



## TREATMENT SYSTEM FOR INDUSTRIAL WASTEWATER OF THE SLAUGHTERHOUSES

### APLICACIÓN DEL MODELAMIENTO CON SIG y GEOSLOPE EN EL DIAGNÓSTICO DE LA AMENAZA POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA, EN EL SO DE LA MESETA DE BUCARAMANGA

Delgado R. J.\* y Rivera S. Mayra \*\*

\*Geol. Jesús Ramón Delgado R. Profesor Asistente, Programa de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Universidad de Pamplona, Tel: 5685303 (ext. 140 ) e-mail: jramondr@unipamplona.edu.co

\*\*Ingeniera Ambiental. Mayra Julieth Rivera Sinuco.  
mayrivera84@hotmail.com

#### ABSTRACT

Taking basic information on lithology, topography, testing geomechanicists, local and regional geology, introduced the input variables into a Geographic Information System, Arcview 3.1, which allowed modeling susceptibility to slip using the infinite slope. This exercise was applied to the micro-basin of the La Guacamaya, south west of the Ciudadela Real de Minas, SE Municipality of Bucaramanga. The analysis resulted in a critical condition for stability to the areas studied, an exercise was conducted detailed in the sections applying established and the method of using Spencer in the Software Geoslope Basic. This identified the sectors that really become critical in the event of occurrence of dynamic events, but critical condition, which allows revalue susceptibility and therefore the threat sector

#### RESUMEN

Tomando información básica de litología, topografía, ensayos geomecánicos, geología local y regional, se introdujeron las variables de entrada en un Sistema de Información geográfica, Arcview 3.1, que permitió modelar la susceptibilidad al deslizamiento utilizando el método del talud infinito. Este ejercicio se aplicó a parte de la micro cuenca de la Quebrada La Guacamaya, al Sur occidente de la Ciudadela Real de minas, SE del Municipio de Bucaramanga. En el análisis se obtuvo como resultado una condición crítica de estabilidad para las zonas estudiadas, por ello se realizó un ejercicio detallado, aplicándolo en secciones establecidas y utilizando el método de Spencer en el Software Geoslope Basic. Con esto se delimitaron los sectores que realmente llegan a ser críticos en caso de ocurrencia de eventos dinámicos, condición mas crítica, lo que permite revalorar la susceptibilidad y por tanto, la amenaza del sector.

#### KEYWORDS

Diagnóstico, Amenaza, Sistema de Información geográfica, Deslizamiento, Suelo, Factor de seguridad.





## INTRODUCCIÓN

En la meseta de Bucaramanga, a través del tiempo, han ocurrido procesos erosivos intensos que han llevado a la formulación de programas de restauración paralelos a la creación de la Corporación para la Defensa de La Meseta de Bucaramanga (CDMB). Durante varios años se han diseñado programas de reforestación y de mitigación ante procesos de remoción en masa, mediante la construcción de pantallas, muros de contención y drenes. La mayor parte de las obras han obedecido más a la necesidad manifiesta que su planeación.

Lo anterior lleva a pensar en la necesidad de trabajar e implementar en un programa de revisión, diagnóstico y actualización de la Amenaza por procesos de Remoción en masa, dado que se observa una relación bidireccional entre los procesos erosivos y los de remoción en masa. Dentro de la gran cantidad de herramientas disponibles se tomaron dos que se consideran complementarias; los sistemas de Información Geográfica y análisis de secciones específicas mediante el Software Geoslope. La primera permite modelar a nivel regional diferentes variables y obtener una primera aproximación con respecto a la susceptibilidad a deslizamientos; mientras que en el segundo se realiza un análisis puntual que permite refinar los resultados obtenidos en el análisis local o regional.

En el modelamiento con SIG se introdujeron valores de los parámetros de resistencia del suelo, cartografía topográfica, unidades litológicas y geológicas, condiciones de sismicidad características de la región. A partir de estos se obtienen los respectivos mapas geológicos, de pendientes y de suelos, los cuales se superponen con un modelo de análisis de talud infinito, obteniendo como resultado un mapa de susceptibilidad al deslizamiento. Con la cartografía topográfica, se seleccionan secciones típicas que representen los sitios relativamente más críticos y se realiza un análisis de susceptibilidad a deslizamiento por el método de Spencer. Los resultados obtenidos en los dos procesos se superponen y se obtiene el mapa

de Amenaza a deslizamiento.

El análisis que acá se presenta corresponde al sector Sur occidental del Escarpe de la Meseta de Bucaramanga, y es claro que requiere ser continuado aplicando nuevas técnicas de modelado en el SIG, refinamiento y mejoramiento de los parámetros de resistencia del suelo, así como del modelo estratigráfico para el sector en que se realice.

Por lo tanto, este documento se considera básico en la continuación de un proceso de investigación no solo del proceso erosivo, sino de los fenómenos de remoción en masa que aún siguen afectando gran parte de la meseta de Bucaramanga.

