

**ANÁLISIS DEL DESLIZAMIENTO EN LA VEREDA EL PALMAR DEL
MUNICIPIO DE ARATOCA, SANTANDER**

**MILDRED LILIANA MONSALVE BARRAGÁN
PABLO ANDRÉS RANGEL PACHECO**



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2009**

**ANÁLISIS DEL DESLIZAMIENTO EN LA VEREDA EL PALMAR DEL
MUNICIPIO DE ARATOCA, SANTANDER**

**MILDRED LILIANA MONSALVE BARRAGÁN
PABLO ANDRÉS RANGEL PACHECO**

**Trabajo de Grado para optar el título de
Ingeniero(a) Civil**

**Director
JAIME SUAREZ DIAZ
Ingeniero Civil, MSc**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2009**

AGRADECIMIENTOS

A Dios todopoderoso porque sin su voluntad no hubiera sido posible este logro en nuestras vidas.

A nuestras familias por su apoyo incondicional y por darnos la fuerza necesaria para no decaer en los momentos más difíciles.

Al profesor Jaime Suárez Díaz por el voto de confianza que depositó en nosotros, porque siempre creyó en nuestras capacidades y por ofrecernos toda su sapiencia.

Al grupo de trabajo de Geotecnología Ltda. que nos colaboró y estuvo siempre atento a nuestras inquietudes.

Al Geólogo Eduardo Castro Marín, quien sin tener compromiso con este proyecto, desde el comienzo nos brindó todo su conocimiento y experiencia profesional.

A todos los docentes adscritos a la Escuela de Ingeniería Civil quienes con su paciencia y dedicación aportaron su conocimiento para nuestras vidas profesionales.

A los campesinos de la vereda El Palmar y a los administradores de la granja avícola San Sebastián por permitirnos el acceso a la zona de estudio y brindarnos información acerca de la misma.

A nuestros amigos que nos acompañaron, nos animaron y nos dieron la fortaleza para culminar esta proyecto con éxito.

A la Universidad Industrial de Santander por brindarnos la oportunidad y las herramientas para formarnos profesionalmente.

DEDICATORIA

*En memoria de mi padre,
quien nunca dejó de confiar en mí.*

*A mi madre por su incondicional apoyo
y por su fortaleza.*

*A mis hermanas y sobrinos
por su compañía.*

A mis abuelas por sus oraciones.

*A Richard por estar siempre conmigo
en las buenas y en las malas.*

A mi familia por creer en mí.

MILDRED LILIANA.

DEDICATORIA

*Toda la Gloria y la honra al
DIOS DE ISRAEL, JEHOVÁ DE LOS EJERCITOS,
quien por su gracia y misericordia
puede lograr este sueño.*

*A mi papito y a mi mamita
por la confianza que depositaron en mí,
por su apoyo incondicional,
y los consejos dados.*

*A mi abuelita querida
que siempre estuvo pendiente y
preocupada por mi vida universitaria.*

*A mis hermanitas
quienes son dos personas muy especiales y
sé que siempre contaré con ellas.*

*A mi princesa, quien
ha sido la persona que me acompaño
en este caminar y me dio
la fortaleza en momentos difíciles.*

*“Bienaventurado el varón que no sigue el consejo
de malvados, porque será como árbol plantado junto a
corrientes de agua, que da su fruto en su tiempo, y
jamás se marchitan sus hojas;
¡y todo lo que hace, prosperará!”
Salmo 1.1–3*

PABLO ANDRÉS.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCION.....	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo General.....	3
2.2. Objetivos Especificos	3
3. JUSTIFICACIÓN	4
4. GENERALIDADES	5
4.1. LOCALIZACIÓN	6
4.2. ECONOMIA	7
4.3. HIDROLOGIA	9
5. ANTECEDENTES	11
5.1. CONSTRUCCIÓN DE RESERVORIOS DE AGUA ARRIBA DEL ESCARPE	11
5.2. INFORMES TECNICOS.....	12
5.3. CAÍDOS DE ROCA DESDE 2006 A 2008	14
5.4. EVENTOS SISMICOS.....	15
5.4.1. Sismos Históricos influyentes en la zona de estudio	16
5.5. TEMPORADAS DE LLUVIAS 2005 A 2008.....	18
6. METODOLOGIA.....	21
6.1. FUENTES DE INFORMACION.....	23
6.2. PROCESO DE REALIZACIÓN DEL ESTUDIO	24
7. GEOLOGIA.....	26
7.1. ESTRATIGRAFIA DE LA ZONA DE ESTUDIO	28
7.1.1. Formación Silgará (PDs)	29
7.1.2. Formación Los Santos (Tambor Kita).....	30
7.1.3. Formación Rosa Blanca (Kir)	31
7.1.4. Formación Jordán (Ji).....	31
7.1.5. Formación Girón (Jg).....	32
7.1.6. Depósitos Cuaternarios	34

7.2.	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	35
7.2.1.	Falla Aratoca.....	35
7.2.2.	Clasificación de los materiales que conforman el movimiento en masa	37
7.2.3.	Composición de los materiales que conforman el movimiento en masa	41
7.2.4.	Estratos que conforman la zona del movimiento en masa	43
8.	MECANISMOS DE FALLA.....	49
8.1.	VOLTEO (TOPPLING)	50
8.1.1.	Inclinación a Flexión	50
8.1.2.	Inclinación de Bloques.....	50
8.1.3.	Volteo hacia Atrás.....	51
8.1.4.	Volteo Múltiple	51
8.2.	ANÁLISIS DE VOLTEO.....	51
8.2.1.	Inclinación del bloque 1	56
8.2.2.	Inclinación de bloques restantes	59
8.3.	DESLIZAMIENTO.....	60
8.3.1.	Deslizamiento Traslacional.....	60
8.3.2.	Deslizamiento Rotacional	61
8.4.	ANÁLISIS DE DESLIZAMIENTO	61
8.4.1.	Deslizamiento Planar de los bloques 2 a 5	63
8.4.2.	Deslizamiento Planar de los bloques 6 y 7	63
8.5.	CAIDAS DE ROCA.....	64
8.6.	ANÁLISIS DE CAIDOS	65
9.	VALORACIÓN DE LA AMENAZA Y RIESGO	79
9.1.	AMENAZA	79
9.1.1.	Susceptibilidad.....	80
9.1.2.	Evento Detonante	81
9.2.	PELIGRO.....	81
9.3.	VULNERABILIDAD	82
9.4.	RIESGO.....	82
9.4.1.	Riesgo Social o Humano	83

