamiento. Estas varillas se materializaron colocando un andamio y con la ayuda de un mazo de 22 libras se enterraron en varios sectores de la zona a controlar.

Modelo digital del terreno, software Civil Cad

En este proyecto se realizó un modelo digital del terreno con el fin de generar una superficie detallada de la zona del deslizamiento y con ayuda del software Civil Cad se importó la nube de puntos y se generaron las curvas de nivel, realizando la triangulación de la información, tal y como se muestra en la figura 6.

Figura 6. Triangulación de puntos y curvas de nivel en Civil Cad.



Fuente: Autores.

Monitoreo o control topográfico. Se realizó un monitoreo o control topográfico en la zona del deslizamiento

con los instrumentos que se ubicaron, en este caso las varillas que se localizaron en el área de trabajo, para llevar un registro y posteriormente hacer un cálculo de los desplazamientos.

Figura 7. Control topográfico zona de falla.



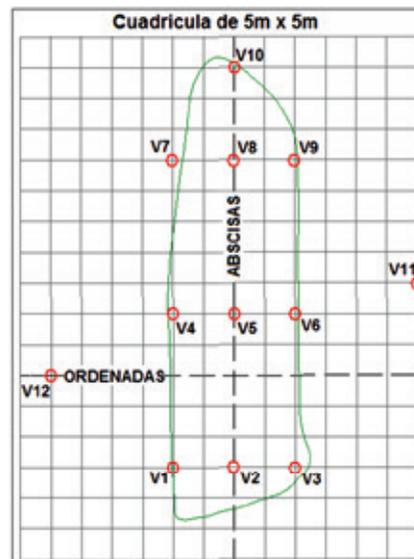
Fuente: Autores.

Se trabajó con una estación Topcon serie GTS-210, armados desde el punto CN1 haciendo ceros al punto NP6-E1 para luego tomar la ordenada y la abscisa de cada punto de control y conocer las diferencias o el desplazamiento siempre con base en el control inicial.

Como se trabajó en el diseño de la cuadrícula mediante el sistema de ordenada y abscisa (figura 7), todos los controles se realizaron de la misma manera; los dos controles iniciales se hicieron haciendo ceros al punto Vivero-8 y luego los

demás al punto NP6-E1 tomando cada punto en orden desde la varilla número 1 hasta la varilla número 12.

Figura 8. Ubicación de los controles.



Fuente: Autores.

Carteras de campo

El proyecto se denomina "Control topográfico del deslizamiento en el lote B de los predios de la Facultad del Medio Ambiente y Recursos Naturales de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas" y fue realizado en campo por Mauricio Lozano Cuéllar y Javier Velandia Gaitán, revisado por el ingeniero Ismael Osorio Baquero, con referencia inicial de los datos como carteras de campo y de control.

Tabla 2. Valores de control inicial.

Control inicial. Fecha: 24/06/09							
Delta	Punto	Altura inst.	Altura prisma	Ángulo Horizontal	Ángulo Vertical	Distancia Horizontal	Distancia Vertical
CN1	VIV-8	1.462	1.496	0° 00' 00"	103° 28' 40"	45.597	-10.928
	V1		0.000	323° 46' 37"	114° 18' 06"	39.314	-17.752
	V2		0.000	309° 13' 15"	118° 05' 05"	36.313	-19.377
	V3		0.000	293° 38' 57"	121° 47' 35"	35.965	-22.293
	V4		0.000	355° 21' 34"	111° 37' 35"	19.506	-7.733
	V5		0.000	329° 14' 28"	123° 53' 31"	12.468	-8.376
	V6		0.000	280° 29' 13"	128° 48' 51"	11.419	-9.186
	V7		0.000	70° 36' 45"	65° 48' 30"	21.212	9.530
	V8		0.000	95° 32' 13"	62° 38' 22"	15.459	8.000
	V9		0.000	134° 10' 33"	65° 23' 19"	14.566	6.673

Fuente: Autores.