## 2 DESCRIPCIÓN

### 2.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO

Esta se localiza en el costado Sur occidental de la Ciudadela Real de Minas, SE de Bucaramanga, en lo que se denomina Comuna 8, incluye los barrios Colombia, Cordoncillo I y II, Laureles, San Gerardo I y II, figura 1.

### 2.2 Aspectos generales.

Los barrios mencionados forman parte de las laderas que forman la microcuenca de la Quebrada La Guacamaya. Se han establecido a partir de procesos de invasión, cuya legalización ha permitido la oferta de servicios públicos y el reconocimiento ante los entes públicos. Durante la historia de crecimiento se han presentado deslizamientos, los cuales han sido atendidos por la CDMB y la comunidad.

## 3 METODOLOGÍA

En general se siguieron los siguientes pasos: Obtención de una base de datos de información técnica, elaboración y transcripción a la plataforma SIG de mapas topográficos, geológicos, de zonificación geotécnica, de procesos morfodinámicos; obtención de mapas de pendientes; elaboración de la base de datos geotécnicos e inclusión del algoritmo básico para el análisis en SIG; obtención de mapas de





Figura 1 Localización del área de trabajo

susceptibilidad en condiciones estáticas y dinámicas, simulando diferentes alturas, aceleraciones horizontales y verticales; elaboración de perfiles seleccionados en zonas críticas; elaboración de análisis determinísticos de estabilidad con el software Geoslope Basic; obtención de zonas críticas de susceptibilidad a deslizamiento por el método de Spencer; elaboración de mapas de susceptibilidad; superposición de los mapas de susceptibilidad obtenidos con SIG y los obtenidos con análisis determinístico; elaboración de mapa de amenaza por deslizamientos.

Para la evaluación de la amenaza bajo ambiente SIG, se trabajó con la metodología del DR. C.J. WESTEN, 1994, además se tomó la metodología utilizada por los Ingenieros Suárez Z. y Suárez S., 2006, Fonseca G. y Castro M., 2001. La información geológica, litológica, y geología estructural se basa en las referencias y descripciones realizadas por Ingeominas 2001, 2007; el estudio de Zonificación Sismo geotécnica

indicativa del área metropolitana de Bucaramanga, 1997 Zonificación de Amenazas por Movimientos en Masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga Florida blanca, Girón y CDMB, por Suárez Díaz Jaime, 2006; en el Documento diagnóstico de Amenazas de inundación y erosión en el Río de Oro; Vargas y Niño 1992 Geología y Geotecnia de la Escarpa Noroccidental de la Meseta de Bucaramanga; Evaluación de riesgo por fenómenos de remoción en masa, guía metodológica, Ingeominas 2001.

La determinación de la susceptibilidad por procesos de remoción en masa por deslizamiento se utilizó el método de talud infinito, desde el punto de vista determinístico, Suárez Díaz, 1998, C. J. Van Westen, 1994, otros.

El Método de talud infinito: Evalúa las condiciones en las cuales se presenta una falla paralela a la superficie del talud, a una profundidad somera y en el que la longitud de



la falla es larga comparada con su espesor. Este modelo dimensional describe la estabilidad de la pendiente con un infinito número de posibilidades de fallas en un plano, El Método de Spencer (1967) genera cualquier forma de la superficie de falla, donde hay un equilibrio de Momentos y fuerzas, asume que la inclinación de las fuerzas laterales son las mismas para cada tajada. Rigurosamente satisface el equilibrio estático asumiendo que la fuerza resultante entre tajadas tiene una inclinación constante pero desconocida. Suárez D., 1998

Para conocer los parámetros del suelo se tomaron los datos del proyecto de Álvarez Rangel y León Chacón, 2007 en Evaluación de las Obras de protección geotécnica construidas por la CDMB Y diagnostico general de los taludes en la zona entre los barrios de San Gerardo y Colombia

Para la cartografía se contó con una base topográfica a escala 1:2000, plancha FAL -F21 de 1993.

#### 4 VARIABLES DE ENTRADA.

Como variables de entrada se consideran todos aquellos datos y valores que se introducen en la base de datos del SIG o en el software de modelamiento de análisis de estabilidad.

Se considera como tal, el uso del software arcview 3.1, puesto que al utilizar diferentes versiones permitirán obtener resultados proporcionales a la versión utilizada. La cartografía geológica, Ingeominas 2006, POTB 2001, Vargas 1993; la base topográfica POTB 2001 y planchas CDMB esc 1:2000; mapa de zonificación geotécnica, Microzonificación indicativa de Bucaramanga, 2001; datos de aceleración horizontal y vertical para la zona de Bucaramanga.

Se consideraron condiciones saturadas y secas del terreno, para diferentes alturas de la superficie de falla, 1.5 m, 5 m, 10 m, 15 m, 20 m.