9.4.2.	Riesgo vías de comunicación y propiedades	83
9.4.3.	Riesgo a cultivos.....	86
9.4.4.	Riesgo Ambiental.....	87
10.	PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES.....	89
10.1.	IMPERMEABILIZACIÓN DE LOS RESERVORIOS DE AGUA	89
10.1.1.	Colocación de la Geomembrana.....	94
10.2.	MALLAS DE PROTECCION DE ROCAS	95
10.2.1.	Colocación de Mallas	96
11.	RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES	99
12.	BIBLIOGRAFÍA.....	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Municipio Aratoca en el departamento de Santander, la flecha indica la zona de estudio.	7
Figura 2. Epicentro de los sismos registrados por la Red Nacional de Acelerógrafos de Colombia 2006. La flecha indica el sitio de estudio.....	16
Figura 3. Mapa de clasificación de los suelos hidrológicos en la zona de Guanentina, la flecha indica la zona del deslizamiento.	19
Figura 4. Mapa de ubicación del movimiento en masa.....	22
Figura 5. Adquisición de datos, mapeo y planteamiento de soluciones en la investigación.	25
Figura 6. Mapa geológico del municipio de Aratoca y sitio de caída de rocas (arco color rojo).....	29
Figura 7. Esquema estructural del Departamento de Santander, en el ovalo blanco se muestra la Falla Aratoca – Los Santos.....	36
Figura 8. Sorting de Rocas Sedimentarias.....	39
Figura 9. Patrón para determinar la redondez de los clastos.	39
Figura 10. Diagrama de flujo para determinar la madurez textural en Areniscas.	40
Figura 11. Secuencia de los minerales mas comunes en las rocas cristalinas, ordenados según el grado de alteración química.	41
Figura 12. Clasificación de Arenitas y Grauvacas.....	42
Figura 13. Sección transversal del talud, con sus estratos.....	43
Figura 14. Condiciones de deslizamiento y volteo.....	52
Figura 15. Grietas de tensión arriba de la cabeza del bloque.....	61
Figura 16. Tortuosidad superficial (S), radio de la roca (R), la variación máxima de la cuesta $\theta_{m\acute{a}x.}$, y el ángulo del talud ϕ	69
Figura 17. Ángulo de impacto (α) definido como una función de la trayectoria de roca, el ángulo de la cuesta (ϕ), y la variación de la cuesta (θ). La velocidad de la roca (V) es reducida a componentes normales (V_n) y componentes	

tangenciales (V_t). El coeficiente tangencial de resistencia (R_t) y el coeficiente normal de restitución (R_n) actúan para disminuir la velocidad de la roca descendiente.....	69
Figura 18. Ejemplo del uso del Software CRPS para analizar el punto de caída de bloques de roca (Pfeiffer y Bowen, 1989).	71
Figura 19. Datos de inicio al programa CRSP	71
Figura 20. Características de cada celda.....	72
Figura 21. Características del tipo de roca a simular.....	72
Figura 22. Dimensiones de la roca a modelar.....	73
Figura 23. Trayectoria de las rocas Simuladas en el software CRSP.	73
Figura 24. Velocidad, Altura de salto y Energía cinética de las rocas al pasar por el punto de análisis 1.....	74
Figura 25. Análisis estadístico de las rocas al pasar por el punto de análisis 1.	74
Figura 26. Alturas máximas de salto de las rocas simuladas a lo largo del escarpe.	74
Figura 27. Velocidades máximas de las rocas simuladas a lo largo del escarpe.	75
Figura 28. Zona de influencia del deslizamiento.....	76
Figura 29. Perfil costado derecho del escarpe en estudio. La flecha indica el sitio de depósito de las rocas modeladas en el software CRSP.....	78
Figura 30. Perfil del costado izquierdo del escarpe en estudio. La flecha indica el posible sitio final de las rocas modeladas en el software CRSP 4.0	78
Figura 31 Esquema transversal y frontal del sistema de mallas de protección de rocas del talud de estudio.....	98

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cuencas y Subcuencas de Aratoca.	10
Tabla 2. Sismos Históricos influyentes en la zona de estudio	17
Tabla 3: Sismos en el municipio de Aratoca.	18
Tabla 4. Precipitaciones promedio mensuales de la zona de Aratoca.	18
Tabla 5. Clases granulométricas y correspondientes nombres de rocas detríticas.	38
Tabla 6. Dimensiones aproximadas de los bloques susceptibles al deslizamiento.....	52
Tabla 7. Valores sugeridos para introducir el Coeficiente Tangencial.....	70
Tabla 8. Valores sugeridos para introducir el Coeficiente Normal.....	70
Tabla 9. Ubicación final de las rocas simuladas en CRSP 4.0.	77
Tabla 10. Clasificación de la susceptibilidad a los deslizamientos con base en la observación de la morfología del terreno (Crozier, 1986).....	80

LISTA DE FOTOS

Foto 1. Plantación de Fique en la zona de estudio.	8
Foto 2. Parque Nacional del Chicamocha, "PANACHI".	8
Foto 3. Fotografía aérea donde se observan las lagunas artificiales pertenecientes a la Granja San Sebastián. La flecha indica la zona del deslizamiento.	12
Foto 4. Caídos de roca antiguos y actuales.	15
Foto 5. Costado izquierdo del deslizamiento.	22
Foto 6. Costado derecho del deslizamiento, en el ovalo fucsia se muestra la humedad más relevante del talud.	23
Foto 7. Dique, Laguna 1.	23
Foto 8. Morfología escarpada de las formaciones Los Santos (Kis o Tambor Kita), Girón (Jg) y Jordán (Jj).	33
Foto 9. Morfología escarpada que producen las formaciones Los Santos (Kis o Tambor Kita), Girón (Jg) y Jordán (Jj).	33
Foto 10. Panorámica del valle profundo donde se encuentra la zona urbana del municipio de Aratoca.	37
Foto 11. Estrato 1.	44
Foto 12. Estrato 2.	45
Foto 13. Estrato 3.	46
Foto 14. Estrato 4.	47
Foto 15. Estrato 5.	48
Foto 16 Bloque 1 ubicado en el costado derecho del talud de estudio susceptibles al volteo.	53
Foto 17 Bloques 2, 3, 4, y 5 susceptibles al volteo.	53
Foto 18. Bloques 3, 4, 5, 6 y 7 susceptibles al volteo.	54
Foto 19. Fisura A, entre los bloques 2 y 3.	54
Foto 20. Fisura B, entre los bloques 3 y 4.	55
Foto 21. Fisura C, entre los bloques 6 y 7.	55
Foto 22. Movimiento de un bloque 1 del talud en estudio, abril 17.	56