Procedimiento: cálculo carteras de campo

Para el cálculo de las carteras de campo se utilizó el software < CRC >, que es un programa de comunicaciones, cálculos y conversión para las estaciones Topcón y en general para la GTS-210 (autores, reporte de coordenadas cartera de campo).

Datos de control topográfico. Desplazamientos en abscisas y ordenadas

Tabla 3. Puntos de control.

Punto	Abscisa	Ordenada
CN01	993,719	1020,851
NP6-E1	1033,976	963,895

Tabla 4. Valores de desplazamiento en primer control.

Varilla	Posición inicial		Control 1. Fecha: 04/07/09					
	Fecha: 24/06/09		Abscisas	Ordenada	Restante	Diferencia	Desplazamiento(mm)	
Nº	Abscisas	Ordenada	Abscisas	Ordenada	Restante	Diferencia	Desplazamiento(mm)	
1	1010,021	985,030	1009,984	985,022	-0,037	-0,008	-37	-8
2	999,989	985,046	999,974	985,020	-0,015	-0,026	-15	-26
3	990,191	985,031	990,150	985,023	-0,041	-0,008	-41	-8
4	1009,928	1009,919	1009,903	1009,918	-0,025	-0,001	-25	-1
5	999,969	1010,012	999,930	1010,023	-0,039	0,011	-39	11
6	990,064	1010,012	990,019	1009,998	-0,045	-0,014	-45	-14
7	1009,693	1034,814	1009,640	1034,786	-0,053	-0,028	-53	-28
8	999,989	1034,964	999,946	1034,934	-0,043	-0,030	-43	-30
9	990,020	1034,900	989,997	1034,891	-0,023	-0,009	-23	-9
10	0	0	998,586	1046,885	0	0	0	0
11	0	0	970,641	1015,339	0	0	0	0
12	0	0	1029,963	999,216	0	0	0	0

Tabla 5. Valores de desplazamiento en segundo control.

Varilla	Fecha: 24/06/09		Control 2. Fecha: 18/07/09					
	Abscisas	Ordenada	Abscisas	Ordenada	Restante	Diferencia	Desplazamiento (mm)	
Nº	Abscisas	Ordenada	Abscisas	Ordenada	Restante	Diferencia	Desplazamiento (mm)	
1	1010,021	985,030	1010,009	984,991	-0,012	-0,039	-12	-39
2	999,989	985,046	999,986	985,000	-0,003	-0,046	-3	-46
3	990,191	985,031	990,157	984,999	-0,034	-0,032	-34	-32
4	1009,928	1009,919	1009,934	1009,898	0,006	-0,021	6	-21
5	999,969	1010,012	999,938	1010,013	-0,031	0,001	-31	1
6	990,064	1010,012	990,021	1009,982	-0,043	-0,030	-43	-30
7	1009,693	1034,814	1009,672	1034,832	-0,021	0,018	-21	18
8	999,989	1034,964	999,960	1034,977	-0,029	0,013	-29	13
9	990,020	1034,900	989,984	1034,948	-0,036	0,048	-36	48
10	998,586	1046,885	998,586	1046,933	0,000	0,048	0	48
11	970,641	1015,339	970,612	1015,325	-0,029	-0,014	-29	-14
12	1029,963	999,216	1029,963	999,218	0,000	0,002	0	2

Tabla 6. Comportamiento de abscisas.

