

EVALUACIÓN DE AMENAZAS POR MOVIMIENTOS EN MASA CAUSADOS EN JERICÓ BOYACÁ, DURANTE EL PERÍODO INVERNAL DE 2011

(Threat assessment caused by mass removal in Jericó (Boyacá), during the winter of 2011)

Nebardo Arturo Abril González¹, Edwin Gilberto Amaya Reyes², Héctor Antonio Fonseca Peralta¹

¹Escuela de Ingeniería Geológica, Uptc. Grupo inv. Ingeológica, nebarado.abril@uptc.edu.co, hector.fonseca@uptc.edu.co

²Escuela de Ingeniería Geológica, Uptc. edwin.amaya@uptc.edu.co

(Recibido julio 3 de 2015 y aceptado agosto 30 de 2015)

Resumen:

Durante la fuerte ola invernal del primer semestre del año 2011, se presentaron en el municipio de Jericó, departamento de Boyacá, Colombia, movimientos en masa con consecuencias desastrosas. Intensas lluvias ocasionaron diversos fenómenos de remoción en cinco veredas, de las cuales La Estancia fue afectada por un deslizamiento del terreno que abarcó cerca de 360 hectáreas y produjo la evacuación de muchas familias. Ahora, algunas de ellas han regresado y es preciso establecer el grado de amenaza allí presente. Se han realizado estudios geológicos y geotécnicos para evaluar la condición de estabilidad actual y definir, además, las acciones que conduzcan a la habilitación de la zona para las actividades agrícolas.

Palabras clave: deslizamiento, remoción en masa, estabilidad, geotecnia, SIG.

Abstract:

During the heavy rainy season in the first half of 2011 they were presented in the town of Jericó, Boyacá, Colombia, landslides phenomena with disastrous consequences. Heavy rains caused various phenomena of removal in five villages, of which La Estancia was affected by a landslide that covered about 360 hectares and produced the evacuation of many families. Now, several families have returned and it is required to establish the degree of threat present there. Some geological and geotechnical studies have been made to assess the current level of stability and to define the necessary actions to enable the zone to agricultural activities.

Keywords: landslide, mass removal, stability, geotechnics, SIG.

1. INTRODUCCIÓN

El fenómeno de La Niña de 2010-2011 produjo en algunas regiones del país un incremento en las precipitaciones. En Boyacá, los registros excedieron picos históricos, con efectos devastadores sobre la población vulnerable, tal como sucedió en las veredas La Estancia, Tintoba, Ovejas, Cocubal y Cheva, del municipio de Jericó, población localizada 158 km. al norte de Tunja, capital del

departamento. Allí, como consecuencia de las lluvias intensas producidas entre finales de abril y comienzos de mayo del 2011, se presentaron avenidas torrenciales y grandes deslizamientos, que forzaron la evacuación de alrededor de 200 grupos familiares.

El más devastador de estos eventos se produjo en la vereda La Estancia, donde un movimiento en masa que abarcó una extensión cercana a las 360 hectáreas, des-

truyó las escuelas, las vías y la casi totalidad de las viviendas. Con el paso del tiempo, algunas familias han regresado y se han dedicado a la tarea de recuperar sus parcelas, sin detenerse a medir los riesgos a los que puedan estar expuestas.

Este artículo es una síntesis del estudio realizado con dos propósitos puntuales. El primero, establecer la amenaza por movimientos en masa presente en las veredas afectadas, a escala 1:10000, por el método heurístico, mediante un SIG en la plataforma ARGIS. El segundo, verificar las condiciones de estabilidad del terreno en el sector La Estancia, a escala 1:500 por el método determinístico de Bishop simplificado, definiendo además las acciones necesarias para garantizar la seguridad de los pobladores.

2. ANTECEDENTES

El sector norte de Jericó, en las laderas del río Chitano, ha sido afectado en el pasado por diversos eventos de movimientos en masa, asociados principalmente a períodos lluviosos que coinciden con variabilidades climáticas del fenómeno La Niña. El evento reciente más desastroso, que se encuentra documentado y en el que perdieron la vida varios habitantes de la región, ocurrió en noviembre de 1943, cuando se presentó un movimiento de tierra al este del poblado de Cheva (Zanjón Landínez), el cual ocasionó, además, un represamiento del río Veraguas. Posteriormente, en 1975, hubo un gran represamiento del río Chitano, aguas abajo de Tintoba (La Playa), que elevó considerablemente el nivel base del río y agudizó, desde entonces, los procesos de desestabilización de laderas hacia aguas arriba. En 1999, nuevamente se registra otro represamiento en el río Veraguas, producto de un desprendimiento de tierra del sector Canoas, en límites con el municipio de Chita.