Foto 23. Movimiento de un bloque 1 del talud en estudio, abril 30.....	57
Foto 24. Movimiento de un bloque 1 del talud en estudio, noviembre 3.....	57
Foto 25. Movimiento de un bloque 1 del talud en estudio, noviembre 30.....	58
Foto 26. Formación de talus en el deslizamiento en estudio.....	60
Foto 27. Caídos antiguos ubicados en la zona aledaña al deslizamiento ocurrido en Noviembre de 2006, Vereda El Palmar, Aratoca Santander.	65
Foto 28. Caídos antiguos ubicados en la zona aledaña al deslizamiento ocurrido en Noviembre de 2006, Vereda El Palmar, Aratoca Santander.	66
Foto 29. Caídos del Deslizamiento en estudio, Vereda El Palmar, Aratoca Santander.	66
Foto 30. Caídos del Deslizamiento en estudio, Vereda El Palmar, Aratoca Santander.	67
Foto 31. Caídos del Deslizamiento en estudio, Vereda El Palmar, Aratoca Santander.	67
Foto 32. Casa destruida. La línea en color indica la ruta de la antigua vía.	84
Foto 33. Construcción del tramo de vía.	85
Foto 34. Casa en ruinas.	85
Foto 35. Vivienda en alto riesgo de afectación, en la dirección del desplazamiento de los caídos (ver ovalo).....	86
Foto 36. Cultivo de fique en la zona de estudio.	86
Foto 37. Cultivos de café destruidos.	87
Foto 38. Mitigación del manto vegetal.....	88
Foto 39. Árbol destruido a causa del movimiento de las caídas rocas.....	88
Foto 40. Fotografía aérea del sitio del deslizamiento antes de la construcción de las lagunas artificiales pertenecientes a la Granja San Sebastián. La flecha indica la zona donde actualmente se encuentra el deslizamiento.....	90
Foto 41. Fotografía aérea del sitio del deslizamiento, lagunas artificiales pertenecientes a la Granja San Sebastián. La flecha indica la zona donde actualmente se encuentra el deslizamiento.	91
Foto 42. Laguna 1.....	92
Foto 43. Laguna 2.....	92
Foto 44. Variación de la humedad dependiendo de la época del año.....	93

Foto 45. Proceso de colocación de Geomembrana.....	95
Foto 46 Anclaje del cable espiral con el perimetral y conexiones de clavos pequeños.....	96
Foto 47. Rollo del sistema de protección de rocas	97

RESUMEN

TITULO: ANÁLISIS DEL DESLIZAMIENTO EN LA VEREDA EL PALMAR
DEL MUNICIPIO DE ARATOCA, SANTANDER *

AUTORES: MILDRED LILIANA MONSALVE BARRAGÁN**
PABLO ANDRÉS RANGEL PACHECO**

PALABRAS CLAVES: Fenómeno de remoción en masa, mecanismos de falla, escarpe, caídos de roca, formación Los Santos, amenaza, riesgo.

CONTENIDO: El estudio se realizó en la zona rural del municipio de Aratoca, departamento de Santander, en la vereda El Palmar, donde ocurrió un fenómeno de remoción en masa proveniente de un macizo rocoso de 200 metros de altura.

Las rocas provenientes del escarpe afectaron considerablemente a una familia, la cual fue desalojada y reubicada por las autoridades municipales desde el inicio del movimiento, también obstaculizaron el único carreteable de la vereda ocasionando pérdidas económicas a los campesinos. Por tal razón se inició el estudio con el fin de identificar el origen y los mecanismos de falla presentes en el fenómeno y dar una valoración de amenaza y riesgo de la zona, además proponer medidas de mitigación y control de los caídos.

Para determinar el área de influencia se realizaron análisis de deslizamiento, volteo y dinámica de rocas, éste último utilizando el software Colorado Rockfall Simulation Program (CRSP) el cual arrojó la distancia que puede alcanzar las rocas desprendidas del macizo. Luego de analizados los resultados del estudio se determinó que la zona es de amenaza alta pero su nivel de riesgo es medio ya que no existe infraestructura esencial para la comunidad.

Los capítulos del 1 al 6 establecen las generalidades del municipio, antecedentes del fenómeno y metodología, el capítulo 7 describe la estratificación y geología estructural de la zona, el octavo capítulo se refiere a los mecanismos de falla presentes en el talud, el noveno capítulo se dedica a la valoración de la amenaza y el riesgo. Posteriormente en el capítulo 10 se realiza un planteamiento de solución para mitigar y controlar el movimiento, y finalmente en el capítulo 11 se hizo mención de sugerencias y recomendaciones.

*Trabajo de Grado

**Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director Ing. JAIME SUAREZ DIAZ.

ABSTRACT

TITLE: ANALYSIS OF THE SLIP IN THE SIDEWALK EL PALMAR LOCATED IN THE MUNICIPALITY OF ARATOCA, SANTANDER*

AUTHORS: MILDRED LILIANA MONSALVE BARRAGÁN**
PABLO ANDRÉS RANGEL PACHECO**

KEY WORDS: Solid removal phenomenon, flaw mechanism, escarp, rocky dead, Los Santos formation, threat, risk.