En las tablas 1 y 2 se muestran los valores promedios y mínimos de los parámetros de resistencia introducidos en la base de datos del SIG

Tabla 1 Valores Promedios

	$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$\phi$	C kN/m <sup>2</sup>
Limos Rojos	18.2	21	20.29
Gravoso	20.3	30.9	25

Fuente: Jesús Ramón Delgado Rodríguez, 2006; Rangel y otros, 2007

Tabla 1 Valores Mínimos

	$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$\phi$	C kN/m <sup>2</sup>
Limos Rojos	26.7	16.7	9
Gravoso	25.5	19	11






Fuente: Jesús Ramón Delgado Rodríguez, 2006; Rangel y otros, 2007

#### 5 RESULTADOS

En los mapas de susceptibilidad y amenaza se tomaron los siguientes criterios que definen el grado de susceptibilidad o amenaza, tabla 1.

En las figuras 2, 3 y 4 se puede observar el mapa de susceptibilidad al deslizamiento obtenido con la plataforma SIG, arcview 3.1. En ellas se tienen los resultados para alturas de 1,5 m en condiciones estáticas y dinámicas, saturadas y secas

Tabla 1 Escala de valores de susceptibilidad/ amenaza a partir de F.S.

	AMENAZA	F.S CONDICION DINAMICA	F.S CONDICION ESTATICA
	Muy Alta	0-0,5	0-0,5
	Alta	0,5-1,0	0,5-1,25
	Media	1,0-1,2	1,25-1,5
	Baja	1,2-1,5	1,5-2,0
	Muy Baja	>1,5	>2,0





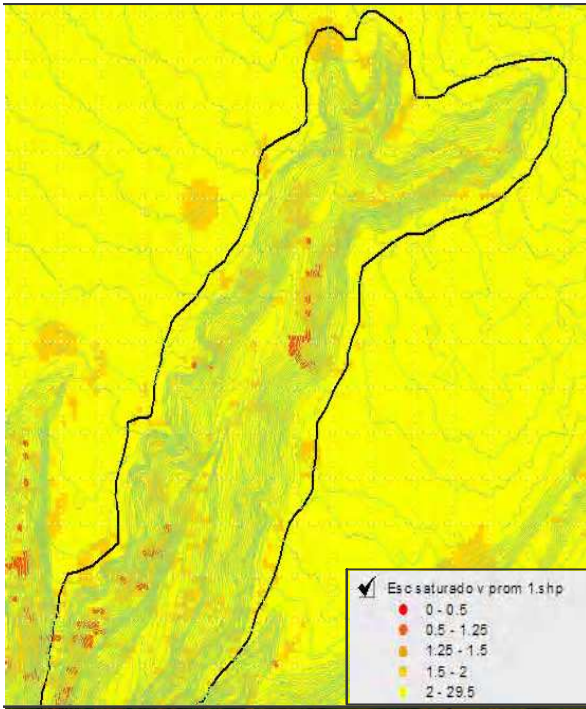


Figura 2 Susceptibilidad al deslizamiento en condiciones saturadas, estáticas, valores promedios de parámetros de resistencia y  $h = 1;5$  m

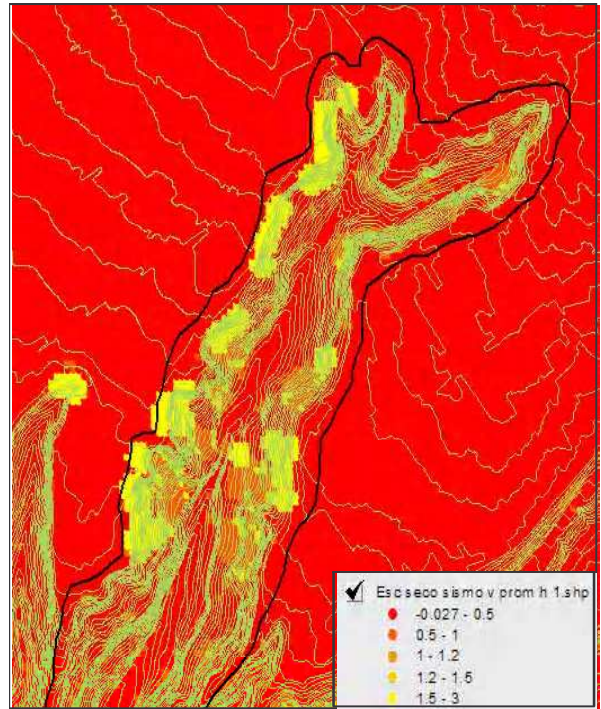


Figura 4 Susceptibilidad al deslizamiento en condiciones secas, dinámicas, valores promedios de parámetros de resistencia y  $h = 1;5$  m