3. DESCRIPCIÓN DEL MOVIMIENTO EN MASA DE LA VEREDA LA ESTANCIA

El movimiento en masa ocurrido en el año 2011 durante la fuerte ola invernal del primer semestre, en la vereda La Estancia del municipio de Jericó, comenzó el 28 de abril de ese año, y cinco días después, el 2 de mayo, ya había afectado la totalidad de la vereda (un área aproximada de 360 ha), destruyendo viviendas, escuelas, carreteras y toda clase de obras en una longitud cercana a los 3 km. Como causas reales asociadas se ha establecido el tipo de materiales presentes (depósito coluvial)

y la susceptibilidad geomórfica (pendientes medias a altas). La causa inmediata o detonante fue el agua de las intensas precipitaciones ocurridas desde la segunda semana de abril. Los factores contribuyentes fueron: el agua proveniente del sistema de riego y el material rocoso caído desde el escarpe de la parte alta.

El fenómeno se ha clasificado como un movimiento en masa tipo complejo, con caída de rocas en la parte alta, deslizamientos rotacionales, traslacionales y compuestos, en la casi totalidad del área afectada y con flujos de lodos en algunos sectores.

4. GEOLOGÍA

Desde una perspectiva regional, el área de Cheva y veredas aledañas del municipio de Jericó en Boyacá, se encuentra en la sección oriental de la cordillera de Los Andes, formada por levantamiento a partir de inversión tectónica, con una geología compleja y un paisaje en evolución (Ingeominas, 1983).

En dicha área afloran rocas del Cretácico Superior y del Cuaternario, que presentan diferentes ambientes de sedimentación, evidenciados en la variabilidad litológica. La secuencia estratigráfica está compuesta de base a techo, de la siguiente manera: por la Formación Chipaque (Ksc), comprendida por lutitas lodosas grisáceas tanto en su miembro superior como en el inferior, mientras que en la parte intermedia muestra calizas lumaquéllicas, limolitas silíceas y calcáreas; por la Formación La Luna (Ksl), cuyas rocas son porcelanitas, lutitas, limolitas silíceas, capas de arenisca de grano fino y calizas con lamelibranchios, chert y fosforita; por la Formación Los Pinos (Kslp), constituida principalmente por lutitas lodosas de color fresco negro grisáceo y un color meteorizado pardo, intercaladas con areniscas de grano fino a muy fino de color gris oscuro y en ocasiones color gris amarillento; y por la Formación Arenisca Tierna (Ksat), compuesta por areniscas de grano fino. Cubriendo discordantemente se encuentran depósitos coluviales de espesor variable constituidos por bloques y cantos en matriz arcillosa. De igual manera, se presentan depósitos aluviales en las márgenes y lecho del río Chitano.

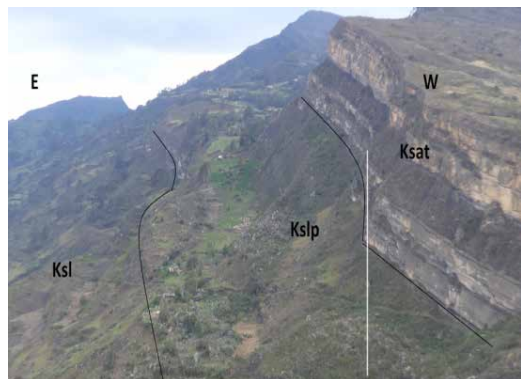


Figura 1. Panorámica formaciones arenisca tierna; Los Pinos y La Luna.

Desde el punto de vista estructural y tectónico, la secuencia sedimentaria se encuentra afectada con pliegues y fallas con dirección preferencial SW-SE. El sistema principal de fallas corresponde a planos de sobrecorrimiento, paralelos a los plegamientos. Un segundo sistema corresponde a fallas direccionales, entre las cuales se resalta la Falla El Bebedero, que atraviesa la zona desplazada de La Estancia, desplaza el bloque rocoso sobre el cual está fundado el caserío de Cheva, desde donde se puede seguir su trazo hacia el sur, coincidiendo con el cauce de la quebrada El Bebedero. Adicionalmente a los desplazamientos, estos sistemas de fallas le imprimen a los macizos rocosos un fracturamiento muy alto, lo cual favorece el desprendimiento y desplazamiento de bloques.