Abscisas										
	04/07/09	18/07/09	25/07/09	01/08/09	08/08/09	15/08/09	14/11/09	21/11/09	13/02/10	26/09/10
1	-0,037	-0,012	0,009	-0,010	-0,014	-0,016	-0,038	-0,017	-0,027	-0,001
2	-0,015	-0,003	0,008	-0,001	0,000	-0,002	-0,013	-0,015	-0,013	-0,013
3	-0,041	-0,034	-0,018	-0,039	-0,033	-0,034	-0,030	-0,030	-0,020	-0,036
4	-0,025	0,006	0,010	0,007	0,006	0,002	-0,020	0,004	-0,021	0,028
5	-0,039	-0,031	-0,020	-0,022	-0,026	-0,026	-0,041	-0,018	-0,037	-0,022
6	-0,045	-0,043	-0,035	-0,045	-0,048	-0,047	-0,034	-0,048	-0,033	-0,049
7	-0,053	-0,021	-0,026	-0,026	-0,025	-0,020	-0,053	-0,028	-0,054	-0,009
8	-0,043	-0,029	-0,031	-0,030	-0,036	-0,028	-0,060	-0,036	-0,052	-0,027
9	-0,023	-0,036	-0,032	-0,032	-0,034	-0,032	-0,037	-0,039	-0,037	-0,048
10	0,000	0,000	-0,003	0,000	0,005	0,001	0,001	-0,002	-0,012	-0,003
11	0,000	-0,029	-0,018	-0,027	-0,025	-0,026	-0,013	-0,045	-0,012	-0,064
12	0,000	0,000	0,040	0,041	0,043	0,036	0,015	0,042	0,016	0,078

Tabla 7. Comportamiento de ordenadas

Ordenadas										
	04/07/09	18/07/09	25/07/09	01/08/09	08/08/09	15/08/09	14/11/09	21/11/09	13/02/10	26/09/10
1	-0,008	-0,039	-0,030	-0,043	-0,037	-0,033	-0,015	-0,021	-0,030	-0,039
2	-0,026	-0,046	-0,049	-0,048	-0,046	-0,047	-0,048	-0,065	-0,023	-0,103
3	-0,008	-0,032	-0,033	-0,036	-0,032	-0,040	-0,012	-0,005	-0,021	-0,041
4	-0,001	-0,021	-0,026	-0,020	-0,025	-0,024	-0,009	-0,001	-0,016	-0,024
5	0,011	0,001	-0,005	-0,008	0,001	-0,001	0,021	0,019	0,048	0,040
6	-0,014	-0,030	-0,028	-0,034	-0,027	-0,030	-0,006	-0,021	-0,005	-0,027
7	-0,028	0,018	0,025	0,016	0,017	0,021	0,012	0,037	0,043	0,067
8	-0,030	0,013	0,015	0,014	0,017	0,015	0,006	0,044	0,041	0,074
9	-0,009	0,048	0,048	0,045	0,046	0,049	0,013	0,055	0,059	0,074
10	0,000	0,048	0,058	0,047	0,044	0,047	0,013	0,064	0,042	0,074
11	0,000	-0,014	-0,016	-0,012	-0,009	-0,011	0,011	0,013	0,032	0,006
12	0,000	0,002	0,011	0,004	-0,010	0,002	0,009	0,029	0,057	0,044

Fuente: Autores.

Datos de precipitación mensual

Estación Venado de Oro

Fuente: Ideam Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).

- El mes que presentó mayor precipitación en 2009 fue octubre.
- El mes que presentó menor precipitación en 2009 fue septiembre.
- La precipitación promedio en 2009 fue de 90.22 mm.
- El valor anual de 2009 es de 1082.60 mm.
- En los registro de precipitación del Ideam en 2010 solo existen datos sobre enero, febrero y mayo.

Análisis de precipitación con desplazamiento

Tabla 8. Precipitación en abscisas

Fecha	01/07/2009	01/08/2009	01/11/2009	01/02/2010	01/09/2010
Precipitación (mm)	59,2	44,9	108,9	24,7	65,4
V1 (m)	-0,020	-0,010	-0,030	-0,027	-0,001
V2 (m)	-0,010	-0,001	-0,014	-0,013	-0,013
V3 (m)	-0,030	-0,035	-0,030	-0,020	-0,036
V4 (m)	-0,003	-0,005	-0,012	-0,021	0,028
V5 (m)	-0,030	-0,025	-0,030	-0,037	-0,002
V6 (m)	-0,041	-0,047	-0,041	-0,033	-0,049
V7 (m)	-0,033	-0,024	-0,041	-0,054	-0,009
V8 (m)	-0,034	-0,031	-0,048	-0,052	-0,027
V9 (m)	-0,030	-0,033	-0,038	-0,037	-0,048
V10 (m)	-0,003	0,003	-0,002	-0,012	-0,003
V11 (m)	-0,023	-0,025	-0,029	-0,012	-0,064
V12 (m)	0,040	0,040	0,036	0,016	0,078

Fuente: Autores.