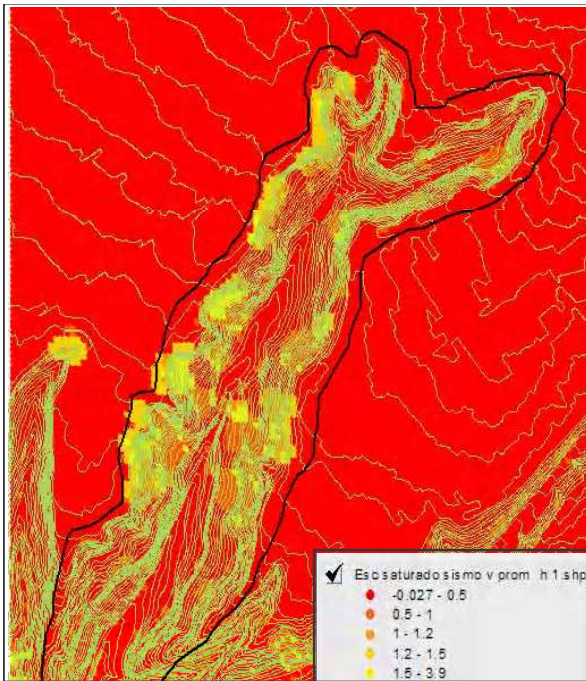


Figura 3 Susceptibilidad al deslizamiento en condiciones saturadas, dinámicas, valores promedios de parámetros de resistencia y  $h = 1,5$  m.

En las figuras 5, 6 y 7 se presentan los resultados obtenidos para una  $h=10$  m en condiciones secas y saturadas, estáticas y dinámicas.

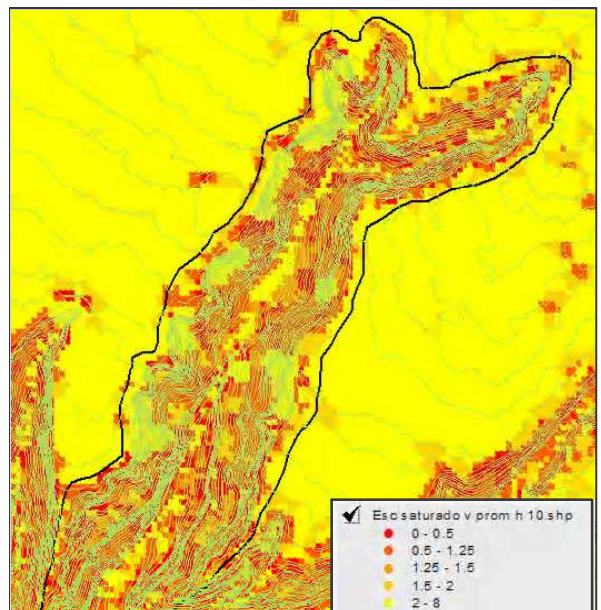


Figura 5 Susceptibilidad al deslizamiento en condiciones saturadas, estáticas, valores promedios de parámetros de resistencia y  $h = 10$  m





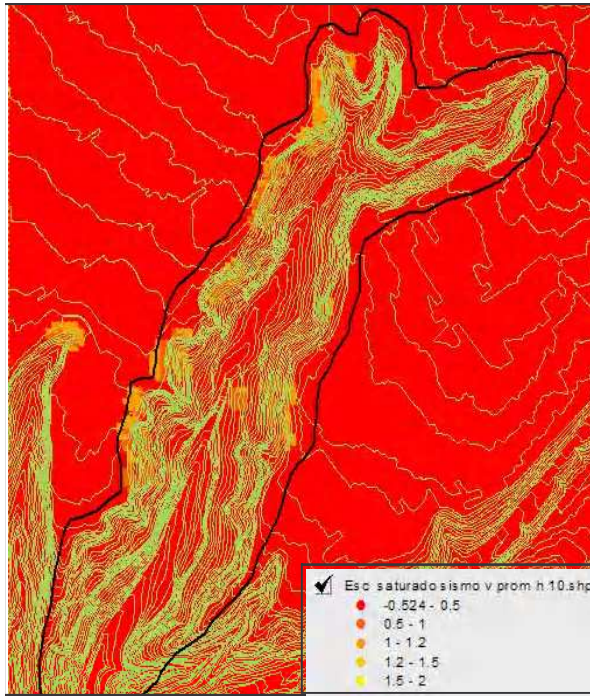


Figura 6 Susceptibilidad al deslizamiento en condiciones saturadas, dinámicas, valores promedios de parámetros de resistencia y h= 10 m