5. GEOMORFOLOGÍA

Se presentan unidades geomorfológicas correspondientes a los ambientes denudacional, estructural y fluvial, prevaleciendo los dos primeros. Las unidades geomorfológicas del ambiente denudacional incluyen las zonas afectadas por los movimientos en masa de las veredas La Estancia, Cheva y el Zanjón Landínez.

Las geoformas del ambiente estructural ocupan los sectores que rodean el área afectada por los movimientos en masa. Hacia el sur se tiene un escarpe rocoso, que ha aportado significativamente material al depósito.

Por su parte, hacia el noroeste de las áreas afectadas por los movimientos en masa, desde el trazo de la Falla El Bebedero hacia el norte, la superficie del terreno coincide con los planos estructurales de la Formación

Chipaque, la cual, en algunos sitios, favoreció el proceso de desestabilización, como es el caso de los movimientos en masa de la vereda Tintoba, donde se observan planos estructurales de caliza que llegan hasta el río Chitano, el cual igualmente se encuentra acosado contra una pared rocosa en su margen derecha (norte).

Las unidades del ambiente fluvial se localizan en los lechos activados de los ríos Chitano, Loblanco y Veraguas. Aguas abajo de Cheva y Tintoba, el río Chitano tiene un amplio depósito aluvial en el sitio denominado La Playa, producto de un represamiento, colmatación de sedimentos y por ende levantamiento del nivel base del río, como consecuencia del gran deslizamiento de 1975.

6. HIDROLOGÍA

Los análisis hidrológicos regionales se realizaron a partir de información hidroclimatológica suministrada por el IDEAM (2014) para la estación Jericó. Los datos mensuales de la estación Jericó muestran que en la zona el régimen de precipitación es bimodal, con períodos de lluvias intensas en abril–mayo y octubre–noviembre. El pico excepcional de lluvias presentadas en los años 2010 y 2011 se muestra en la figura siguiente.

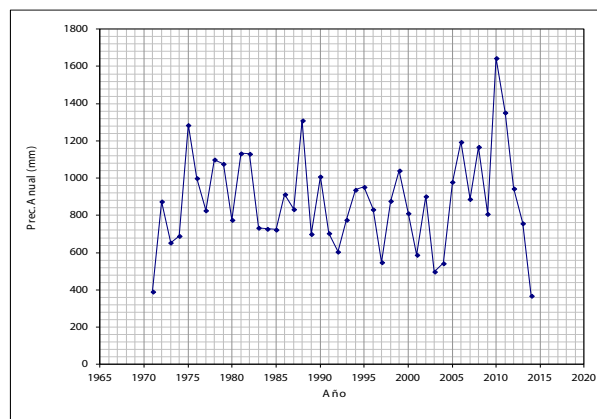


Figura 2. Variación anual de la precipitación media anual- Jericó.

Fuente: IDEAM (2014).

7. ACTIVIDADES DESARROLLADAS

Los trabajos de campo incluyeron los levantamientos geológicos y geomorfológicos, el levantamiento topográfico, la exploración geofísica con 15 líneas tomográficas, y la exploración del subsuelo mediante tres son-

deos mecánicos de 10 metros de profundidad cada uno y 7 sondeos manuales con profundidades cercanas a los seis metros, con muestreo para los correspondientes ensayos de caracterización física y mecánica.

8. ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS

8.1 Generalidades

La zonificación de amenazas por fenómenos de remoción en masa, cubrió las veredas de Cheva, La Estancia, Tintoba, Ovejeras y Cocubal, en un área aproximada de 2500 hectáreas. Se aplicó para ello el método heurístico propuesto por Ramírez y González en 1989 (citados por Vargas, 1999), (González, 2000), (Ingeominas, 2001), modificado por González (2003), el cual se basa en la aplicación de “pesos” o “valores” a cada uno de los parámetros internos y externos que condicionan la dinámica del terreno. Con esta puntuación se identifican las zonas de baja, media y alta susceptibilidad por cada variable, cuya sumatoria define las áreas de estabilidad, dependiendo de los valores mínimos o máximos establecidos según la metodología o criterio evaluados por el autor (Vargas, 1999).