Análisis de precipitación con desplazamiento

Tabla 9. Precipitación en ordenadas

Fecha	01/07/2009	01/08/2009	01/11/2009	01/02/2010	01/09/2010
Precipitación (mm)	59.2	44.9	108.9	24.7	65.4
V1 (m)	-0.026	-0.037	-0.018	-0.030	-0.039
V2 (m)	-0.040	-0.047	-0.056	-0.023	-0.103
V3 (m)	-0.024	-0.036	-0.008	-0.021	-0.041
V4 (m)	-0.016	-0.023	-0.005	-0.016	-0.024
V5 (m)	0.002	-0.003	0.020	0.048	0.040
V6 (m)	-0.024	-0.030	-0.014	-0.005	-0.027
V7 (m)	0.005	0.018	0.024	0.043	0.067
V8 (m)	-0.001	0.015	0.025	0.041	0.074
V9 (m)	0.029	0.047	0.034	0.059	0.074
V10 (m)	0.035	0.046	0.038	0.042	0.074
V11 (m)	-0.010	-0.011	0.012	0.032	0.006
V12 (m)	0.004	-0.002	0.019	0.057	0.044

Fuente: Autores.

Desplazamiento puntos de control software Surfer 8

Para determinar de una forma gráfica la magnitud y la dirección de los desplazamientos de los puntos de control en la zona de la falla se realizó una matriz (x), (y) y (z), donde (x) es la abscisa, (y) la ordenada y (z) la diferencia entre las abscisas y las ordenadas.

Realización del dibujo con las diferencias entre las abscisas del control inicial y las abscisas del control final mediante el software Surfer

-Migración a Surfer desde la hoja de Excel directamente para ingresar los datos del control inicial.

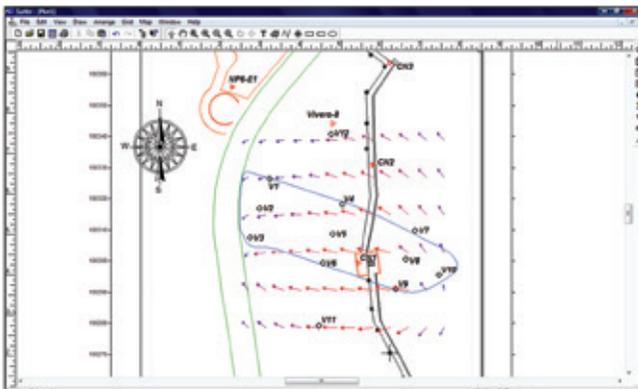
Figura 9. Migración de los puntos al programa Surfer

	A	B	C	D	E	F
1	1009.984	985.022	-0.037			
2	999.974	985.020	-0.015			
3	990.150	985.023	-0.041			
4	1009.903	1009.918	-0.025			
5	999.930	1010.023	-0.039			
6	990.019	1009.998	-0.045			
7	1009.640	1034.786	-0.053			
8	999.946	1034.934	-0.043			
9	989.997	1034.891	-0.023			
10	998.586	1046.885	0.000			
11	970.641	1015.339	-0.029			
12	1029.963	999.216	0.000			
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						

Fuente: Autores.

Puntos con coordenadas reales del último control realizado el 26 de septiembre de 2010 para observar la dirección de los desplazamientos con base en el levantamiento topográfico realizado en la zona del deslizamiento.

Figura 10. Puntos de control con coordenadas reales.