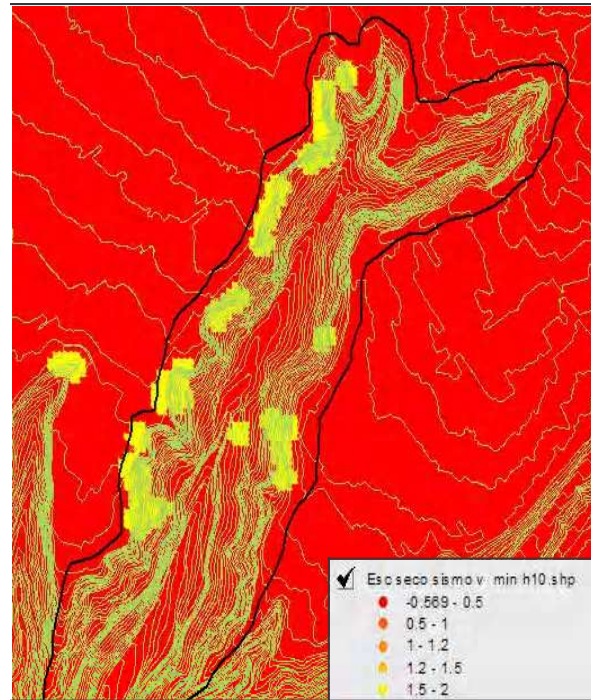


Figura 7 Susceptibilidad al deslizamiento en condiciones secas, dinámicas, valores promedios de parámetros de resistencia y h= 10 m

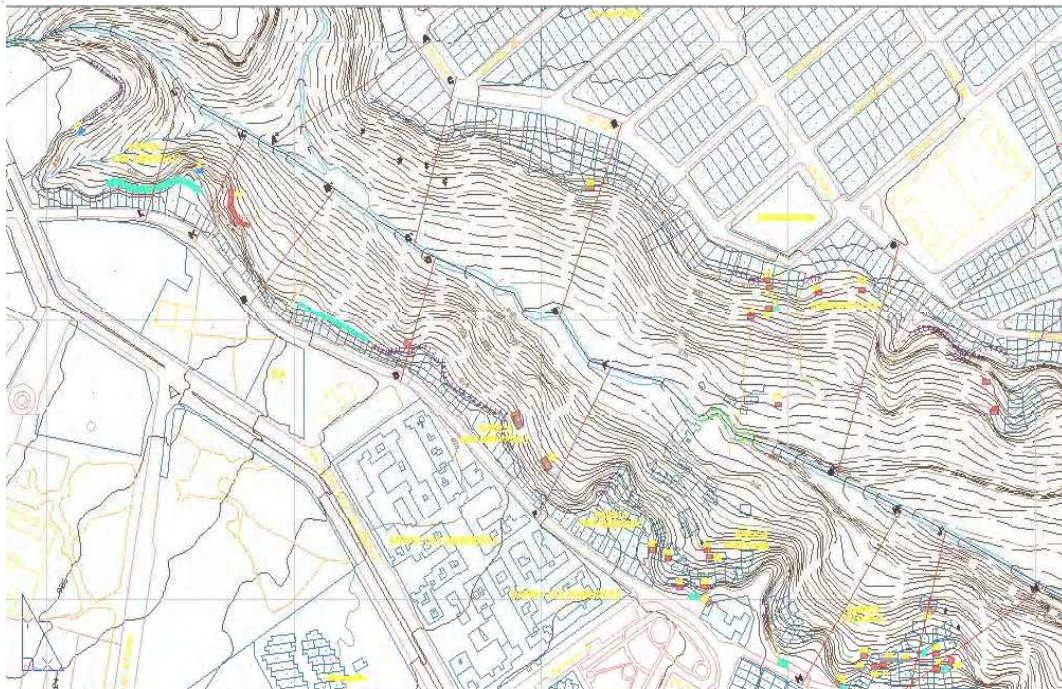


Figura 8 Esquema en el que se alcanza a apreciar la localización de las diferentes secciones transversales, a las cuales se les realizó análisis de estabilidad.