Se utiliza como base de zonificación el método de ecuaciones del sistema semicuantitativo de evaluación de estabilidad de zonas homogéneas (SES) para su uso en sistemas de información geográfica (SIG) (González, 2006). En la Tabla 1 se ilustran los parámetros que consideran el método, sus valores máximos y los factores condicionantes de la puntuación asignada.

Para determinar el mapa de amenazas se realiza la sumatoria de cada uno de los parámetros que condicionan el terreno, y luego se divide esta calificación en diferentes zonas de estabilidad desde muy baja hasta muy alta.

$CE = M + R + D + V + E + C + S + A = \text{Mapa Amenaza}$

Tabla 1. Parámetros de evaluación.

Parámetro		Símbolo y valor máximo	Factores
Material	Roca	M/50	Tipo de material rocoso. Condición de fracturamiento
	Intermedio		Tipo de material intermedio. Influencia de las estructuras
	Suelo		Tipo de suelo. Condición in-situ
Relieve		R/44	Pendiente. Forma de perfil longitudinal
Drenaje		D/35	Densidad de drenaje. Pendiente promedio de cauces
Erosión		E/35	Tipo de erosión
Clima		C/40	Precipitación
Vegetación		V/32	Pendiente. Tipo de vegetación
Sismicidad		S/24	Amenaza sísmica. Tipo de material
Factor Antrópico		A/40	Factor Antrópico

Fuente: Ramírez & González (1989), citados por Vargas (1999).

8.2 Resultados de la zonificación de amenazas por fenómenos de remoción en masa

Después de evaluar uno a uno los diferentes parámetros, y de relacionar la susceptibilidad de las laderas a los fenómenos de remoción en masa y los factores detonantes, se calcula el valor de CE (calificación de estabilidad).

El poblado de Cheva presenta una amenaza baja a moderada, mientras en Tintoba el grado de amenaza es alto, a causa de los procesos geodinámicos que inciden en el sector. El sector La Ovejera tiene un grado de estabilidad alta a moderada, a pesar de la cobertura vegetal que protege el terreno de los procesos erosivos. El sector El Cocubal manifiesta un grado de amenaza alta a moderada, debido al desprendimiento de material de la loma El Tambor. La Estancia registra un grado de amenaza moderado a alto, por el tipo de material inconsolidado, la cobertura vegetal en proceso de desarrollo y por los antecedentes de inestabilidad. En la Tabla 2 y en la Figura 3 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 2. Amenaza por movimientos en masa.

CALIFICACIÓN	RANGO	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE (%)
Muy alta (1)	<100	188,86	7,60
Alta (2)	100 - 130	649,64	26,10
Moderada (3)	130 - 160	1007,99	40,59
Baja (4)	160 - 190	589,73	23,75
Muy baja (5)	> 190	46,78	1,88
Total		2500,00	100

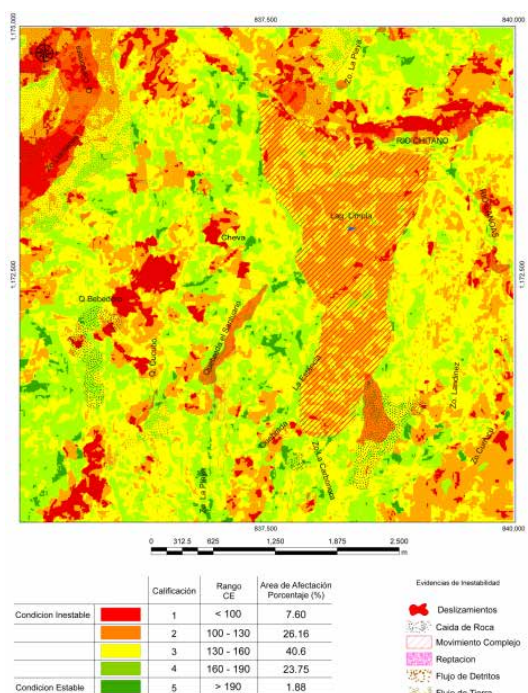


Figura 3. Mapa de zonificación de amenaza relativa por fenómenos de remoción en masa.