Puntos de control software Surfer

Conclusiones

- El deslizamiento del lote B tiene una cabecera de rotura curva cuyos extremos se encuentran parcialmente destruidos debido a la baja resistencia de los materiales del terreno. El escarpe del terreno es de aproximadamente 21 m de ancho con una diferencia de nivel del suelo de 43 m, resultando una pendiente aproximada de 58.7%.
- La geometría del deslizamiento es de 73.20 m de largo por 21.32 m de ancho, ocupando un área física de 1.407.25 m², siendo el volumen de material transportado pendiente abajo del terreno aproximadamente de 2.000 metros cúbicos.
- Al analizar los cuatro puntos de control que presentaron mayor desplazamiento de forma aislada se determinó un índice máximo de movimiento para los puntos 2 y 12 en un 15%, en el interior del depósito desplazado se observan grietas superficiales de dimensiones variables, mayormente el pie del deslizamiento presenta masa de suelo fisurado, describiendo hundimientos en el terreno en direcciones preferenciales noreste y noroeste.
- El deslizamiento en la parte superior dirección oriente limita con el peatonal de tránsito aproximado de unas 3.000 personas al día, entre estudiantes de la Universidad Distrital, pacientes del hospital Roosevelt y habitantes de la vereda Fátima; el peligro es alto dado que el sendero peatonal al estar en la parte alta del deslizamiento presenta socavación y alto riesgo de accidente.
- El sitio del deslizamiento carece de árboles y vegetación arbustiva; hay existencia de vegetación menor, pero la mayoría de esta ha sido removida hasta el pie de la ladera, invadiendo en algunas ocasiones la vía circunvalar.
- Los factores que motivan este movimiento de ladera se debe a la falta de mantenimiento de las tuberías subterráneas que conducen las aguas de escorrentías provenientes de la parte alta del deslizamiento (suroriente); la tubería arroja su caudal por debajo del material produciendo el deslizamiento; igualmente, este tiene la característica de evolucionar hacia flujo de lodo por el volumen y tipo de material húmedo e inestable disponible en esta ladera, una vez comienza la temporada de lluvias toman mayor fuerza con la época de invierno local.

Tabla 10. Resultados

DESPLAZAMIENTOS							
Control: 24 de Junio de 2009			Control: 26 de Septiembre 2010			Diferencia	
Punto	Norte	Este	Punto	Norte	Este	Norte (m)	Este (m)
V1	100326,373	101311,686	V1	100326,356	101311,564	-0,017	-0,122
V2	100316,886	101308,424	V2	100316,872	101308,261	-0,014	-0,163
V3	100307,631	101305,209	V3	100307,567	101305,119	-0,064	-0,090
V4	100318,154	101335,180	V4	100318,217	101335,101	0,063	-0,079
V5	100308,711	101332,014	V5	100308,730	101331,971	0,020	-0,043
V6	100299,349	101328,778	V6	100299,326	101328,717	-0,023	-0,061
V7	100309,798	101358,632	V7	100309,854	101358,648	0,057	0,016
V8	100300,578	101355,603	V8	100300,608	101355,642	0,030	0,039
V9	100291,177	101352,285	V9	100291,178	101352,341	0,001	0,056
V10	100295,389	101366,423	V10	100295,435	101366,471	0,045	0,047
V11	100279,283	101327,480	V11	100279,200	101327,482	-0,083	0,002
V12	100340,617	101331,619	V12	100340,692	101331,481	0,075	-0,138

Fuente: Autores.

Cuadros de movimientos típicos

En la tabla 11 se presentan los valores en metros de los desplazamientos que se registraron en cada uno de los puntos de control.

Tabla 11. Resumen de desplazamientos

Vectores de desplazamiento						
Punto de control	Desplazamiento		Vector	Azimut		
	Norte	Este		G	M	S
Varilla 1	-0,017	-0,122	0,124	262	4	2
Varilla 2	-0,014	-0,163	0,164	265	5	27
Varilla 3	-0,064	-0,09	0,11	234	34	58
Varilla 4	0,063	-0,079	0,101	308	34	16
Varilla 5	0,02	0,043	0,047	293	50	19
Varilla 6	-0,023	-0,061	0,065	249	20	27
Varilla 7	0,057	0,016	0,059	15	56	43
Varilla 8	0,03	0,039	0,049	52	25	53
Varilla 9	0,001	0,056	0,056	88	58	374
Varilla 10	0,045	0,047	0,066	46	13	8
Varilla 11	-0,083	0,002	0,083	178	37	10
Varilla 12	0,075	-0,138	0,157	298	31	23

Fuente: Autores.