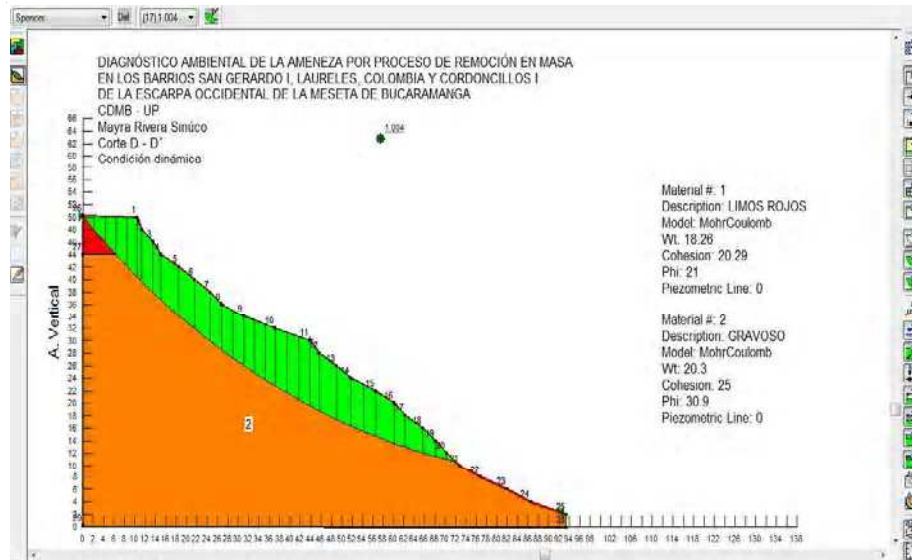


Figura 9 Corte D- D', análisis de estabilidad en condiciones dinámicas

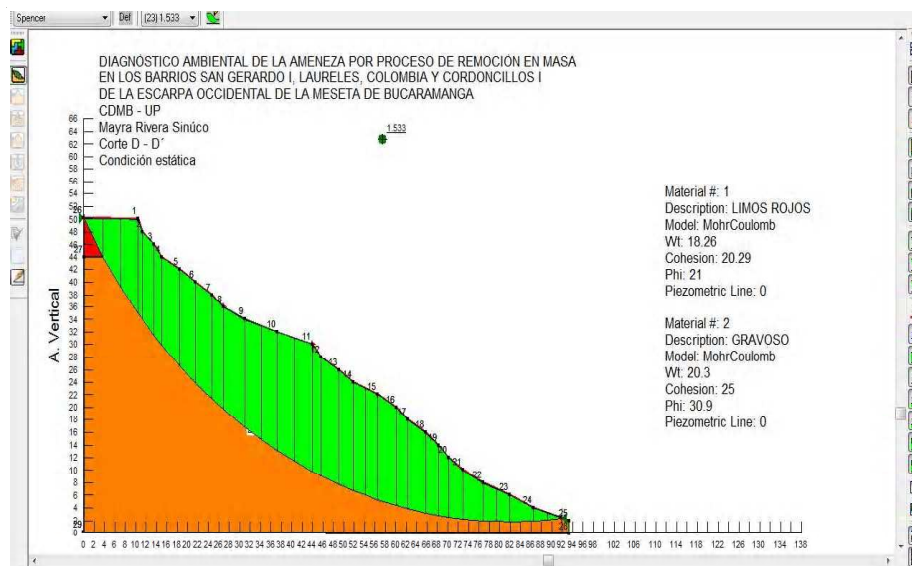


Figura 10 Corte D- D, análisis de estabilidad en condiciones estáticas

De acuerdo a la base topográfica se seleccionaron las secciones transversales que se consideraron más importantes o críticas, figura 8, a partir de las cuales, e introduciendo los valores de parámetros de resistencia adecuados, se modeló la estabilidad por el método de Spencer. Se obtuvieron gráficas como las que se muestran en la figura 9 y 10, para condiciones dinámicas y estáticas.

Se obtuvieron como resultado Factores de

seguridad al deslizamiento para cada una de las secciones elaboradas, tabla 2.

Utilizando los criterios de la tabla 1 y 2; y graficando las zonas consideradas como superficie potencial de deslizamiento, junto con la superposición con los mapas más críticos obtenidos en el análisis con SIG, se llega a la obtención del mapa de susceptibilidad al deslizamiento, figuras 11 y 12.





Tabla 2 Factores de seguridad al deslizamiento, método de Spencer, Geoslope basic 2004

SECCION	CONDICION DINAMICA	CONDICION ESTATICA
A-A	1.353	2.009
B-B	1,219	2,034
C-C	0.951	1.381
D-D	1.004	1.533
E-E	0.987	1.497
F-F	1.115	1.682
G-G	1.048	1.647
H-H	0.874	1.295
J-J'	0.964	1.502
L-L'	1.096	1.662
M-M'	0,943	1,400
2M-2M'	0,77	1,14
K-K'	1,120	1,680

## 6 ANÁLISIS

Se hace evidente que realizar modelar la susceptibilidad al deslizamiento por medio de la plataforma SIG, permite agilizar el trabajo a una escala regional, pero llega a limitar la calidad de la información en la medida en que se utilice una base de datos deficiente o escasa, como ocurre generalmente al buscar disminuir los costos que acarrea la realización de un muestreo y exploración del suelo.

En condiciones estáticas, a diferentes alturas, la susceptibilidad al deslizamiento, talud infinito, tiende a presentar valores relativamente bajos o nulos, mientras que en condiciones dinámicas se obtienen valores aparentemente críticos para todos los sectores en análisis. Sin embargo, no es muy claro que en las zonas planas se tengan que presentar esta condición.