9. ZONIFICACIÓN PARA ESTUDIO DEL SECTOR LA ESTANCIA

Por tratarse de la zona que resultó más afectada por los fenómenos de remoción en masa, y considerando que algunas familias han regresado a sus parcelas, a pesar del riesgo existente, un objetivo del estudio es establecer las condiciones de estabilidad presentes en la vereda La Estancia. Para este propósito se dividió el área en tres zonas, alta, media y baja, diferenciadas en razón de su topografía, sus rasgos geomorfológicos y el tipo y condición de los materiales presentes, resultado que se presenta en la Figura 4. Esta sectorización sirve además para definir el tratamiento adecuado para la recupera-

ción de cada sector de manera puntual y en general de toda el área.

La *zona alta* la componen la *zona alta superior*, que corresponde a un terreno de pendiente media a alta, donde se observa buena cantidad de rocas sueltas con tamaños entre 40 cm. y 2.0 m., esparcidas en un área aproximada de 10 ha. Abajo está la *zona alta inferior*, de pendiente media y que consiste en una superficie muy agrietada, con montículos, oquedades y bloques esparcidos por toda el área, cuyo tamaño está entre 30 cm. y 1m.



Figura 4. Panorámica de la zona afectada por el movimiento en masa, vereda La Estancia, con los sectores definidos para la evaluación geotécnica.

La *zona media* comprende tres subzonas: la *zona media superior* con pendiente entre media y baja, es un terreno con pocas grietas, donde la cobertura vegetal surgida naturalmente cubre el 50 % del área, y un 20 % del área ya es aprovechado para uso agrícola. En esta zona se formaron durante el FRM tres lagunillas, cuya aparición se asocia a una barrera rocosa que retiene el agua infiltrada desde la parte alta. Como *zona media intermedia* se ha definido una pequeña área donde aflora el macizo rocoso referido antes, y que fue el único sector no desplazado durante el fenómeno de remoción en masa (FRM). La *zona media inferior* corresponde a un sector de cerca de 100 ha, con pendiente entre baja y media, donde los lugareños han retomado las actividades agrícolas. En la parte baja de esta subzona se encuentra un espejo de agua, denominado laguna limpia; a continuación se encuentra una pequeña faja de terreno en contrapendiente, asociada con la falla de El Bebedero. En este sector se acumularon las ruinas de las viviendas y demás materiales transportados durante el FRM.

La *zona baja* corresponde a un sector de pendiente media a baja, a donde llegaron materiales finos saturados, que fueron esparcidos a manera de conos de deyección. Esta área fue prontamente recuperada para actividades agrícolas.

10. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL SECTOR LA ESTANCIA

Se efectuó el análisis de estabilidad de un perfil localizado hacia la parte baja de la zona media superior, por tratarse de un sector habitado, de pendiente media, y por encontrarse abajo de las lagunillas que se formaron durante el movimiento en masa.

10.1 Modelo geotécnico

El modelo geotécnico está conformado por el perfil del terreno y los distintos estratos con sus propiedades físicas (peso unitario γ) y mecánicas (cohesión C y ángulo de resistencia al corte Φ). En la Figura 5 se puede observar la geometría del modelo, y en la Tabla 3, sus características físicas y los parámetros de resistencia de cada estrato.

Tabla 3. Parámetros geotécnicos del perfil modelado.

COLOR	MATERIAL	PESO UNITARIO	PARÁMETROS
	CL	Seco = 20 Kn/m ³ Saturado = 22 Kn/m ³	$C = 37 \text{ Kpa}$ $\phi = 34^\circ$
	ML	Seco = 20 Kn/m ³ Saturado = 22 Kn/m ³	$C = 150 \text{ Kpa}$ $\phi = 0^\circ$
	GC	Seco = 22 Kn/m ³ Saturado = 23 Kn/m ³	$C = 0$ $\phi = 35^\circ$
	BASAMENTO	Seco = 24 Kn/m ³ Saturado = 26 Kn/m ³	$C = 0$ $\phi = 40^\circ$

10.2 Análisis de estabilidad

Entre los diferentes criterios para análisis de estabilidad de taludes, el de mayor aceptación es el criterio de equilibrio límite, consistente en relacionar las fuerzas resistentes, con las fuerzas actuantes, mediante un parámetro conocido como factor de seguridad, a su vez inverso a la probabilidad de falla. La modelación efectuada para un perfil seleccionado de la zona media intermedia, consistió en determinar el factor de seguridad, por el método de equilibrio límite de fuerzas y momentos de Bishop para falla circular (Rocscience, 2003).