CONTENT: The study was carried out in the rural area of the municipality of Aratoca, department of Santander, in the sidewalk El Palmar, where occurred a rocky phenomenon of mass removal coming from a rocky solid of 200 meters high.

The rocks coming from an escarp affected considerably to a family, which was evicted and relocated by the municipal authorities from the beginning of the movement, they also blocked the single road for the sidewalk causing economic losses to the peasants. For such a reason the study began with the purpose of identifying the origin and the flaw mechanisms present in the phenomenon and to give a threat valuation and risk of the area, also to propose mitigation measures and control of the deads.

To determine the influence area, it was carried out a slip analysis, toppling and dynamics of rocks, this last using the software Colorado Rockfall Simulation Program (CRSP) which calculates the distance that can be reached by the removed rocks from a solid. After having analyzed the results of the study, it was determined that the area is on high threat but its level of risk is medium since essential infrastructure does not exist for the community.

From the chapters 1 to 6, it establishes the generalities of the municipality, antecedents of the phenomenon and methodology, the chapter number 7 describes the stratification and structural geology of the area, the eighth chapter refers to the flaw mechanisms that are presented in the bank, the ninth chapter is disposed to the valuation of threats and risks. Later on in the chapter 10 is proposed a solution to mitigate and control the movement, and finally in the chapter 11 the authors give suggestions and recommendations.

*Degree Thesis

**Faculty of Physical Mechanical Engineering. Civil Engineering Academy. Engineer JAIME SUAREZ DIAZ.

1. INTRODUCCION

Los fenómenos de remoción en masa son muy frecuentes en países tropicales como Colombia, razón por la cual constantemente se ven afectadas vías de comunicación, asentamientos humanos, líneas de conducción eléctrica, de acueducto y alcantarillado, entre otras. A pesar del daño causado a la infraestructura del estado, no se toman las medidas de prevención necesarias para eludir éste tipo de sucesos o al menos disminuir el daño que pueden causar.

En la historia oral y escrita del municipio de Aratoca no se encuentra registro alguno sobre deslizamientos, hasta el ocurrido en noviembre de 2006 en la vereda El Palmar, razón por la cual se tomó la decisión de realizar un estudio investigativo sobre las causas que generaron el movimiento y proponer medidas de solución si era posible (capítulo 10), y plasmarlo en el presente documento.

De esa manera se dio inicio al trabajo de campo, a la par con documentación sobre el tema movimientos de taludes en zonas tropicales, realizando visitas periódicas a la zona en cuestión para crear un registro fotográfico y discutir con la población afectada el tema del deslizamiento, y con ésta información se lograron establecer las primeras hipótesis sobre los factores que pudieron dar origen al movimiento.

El seguimiento realizado al deslizamiento tuvo una duración de ocho meses, tiempo en el cual se presentaron cambios climáticos de invierno a verano y se observó que las humedades presentes en la parte alta del deslizamiento variaban si era época de lluvias o no (Capítulo 10).

Durante el proceso de seguimiento e investigación se presentó una teoría en la que se afirmaba que el origen del movimiento estaría estrechamente relacionado con la construcción de dos reservorios de agua en la parte alta del escarpe. Esta teoría fue analizada como parte de la investigación (capítulo 5).

Una vez analizados los mecanismos de falla se estudió la amenaza y el riesgo (capítulo 9) del sector para poder proponer soluciones (capítulo 10) para mitigación de las amenazas y riesgos.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

- Investigar la amenaza y el riesgo que representa el movimiento en masa de un talud en la Vereda El Palmar del municipio de Aratoca, Santander.

2.2. Objetivos Específicos

- Analizar el estado del conocimiento sobre caídas de roca en la vereda El Palmar del municipio de Aratoca.
- Definir las causas y mecanismos del movimiento en masa
- Definir la zona de influencia del movimiento presentado en la Vereda El Palmar del municipio de Aratoca, departamento de Santander.
- Proponer las medidas de control y mitigación que se requieran.

3. JUSTIFICACIÓN

El municipio de Aratoca desde Noviembre del año 2006, ha estado afectado por un movimiento en masa (caídas de roca y residuos) ocurrido en la única vía hacia la vereda El Palmar, afectando principalmente una vivienda ubicada a unos metros del pie del fenómeno, ésta vivienda fue desalojada y la familia reubicada inmediatamente, pero existen otras familias que pueden verse afectadas por el mismo.

El movimiento ha progresado desde el mes de mayo hasta diciembre de 2008, como consecuencia de la temporada de lluvias. Se tiene conocimiento del peligro que se corre en la zona del suceso gracias a un informe técnico hecho por el grupo de trabajo regional Bucaramanga perteneciente al Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS) en el cual se hicieron varias recomendaciones, una de ellas, trasladar el eje de la vía al menos 100m de la base del movimiento, sugerencia que no fue acatada y a finales del mes de mayo de 2008 se abrió un acceso vehicular justo en el pie, asunto que preocupa a la población, pues en cualquier momento puede ocurrir una catástrofe, además la zona en la que se encuentra el deslizamiento es de amenaza sísmica alta.

Por este motivo se realizó una investigación por parte de los autores del presente documento con el fin de determinar la magnitud del movimiento, la amenaza y el riesgo que genera en la zona. Además de ello se definió un área de influencia para demarcarla en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio. Se proponen en este estudio medidas y obras para mitigar la amenaza y el riesgo que el movimiento genera a la población, indicando para cada una su viabilidad.

4. GENERALIDADES

Este municipio fue fundado el 05 de Agosto de 1750, por los Señores Domingo de Rosas, Francisco Espinosa, Antonio Salgado y Antonio Flórez.

Aratoca tiene como sus antepasados a los indígenas Guanes, quienes formaron parte de la familia lingüística Chibcha, afín cultural también con los Muiscas. Ubicados entre la Hoya del Río Suárez y parte de la cuenca del Río Chicamocha, región que está al oriente de los riscos casi verticales que forman el cañón del Chicamocha.

Según los cronistas Fray Pedro Simón, Otero y Juan de Castellanos, la localización geográfica de los Guanes en esta región estaba comprendida por los siguientes límites: al Norte del río de oro, la mesa de Juan Rodríguez el río Guaca; al oriente río Guaca, río Chicamocha y el río Onzaga; al sur río Lenguaruco y el río Saravita o Suárez; al occidente el río Suárez, cordillera de los Yariguíes y el río Sogamoso.