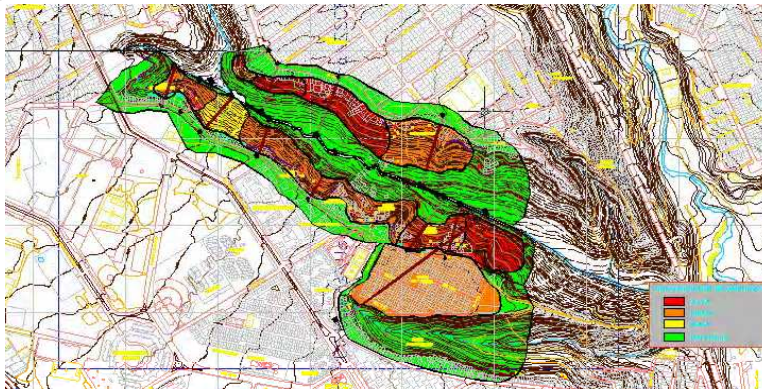


Figura 11 Mapa de susceptibilidad /amenaza al deslizamiento en condiciones Dinámicas.

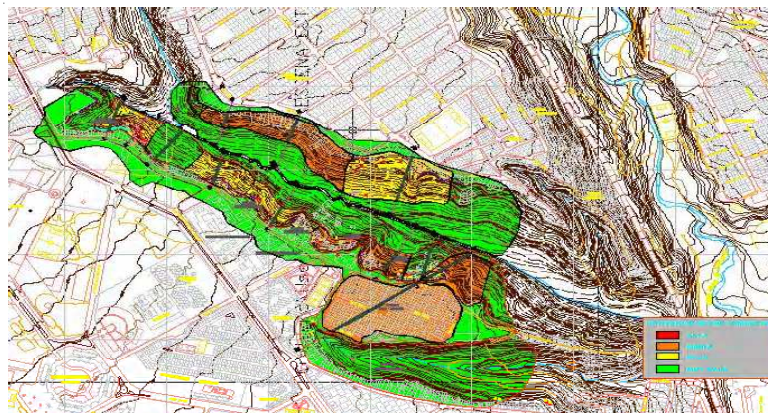


Figura 12 Mapa de susceptibilidad /amenaza al deslizamiento en condiciones estáticas







Por ello, al realizar análisis detallados en las secciones, método de Spencer, se observa que en las zonas planas no se tiene el comportamiento anunciado por el modelo en SIG. Luego, al combinar las dos herramientas podemos realizar un ajuste que permite evitar que se exagere la susceptibilidad y la amenaza al deslizamiento, evitando de esta manera generar sobre costos en diseños de obras, el pánico que puede causar cuando se determina que la zona tiene una alta susceptibilidad o amenaza superior a la que realmente podría encontrarse.

Se evidencia, también, en el modelamiento con SIG, que las obras que se han construido para mitigar eventos en el sector, han contribuido a generar estabilidad en el mismo, lo cual se observa por la disminución de la susceptibilidad en donde ellas se localizan. En las figuras 2 a 6 se distinguen por las pequeñas zonas de color amarillo.

En la figura 11 y 12, evidencian la mayor susceptibilidad al deslizamiento en condiciones dinámicas, la cual, al ser la más crítica se adopta en el caso de toma de decisiones, ya que aunque no vaya a ocurrir frecuentemente, es la que limita el comportamiento de las obras y la resistencia del suelo que las soporta.

Las zonas de susceptibilidad/ amenaza alta, color rojo en las figuras 11 y 12, son indicativas de que los factores de seguridad al deslizamiento en condiciones dinámicas o estáticas son inferiores a los parámetros internacionalmente aceptados, esto es inferiores a 1,5. En estas áreas es conveniente refinar el análisis tomando más información detallada que permita modelar nuevamente y determinar si continúan en esta condición, para así determinar las posibles obras de estabilización a largo plazo.

## 7. CONCLUSIONES

- Muchas de las fallas encontradas en estos sectores se deben a los malos cimientos e inadecuados manejos de las redes de distribución hídrica, esto debido a que las

entidades no llevan un control en la construcción de las viviendas.

- Para realizar el modelamiento de estabilidad se han empleado los siguientes parámetros de resistencia en el suelo: miembro Gravoso, la Cohesión es de 25 kN/m<sup>2</sup>, kN/m<sup>3</sup> Limos Rojos Cohesión es de 20.29 kN/m<sup>2</sup>, kN/m<sup>3</sup>

- Al realizar el modelamiento de la susceptibilidad a deslizamientos por el método de plano infinito y bajo plataforma SIG se obtuvo la susceptibilidad a este tipo de procesos de remoción en masa cuyos resultados indican que en condiciones dinámicas la susceptibilidad es alta en cordoncillos I y Colombia y media en San Gerardo I y II, Laureles; mientras que en condiciones estáticas la amenaza se hace media en San Gerardo II, Cordoncillos I y Colombia y baja en San Gerardo I, laureles.