Como una muestra de la modelación se presenta la Figura 5 con los resultados del análisis de estabilidad en condición estática, suponiendo saturación plena (tabla de agua a nivel superficial). Para este caso, el factor de seguridad es igual a 1.65, que significa poca probabilidad de falla del talud en esta eventual situación.

Otras condiciones de modelación fueron aplicadas, entre las que se destacan el análisis pseudoestático, que es una aproximación al caso en que un sismo importante ocurra en la región, y también el análisis del talud en presencia de sobrecargas producto, por ejemplo, de desplazamientos del terreno de las zonas altas adyacentes; los resultados de las distintas situaciones evaluadas se consignan en la Tabla 4.

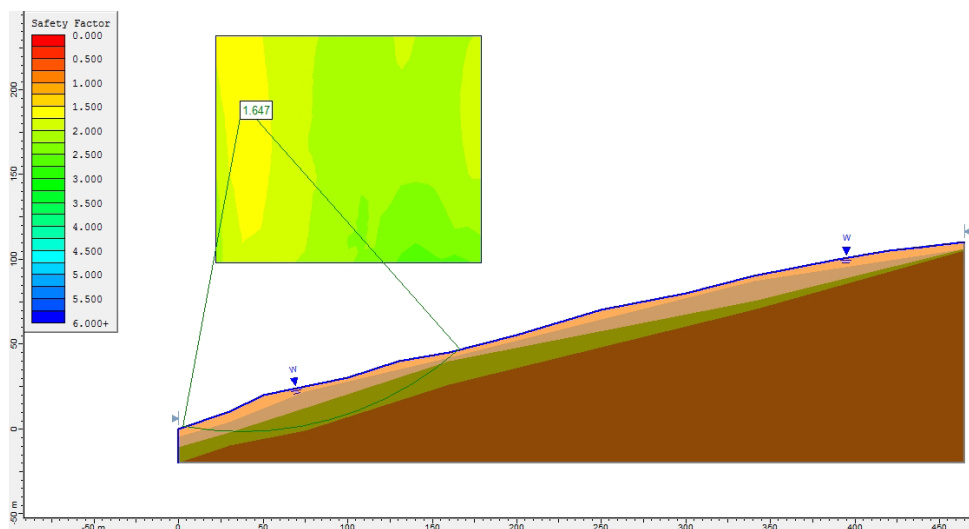


Figura 5. Resultado del análisis de estabilidad en condición de saturación plena. Se distinguen los estratos del subsuelo y el factor de seguridad.

10.3 Resultados obtenidos de la modelación

La Tabla 4 resume los resultados obtenidos en la modelación del equilibrio del talud considerado, en los diferentes escenarios planteados.

De la modelación se puede concluir lo siguiente:

- De mantenerse las condiciones actuales, la probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa para la zona media del sector La Estancia es muy baja, de acuerdo con el factor de seguridad obtenido, igual a 2.63.
- Para saturación plena, es decir, con tabla de agua superficial, se obtuvo un factor de seguridad de 1.66 en condición estática y de 0.84 para el análisis pseudoestático. Esto último indica que si coincidieran un sismo y saturación del terreno se presentaría la falla, situación que aunque poco probable, no puede descartarse. También se corrió la modelación estática del terreno saturado, reduciendo los valores de cohesión y fricción en un 50 %, dable en este tipo de terrenos remodelados, obteniéndose un factor de seguridad de 1.25, correspondiente a un talud estable.
- Para evaluar el efecto de una eventual sobrecarga producto del terreno desplazado desde las zonas altas adyacentes, se corrió el modelo correspon-

diente, encontrándose que el factor de seguridad se reduce de 2.03 a 1.78

Tabla 4. Resumen de resultados del análisis de estabilidad.

ZONA	TIPO DE MODELO	F S
MEDIA	Talud original estático.	2.63
MEDIA	Talud original saturado estático.	1.65
MEDIA	Talud original pseudoestático.	1.30
MEDIA	Talud original saturado pseudoestático.	0.84
MEDIA	Talud original saturado estático con c y ϕ reducidos.	1.24
MEDIA	Original parte alta estático saturado c y ϕ reducidos.	2.03
MEDIA	Original parte alta est. sat. c y ϕ reducidos sobrecarga.	1.78

11. PLAN DE MANEJO PROPUESTO

Se estableció para cada zona definida en La Estancia el tratamiento adecuado desde los puntos de vista agroforestal y geotécnico. Para la zona alta superior, el estudio recomienda un detallado plan de reforestación, y para la adyacente zona alta inferior, obras de canalización, terrazo y subdrenaje. Los detalles de las obras están consignados en las memorias del estudio realizado (UPTC, 2015).