Aratoca es conocida como “La ciudad de las colinas” y también llamada “La Villa de Aratoca”; los indígenas Guanes le llamaban ANA-TOCA que significa más allá de lo alto del río. Los hijos de Aratoca trabajan el fique hoy día, tal como dice la leyenda que lo enseñó el dios NENCATACOA a sus antepasados Guanes.

El capitán Martín Galeano, fue el primer conquistador español que conoció el territorio de los Guanes. En el territorio actual de Aratoca se libró una de las batallas más sangrientas de la conquista española por la desventaja bélica que representó para los indígenas, muy a pesar de su temperamento bravío y su valentía, impidieron a su vez terminar como esclavos.

El Rey Fernando VI y el virrey José Alfonso Pizarro, dieron lugar a la fundación del municipio de Aratoca, el 5 de agosto de 1750, con el lleno de los requisitos exigidos por la ley y las ordenanzas de la época.

4.1. LOCALIZACIÓN

El municipio de Aratoca se encuentra ubicado en la cordillera oriental colombiana, a 63 km de la ciudad de Bucaramanga por la vía a Bogotá, tiene una extensión total de 16.360 km² que aloja 7.901 habitantes de los cuales se ubican 5.868 en la zona rural con un área de 12.360 km² y dejando al casco urbano con 2.033 habitantes en una extensión de 4 km²; el municipio limita por el norte con el municipio de Piedecuesta y Los Santos, definido naturalmente por el recorrido del río Chicamocha; al sur con el municipio de Curití, delimitado por las quebradas La Honda, Cantabara y La Laja; al oriente con el municipio de Cepitá, siguiendo el recorrido del río Chicamocha; y al occidente con los municipios de Los Santos y Jordán. (Ver figura 1)

Aratoca tiene altitudes entre 500 y 2200 msnm, razón por la cual tiene gran variedad de cultivos que varían de 16°C a 26°C

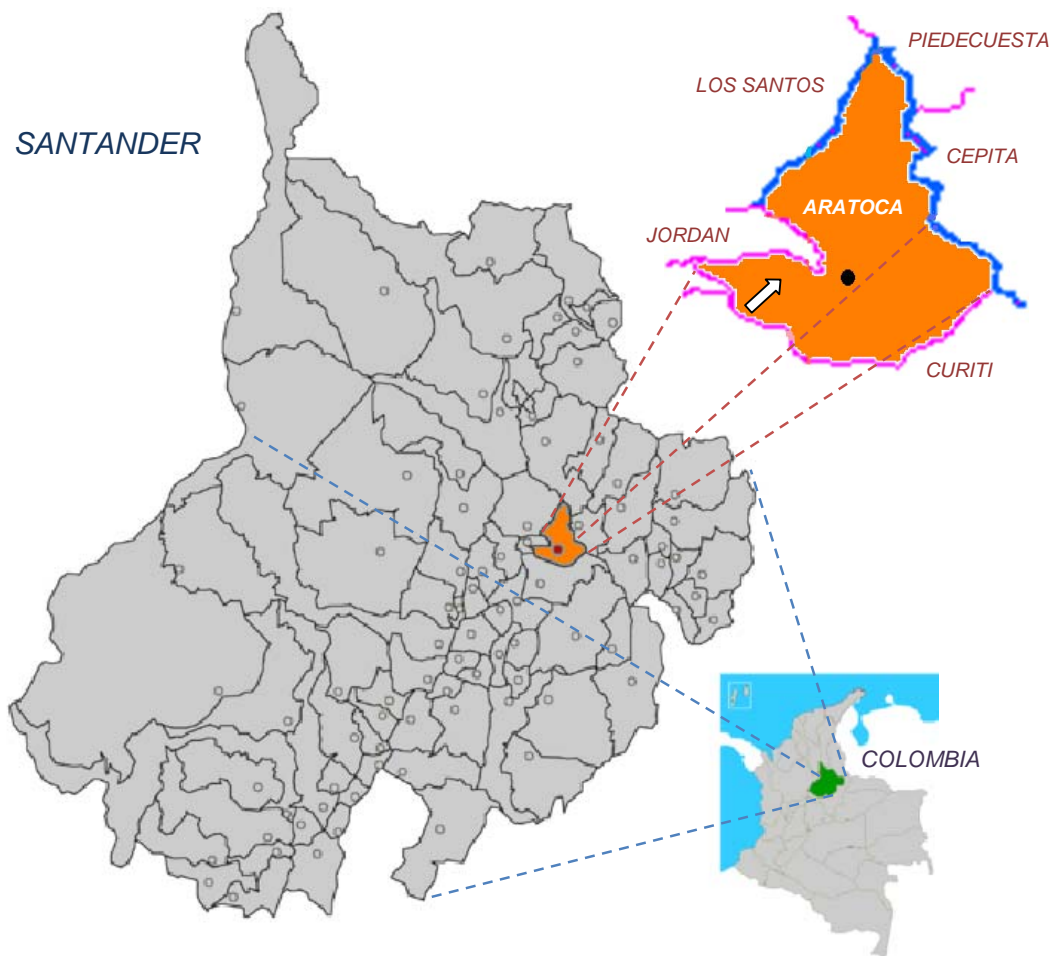


Figura 1 Municipio Aratoca en el departamento de Santander, la flecha indica la zona de estudio.
Fuente: Investigación de los autores, 2008.

4.2. ECONOMIA

La mayor fuerza económica está representada en los ingresos provenientes de las actividades agrícolas y ganaderas que concentran un 63.35% de la población económicamente activa además del cultivo y procesamiento de fique con un 16.75% (ver foto 1), podemos ver que la producción del fique es representada como producto para el empaque de productos agrícolas e industriales, pero se evidencia que la economía del municipio de Aratoca es aún muy pobre en el sector turístico, en este momento es un potencial que tiene la comunidad y esta empezando a desarrollarse en el Parque Nacional

del Chicamocha el estado ha brindado el apoyo necesario para generar la activación de la economía en ese eje de desarrollo (ver foto 2).