- Según los resultados obtenidos por sistemas de información Geográfica (SIG), demuestran la problemática que genera la variable sismo ya que en condiciones saturadas y secas, sin importar los parámetros físicos del suelo (cohesión, peso saturado, ángulo de fricción) la susceptibilidad siempre va a estar alta en el sector, incluyendo el área correspondiente a la parte baja de la quebrada la Guacamaya.

- El método de talud infinito, modelado en ambiente SIG, demostró no ser el más pertinente para determinar la susceptibilidad debida a que en la parte alta de las laderas, zonas planas, el resultado continua siendo de alta susceptibilidad, lo cual no es consecuente con la realidad vivida durante todos estos años.

- El análisis de estabilidad y determinación de la susceptibilidad con la aplicación SIG permite obtener resultados a nivel regional de manera más rápida, se involucran las diferentes variables que intervienen en el comportamiento, pero requieren que la toma de datos de entrada, exploración del suelo, sea más rigurosa, dado que las condiciones litológicas, geomecánicas





y geológicas pueden presentar variación lateralmente y en profundidad.

## 8 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Corporación de la Defensa de la Meseta de Bucaramanga por facilitar la información necesaria para llevar a cabo el análisis; y a todas aquellas personas que contribuyeron a su realización.

## 9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCALDÍA MUNICIPAL DE BUCARAMANGA, 2001, Plan de Ordenamiento Territorial. Municipio De Bucaramanga.
- ALVAREZ RANGEL NATALIA, LEON CHACON ANDRES ALBERTO; Evaluación de las obras de protección geotécnica construidas por la CDMB y diagnostico general de los taludes en la zona entre los barrios de San Gerardo y Colombia, 2007
- CARTAYA SCARLET, MENDEZ WILLIAMS, PACHECO HENRY, Modelo de Zonificación de la susceptibilidad a los procesos de remoción en masa a través de un sistema de Información Geográfica, 2006 disponible en <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/339/33912007.pdf>
- DELGADO R. JESÚS RAMÓN, 2006. Informes inéditos para consultoría.
- CORPORACIÓN PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA, 1995, Estudio Ecológico y Ambiental de las Reservas Forestales Protectoras Occidental y de Malpaso de la Meseta de Bucaramanga. Bucaramanga.
- INGENIERÍA DE SUELOS, 1998, Plan Integral de Manejo Distrito de Manejo Integrado de los Recursos Naturales Renovables (DMI) de Bucaramanga.
- INGEOMINAS, 2001, Zonificación Sismogeotécnica Indicativa del área metropolitana de Bucaramanga, Pág. 145 -172
- \_\_\_\_\_, 2001, Evaluación de riesgos por fenómenos de remoción en masa, guía metodologica, Capitulo 4 Pág. 87 - 101
- \_\_\_\_\_, 2002, Catálogo Nacional de Movimientos en Masa, Pág. 9.
- \_\_\_\_\_, 2007, Zonificación de Amenazas por Movimientos en Masa de algunas laderas de los municipios de Bucaramanga Floridablanca, Girón y CDMB, Capitulo 8 Pág. 327.
- NIÑO A. y VARGAS G. 1992, Geología y Geotecnia de la Escarpa Noroccidental de la Meseta de Bucaramanga.
- C. J. Westen, 1994, Boletín De Vías Universidad Nacional De Colombia Sede Manizales, Vol. XXI No 79 1994 Pág. 9 -140.
- \_\_\_\_\_, 1996, zonificación determinística de peligros de deslizamiento.
- Rivera S. Mayra J., 2007, Diagnostico de la amenaza ambiental y definición de alternativas de mitigación en los barrios Colombia, Cordocillos I y II, Laureles y San Gerardo I y II de la escarpa occidental de la meseta de Bucaramanga. Tesis pregrado Ingeniería Ambiental, Universidad de Pamplona.
- SUAREZ DIAZ JAIME, 1992, Manual De Ingeniería, Para El Control De Erosión, Pág.: 7, 14, 121, 164, Profesor Escuela de Ingeniería Civil Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga - Colombia,
- \_\_\_\_\_, 1998, Deslizamientos Y Estabilidad De Taludes En Zonas Tropicales, Profesor Escuela de Ingeniería Civil Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga Colombia, Cáp. 10(Procesos de origen Antrópico); 11(Zonificación de Amenaza y Riesgo).
- SUÁREZ N y SUÁREZ JAVIER, 2006, Caracterización, Análisis y Diagnóstico de los Flujos de Lodos y Detritos en la Cuenca de la Quebrada Angulito en Girón, Santander, capitulo 5 Elaboración de Modelos Digitales, Pág. 165 - 188.
- UNDRO, 1979, Natural disasters and vulnerability analysis. Informe de reunión del grupo de expertos. Ginebra, Oficina del Coordinador de las Naciones Unidas para el Socorro en Casos de Desastre.