En las zonas media baja y baja, solo se considera necesario reconformar el terreno en aquellos sectores donde se produjo acumulación de materiales acarreados desde las zonas altas.

12. CONCLUSIONES

Desde el punto de vista geológico, la zona en estudio se considera compleja en razón de factores tales como la presencia de fallas, el estado de alteración de las rocas aflorantes, la baja competencia intrínseca de las formaciones presentes (Chipaqué, La Luna y Los Pinos) y la existencia de depósitos coluviales.

Con la zonificación de amenazas por movimientos en masa, desarrollada por el método heurístico en un SIG, se lograron establecer las zonas de alta, media y baja susceptibilidad a fenómenos de remoción en masa, para las veredas de Cheva, Tintoba, Ovejeras, Cocubal y La Estancia, a escala 1:10000.

Del movimiento en masa ocurrido en la vereda La Estancia, se identificaron como causas reales, el tipo de material presente, consistente en un depósito coluvial, y la susceptibilidad geomórfica; el detonante fue el agua producto de las intensas precipitaciones ocurridas desde la segunda semana del mes de abril de 2011; y los factores contribuyentes fueron el agua del sistema de riego y la sobrecarga causada por el material rocoso caído desde el escarpe de la parte alta.

Las medidas necesarias para garantizar la estabilidad del terreno en La Estancia, y también para su aprovechamiento, se establecieron de manera particular para cada una de las zonas definidas en el estudio, siendo imperativo realizar de inmediato las acciones definidas para la zona alta. Así, la zona denominada como alta superior deberá ser recuperada mediante reforestación. En la zona alta inferior es necesario conformar la superficie del terreno con maquinaria, disponer un adecuado manejo de aguas de escorrentía mediante cunetas y canales y determinar subdrenes horizontales.

A partir de la modelación en equilibrio estático, para la zona media se concluye que siempre y cuando no se alteren las condiciones actuales, será baja la probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa. Si, en cambio, se satura el terreno y en tal condición ocurre un sismo del nivel máximo esperado para la zona, la probabilidad de desestabilización del terreno será alta. Por ello, se insiste en mantener un adecuado control de las aguas superficiales y subterráneas.

Para la recuperación vegetativa de la vereda La Estancia y otros sectores afectados, se recomendaron diversos sistemas de reforestación, con zonas protectoras, zonas protectoras productoras, sistemas agroforestales, bosques dendroenergéticos, cercas vivas y cortinas rompevientos, cuyos detalles están consignados en el estudio.

13. REFERENCIAS

- González, G.A.J. (2000). *Evaluación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa en Santafé de Bogotá, Colombia*. Seminario Estudios de Riesgos por Fenómenos de Remoción en masa, Santafé de Bogotá: DPAE-FOPAE.
- González, G.A.J. (2006). *Ecuaciones del sistema semi-cuantitativo de evaluación de estabilidad de zonas homogéneas (SES) para uso en sistemas de información geográfica (SIG)*. Cartagena: XI congreso colombiano de geotecnia.
- IDEAM (2014). *Base de datos climatológicos: precipitación media mensual Estación Jericó*. <http://www.ideam.gov.co/solicitud-de-Informacion>.
- Ingeominas (1983). *Geología de la extremidad sur de la sierra nevada de El Cocuy y los alrededores de la salina y Sácama plancha 153 Chita Escala: 100.000. Memoria explicativa*. p. 209.
- Ingeominas (2001). *Zonificación integral por amenazas naturales para la ciudad de Villavicencio, Meta: zonificación de la amenaza por movimientos en masa*. p. 282.
- Rocscience (2003). *Slide User's Guide*. Toronto: Rocscience Inc.
- UPTC Escuela de Ingeniería Geológica. (2015). *Determinación de las zonas de amenaza y escenarios de riesgo por deslizamiento en el municipio de Jericó departamento de Boyacá*. Tunja: UPTC.
- Vargas, V. G. (1999). *Guía técnica para la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza por movimientos en masa*. Villavicencio: Cooperación Colombo-Alemana GTZ-Secretaría del Medio Ambiente. Proyecto Río Guatiquía.