*Foto 1. Plantación de Figue en la zona de estudio.
Imagen tomada en la Vereda El Palmar. Aratoca
Fuente: Investigación de los autores, 2008.*



*Foto 2. Parque Nacional del Chicamocha, "PANACHI".
Imagen vía Aratoca-Bucaramanga.
Fuente: Investigación de los autores, 2008.*

4.3. HIDROLOGIA

El sistema hidrológico del municipio de Aratocha forma parte de la cuenca del Río Chicamocha en donde confluyen los caudales de quebradas como La Arenosa, La Guacamaya, La Quinta, El Hoyo entre otras además de quebradas intermitente que aparecen en temporada de lluvias, éstas quebradas forman parte de las subcuencas que alimentan el río (ver tabla 1).

CUENCA	SUBCUENCA	QUEBRADA	AREA INFLUENCIA (Km ²)	Q (L/seg)	CONSUMO		DEFORESTACIÓN
					Humano	Agrícola	
R I O C H I C A M O C H A	Cañada	Cañada	2,92				
	Susa	Susa	3,6				
	Tichana	Tichana Morgatal Medio Pote La Mesetas	13,09				
	Piedra Blanca	Piedra Blanca	3,95	8			
	Altamira	San Pedro Garavetera Cañada Altamira	6,71	22			
	Cicaro						
	Concha		4,21				
	El Retiro	El Retiro	2,25				
	Clavellinera	Clavellinera	18,16	15	x		
		Corregidor					
		Manchengo		30	x		
		El Oso		10			
	La Honda	La Honda	4,28				
	La Honda	La Honda	25,19	28	x		x
		Barinas		13			x
		Los Naranjos					
		Cantabara					
		La Aguada					
		El Corozo					
	Los Cacaos	Los Cacaos	4,13				
La Playa	La Playa	19,93					
	La Arenosa		150	x			
	Blanca (buena)		25	x			

	Agua		67	x		x
	La Quinta					
	Las Vegas					
	Cañada la Montaña			x		x
	Cañada el Hoyo					
Pescadero	Cauces Cortos	1,74				
Ficaro		2,94				
La Laja	La Laja	19,82				x
	Lagunetas					
	La Guacamaya		86	x		
	Mal Paso					
	Cañada La Toma			x		x
	Cañada Pantano G					
	Cañada las Tapias					
La Tinta	La Tinta El Salitre	8,91				
Salado		3,18				
Morales	San José Los Lodos Cañada Ovejera Guamara Cañada Curapo	20,4				
Blanda	Cauces Cortos	3,16				

Tabla 1. Cuencas y Subcuencas de Aratoca.
Fuente UMATA-E.O.T

5. ANTECEDENTES

En las últimas décadas se le ha prestado mucha atención a la inestabilidad de los taludes, sobre todo de las caídas de roca ya que éstas pueden afectar la integridad de los habitantes de una zona específica, y cuando ocurren son de muy difícil remoción, pero ¿en que puede afectar un desprendimiento de rocas a una comunidad?, en varios aspectos, como las vidas humanas, las vías de comunicación, los cultivos y el medio ambiente, porque cuando sucede un deslizamiento ya sea por movimientos de masa, erosión o flujos, el estado natural del terreno toma tiempo en recuperarse. Las mayores razones por la cuales ocurren inestabilidades en taludes son de tipo geológico, como laderas posiblemente inestables, orografía acusada, estratificación y/o meteorización.

5.1.CONSTRUCCIÓN DE RESERVORIOS DE AGUA ARRIBA DEL ESCARPE

En la parte alta del escarpe, a 79 metros de la corona se encuentran dos lagunas artificiales de aproximadamente 22 años de construcción, las cuales fueron creadas para abastecer las necesidades de la granja. Dichos cuerpos de agua fueron identificados como laguna 1 y laguna 2, las cuales poseen un área de espejo de agua de 18.720m² y 9.115m² respectivamente. (Ver Foto 3)



*Foto 3. Fotografía aérea donde se observan las lagunas artificiales pertenecientes a la Granja San Sebastián. La flecha indica la zona del deslizamiento.
Fuente: Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" (IGAC) vuelo C-2384-29-1989*

Desde que ocurrió el suceso de las caídas los habitantes de la zona afectada no han encontrado otra explicación del desprendimiento masivo de rocas diferente a la existencia de las lagunas, por lo cual culparon a la empresa por la inestabilidad del terreno y supusieron que la infiltración de agua proveniente de las mismas era la causante del problema,

5.2. INFORMES TECNICOS

En vista de que el movimiento en masa seguía avanzando la Alcaldía Municipal solicitó a la CORPORACION AUTÓNOMA REGIONAL DE SANTANDER (CAS) una visita de inspección, la cual se realizó el día 27 de Julio de 2007, dicho reconocimiento fue solicitado por la Ingeniera Lady Torres quien en ese entonces ejercía el cargo de Secretaria de Gobierno del Municipio en cuestión, quien afirmó que por comentarios de la comunidad, la causa del movimiento estaría ocasionada por la presencia de lagunas artificiales. La visita de

inspección se efectuó con el fin de verificar el estado en que se encontraba el sector a raíz de los daños que se habían ocasionado por la caída de rocas, éste gran movimiento afectó varios predios. El informe entregado a la Alcaldía del Municipio de Aratoca señala: “El área afectada por la desestabilización del terreno es de aproximadamente cuatro hectáreas, las cuales pueden ir en aumento en vista de que las rocas pueden llegar a rodar varios metros a lo largo de la ladera, ya que la zona no se ha quietado y éstas siguen cayendo por el escarpe rocoso. Al realizar el recorrido por el lugar, se evidenció que la caída de rocas es continua, escuchándose de vez en cuando el rodar y caer de las mismas”. El informe también afirma que la inestabilidad en la zona es causada por la Falla de Aratoca la cual se encuentra próxima al lugar de estudio. Además certifica que el tipo de roca encontrado es muy dura y competente, presenta fracturamiento debido a que se encuentra en una región que registra alto tectonismo, debido al fallamiento a la que ha estado expuesta. Una de las conclusiones a la que llegaron los funcionarios de la CAS fue que no se encontró evidencia de que el desprendimiento del estrato rocoso fuese causado por infiltración de agua de los lagos de la Granja avícola Distraves ya que el movimiento no fue de suelo sino de roca dura y competente, la cual debido a sus características de dureza, saturamiento de agua, bajos buzamientos del estrato, no se desestabiliza fácilmente. Además la CAS sugirió presentar el informe realizado al INSTITUTO COLOMBIANO DE GEOLOGÍA Y MINERÍA INGEOMINAS, a la oficina de atención y prevención de desastres del Departamento, al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y a la Gobernación de Santander.