Velocidades de desplazamiento

El control inicial en campo se realizó el 24 de junio de 2009; el control final se llevó a cabo el 26 de septiembre de 2010, y como resultado se tienen las siguientes velocidades.

Tabla 12. Velocidades de desplazamiento

Tiempo (días)	Puntos	Desplazamiento total (m)	Desplazamiento total (%)	Velocidad (m/semana)	Velocidad (mm/semana)
459	V1	0.124	11.40%	0.001891068	1.89
	V2	0.164	15.14%	0.002501089	2.50
	V3	0.110	10.22%	0.00167756	1.68
	V4	0.101	9.35%	0.001540305	1.54
	V5	0.047	4.39%	0.000716776	0.72
	V6	0.065	6.03%	0.000991285	0.99
	V7	0.059	5.48%	0.000899782	0.90
	V8	0.049	4.55%	0.000747277	0.75
	V9	0.056	5.18%	0.000854031	0.85
	V10	0.066	6.02%	0.001006536	1.01
	V11	0.083	7.68%	0.001265795	1.27
	V12	0.157	14.54%	0.002394336	2.39

Fuente: Autores.

Elementos de la zona de falla

Tabla 13. Datos de la zona en estudio

Área de falla	1407.254 m ² aprox.
Longitud de la base a la corona del talud	73.202 metros aprox.
Ancho de la superficie de falla	21.322 metros aprox.
Altura de la base a la corona del talud	43 metros aprox.
Pendiente	58.74% aprox.

Matrices abscisas y ordenadas

Estas matrices corresponden a los datos de abscisas y ordenadas de los diferentes controles, con el fin de determinar la distancia que existe entre cada uno de los puntos; de esta manera conocemos si hay un cambio entre la distancia punto por punto por cada control realizado.

Tabla 14. Matriz de control.

Matriz abscisas, control inicial: junio 24 de 2009									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1010,021								
2	-10,032	999,989							
3	-19,83	-9,798	990,191						
4	-0,093	9,939	19,737	1009,928					
5	-10,052	-0,02	9,778	-9,959	999,969				
6	-19,957	-9,925	-0,127	-19,864	-9,905	990,064			
7	-0,328	9,704	19,502	-0,235	9,724	19,629	1009,693		
8	-10,032	0	9,798	-9,939	0,02	9,925	-9,704	999,989	
9	-20,001	-9,969	-0,171	-19,908	-9,949	-0,044	-19,673	-9,969	990,02

Fuente: Autores.

Tabla 15. Matriz de control

Matriz abscisas, control 1: julio 4 de 2009												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1009,984											
2	-10,01	999,974										
3	-19,834	-9,824	990,15									
4	-0,081	9,929	19,753	1009,903								
5	-10,054	-0,044	9,78	-9,973	999,93							
6	-19,965	-9,955	-0,131	-19,884	-9,911	990,019						
7	-0,344	9,666	19,49	-0,263	9,71	19,621	1009,64					
8	-10,038	-0,028	9,796	-9,957	0,016	9,927	-9,694	999,946				
9	-19,987	-9,977	-0,153	-19,906	-9,933	-0,022	-19,643	-9,949	989,997			
10	-11,398	-1,388	8,436	-11,317	-1,344	8,567	-11,054	-1,36	8,589	998,586		
11	-39,343	-29,333	-19,509	-39,262	-29,289	-19,378	-38,999	-29,305	-19,356	-27,945	970,641	
12	19,979	29,989	39,813	20,06	30,033	39,944	20,323	30,017	39,966	31,377	59,322	1029,963

Fuente: Autores.

Referencias

DPAE, Dirección de Prevención y Atención de Emergencias,
Remoción en Masas.
www.localidad de Santa fe de Bogotá.
www.bogota.gov.co

Instituto Distrital de Cultura y Turismo, ultima ficha técnica
turística de la Localidad de Santafé, 2010.

IDEAM, Instituto de Hidrología, meteorología y estudios
ambientales.

Ángel M. Felicísimo. Modelos Digitales del Terreno 1994.