El 17 de Abril de 2008 INGEOMINAS realizó una visita para dar un concepto técnico sobre las caídas de roca en la vereda El Palmar, los geólogos identificaron que las rocas se componen de gran cantidad bloques heterogéneos, de forma subangular a angular, de hasta 6 metros de diámetro, y éstos bloques abarcan un volumen aproximado de 900.000 m³, en el informe de INGEOMINAS también se mantiene lo dicho sobre las lagunas que se encuentran en la plataforma superior de la ladera natural de la Granja San Sebastián,

pertenecientes a la Empresa Avícola Distraves y se concluye que no se encontró evidencia de humedad en los alrededores de los estanques ni manantiales o nacimientos de agua en el escarpe, de donde se desprende el material, que puedan contribuir a incrementar los desprendimientos. La comisión declaró que: “Las causas de las caídas de roca se deben a las condiciones geológicas propias del terreno entre las que se destacan el alto grado de fracturamiento de las rocas debido al paso de la falla de Aratoca, la posición de las fracturas en forma paralela a la cara del escarpe, la morfología escarpada del área y la alta actividad sísmica de la zona”, también afirma que: “Este tipo de movimiento en masa no es nuevo en la zona, ya que se encontraron derrumbes antiguos, de grandes dimensiones, así como depósitos coluviales de edad un poco más reciente, lo que evidencia las causas naturales del fenómeno y actividad tectónica de la zona”.

5.3. CAÍDOS DE ROCA DESDE 2006 A 2008

Desde noviembre del año 2006 en la vereda El Palmar jurisdicción del municipio de Aratoca, Santander está ocurriendo un gran movimiento de masas de rocas en un talud natural, ubicado en la zona norte de la Granja Avícola San Sebastián, perteneciente a la empresa Distraves, lo cual ocasionó el bloqueo de la única vía de acceso a la vereda.

En los predios aledaños al deslizamiento se encontraron caídos de anteriores sucesos geológicos o coluviones los cuales presentan una capa vegetal densa que los cubre. El tamaño de los bloques varía de 1m a 10 m de diámetro, dimensiones similares a las encontradas en la zona de estudio. (Ver Foto 4)



*Foto 4. Caídos de roca antiguos y actuales.
Fuente: Investigación de los autores, 2008.*

5.4. EVENTOS SISMICOS

Se realizó una consulta en la página web de INGEOMINAS sobre los movimientos sísmicos del año 2006, y se encontró que desde el 6 al 10 de enero hubo 10 movimientos sísmicos que tuvieron como epicentro La Mesa de los Santos, con magnitudes entre 4.9 y 5.6 ML y con profundidades de 151 Km hasta 154 Km; dichos movimientos se repitieron en la mitad del mes de marzo del mismo año con magnitudes y profundidades menores, a finales de abril vuelven los estremecimientos, de nuevo a principios de mayo conservando las mismas magnitudes y profundidades, en el mes de agosto se repiten, de repente en el mes de noviembre que es cuando se inicia el deslizamiento vuelve a sacudirse la tierra, es decir el 06 de noviembre hasta diciembre 01 los temblores son de magnitud 4.7 y 5.4 respectivamente con profundidades de 154 y 152 kilómetros. Como consecuencia de todos los movimientos ocurridos durante el año 2006 y anteriores se puede afirmar que unas de las causas por las cuales se activó el deslizamiento es la continua actividad sísmica en la zona. En la figura 2 se muestra un mapa con el epicentro de los sismos registrados por la Red Nacional de Acelerógrafos de Colombia en el año 2006.

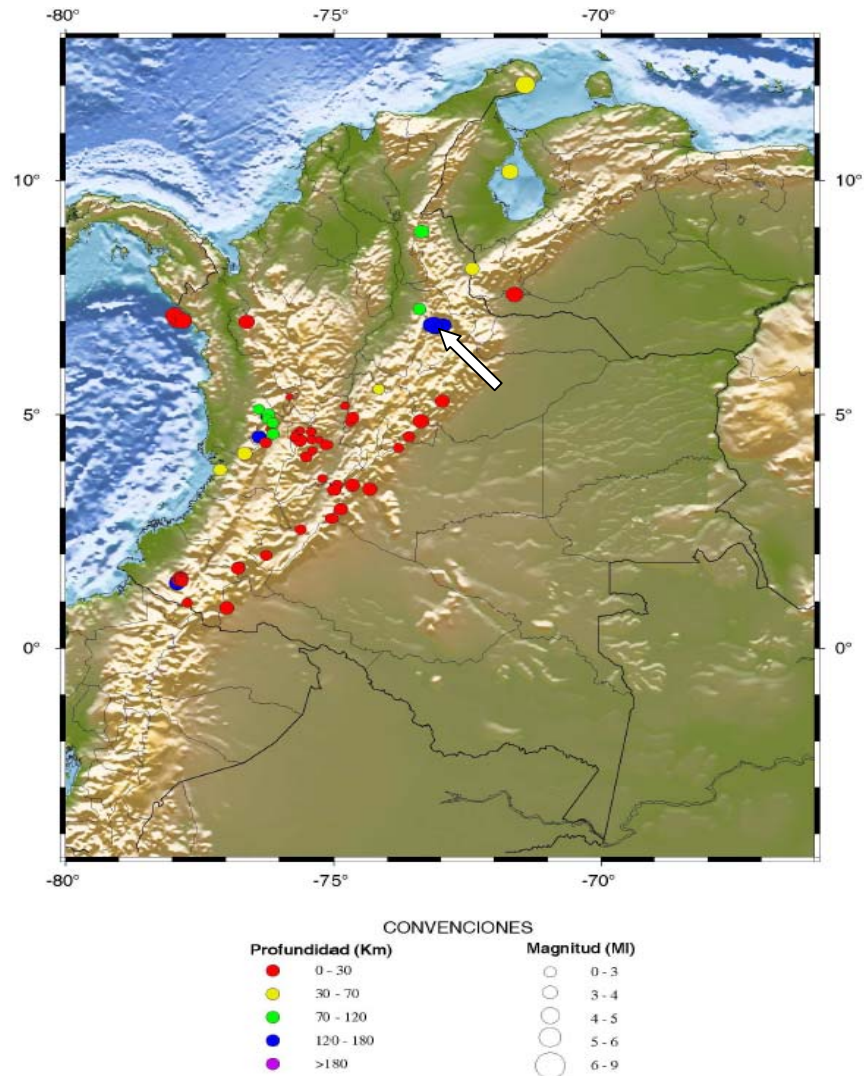


Figura 2. Epicentro de los sismos registrados por la Red Nacional de Acelerógrafos de Colombia 2006. La flecha indica el sitio de estudio. Fuente: INGEOMINAS.

5.4.1. Sismos Históricos influyentes en la zona de estudio

Del libro Historia de los terremotos en Colombia escrito por el R.P. Jesús Emilio Ramírez se tomaron los movimientos que se consideraron podrían haber contribuido de alguna manera a la inestabilidad del terreno de la zona. (Ver tablas 2 y 3)

AÑO	MES	DIA	HORA	DESCRIPCION
1766	Octubre	21	16:30	Fuerte terremoto en Venezuela que afectó gran parte de Colombia Oriental. (96, T III, p 30)
1868	Diciembre	31		
1869	Enero	1		Nuevo temblor menos fuerte que el de la víspera.
1873	Noviembre	1	23:55	Temblor en San José, Santander. Se sintió en ésta ciudad un movimiento terráqueo, fuerte precedido de un prolongado ruido subterráneo
1877	Noviembre	18	2:05	Se sintió en Socorro, San Gil, Zapatoca y Barichara un fuerte sacudimiento de la tierra en dirección N-S.
1935	Agosto	1		Intensidad I. San Vicente de Chucurí.
1958	Mayo	3		Intensidad I. Zapatoca.
1958	Junio	3		Intensidad I. Los Santos.
1958	Junio	18		Intensidad I. Zapatoca.
1958	Septiembre	6		Intensidad I. San Vicente de Chucurí.
1958	Septiembre	22	1:58	Intensidad I. Aratoca
1959	Abril	4		Intensidad I. Curití.
1960	Septiembre	18		Los Santos.
1960	Diciembre	24		Piedecuesta.
1962	Julio	30		Curití.
1963	Febrero	5	22:28	Intensidad I. Profundidad 108 km. Aratoca
1963	Septiembre	3		Piedecuesta.

Tabla 2. Sismos Históricos influyentes en la zona de estudio

Fuente: Historia de los terremotos en Colombia. Jesús Ramírez. INGEOMINAS.

AÑO	MES	DIA	HORA	DESCRIPCION
1997	Diciembre	8	23:21	Magnitud MI 3,0. Aratoca
1998	Diciembre	31	2:39	Magnitud MI 3,2. Aratoca
1999	Abril	7	9:04	Magnitud MI 3,0 Aratoca
1999	Abril	9	22:58	Magnitud MI 3,5. Aratoca
1999	Abril	13	8:29	Magnitud MI 3,3. Aratoca
1999	Abril	24	5:24	Magnitud MI 3,6. Aratoca
1999	Mayo	4	6:13	Magnitud MI 3,2. Aratoca

2000	Agosto	4	23:08	Magnitud MI 3,1. Aratoca
2000	Agosto	11	23:27	Magnitud MI 3,7. Aratoca
2000	Agosto	16	1:14	Magnitud MI 3,0. Aratoca
2000	Agosto	16	15:52	Magnitud MI 4,6. Aratoca
2000	Agosto	27	20:15	Magnitud MI 3,5. Aratoca
2000	Septiembre	13	6:50	Magnitud MI 3,0. Aratoca
2000	Septiembre	27	10:54	Magnitud MI 3,1. Aratoca
2000	Septiembre	28	23:46	Magnitud MI 4,0. Aratoca
2000	Octubre	16	1:14	Magnitud MI 3,0. Aratoca
2000	Noviembre	2	6:49	Magnitud MI 3,0. Aratoca
2000	Noviembre	9	20:20	Magnitud MI 3,1. Aratoca
2000	Noviembre	20	3:45	Magnitud MI 3,2. Aratoca
2000	Diciembre	11	20:33	Magnitud MI 3,3. Aratoca

Tabla 3: Sismos en el municipio de Aratoca.

Fuente: Mapa de sismicidad en Colombia. Junio de 1993 a Abril de 2001. INGEOMINAS.

5.5. TEMPORADAS DE LLUVIAS 2005 A 2008

A continuación se muestran los registros pluviométricos de la zona en cuestión, para la cual se tuvieron en cuenta las estaciones meteorológicas ubicadas en el municipio de Los Santos.

FECHA	mm
ENE	21,21
FEB	42,50
MAR	62,13
ABR	92,55
MAY	106,39
JUN	71,22
JUL	84,32
AGO	78,23
SEP	117,34
OCT	127,92
NOV	76,30
DIC	30,91

Tabla 4. Precipitaciones promedio mensuales de la zona de Aratoca.

Fuente: IDEAM

Teniendo en cuenta estos registros de la región se encuentra que se presentan precipitaciones durante todo el año, con intensidades máximas de 127mm en los periodos comprendidos entre abril y julio, y septiembre y noviembre. El

resto del año es época de verano en la cual se presentan precipitaciones mensuales promedio de 48mm de intensidad.

La precipitación promedio anual es de 908mm que responde a la distribución mensual acumulada de las precipitaciones durante un año, siendo octubre el mes más húmedo y enero el más seco.

Teniendo esta información y observaciones en campo se puede concluir que las épocas de lluvias en la zona pudieron haber detonado el fenómeno ya que el suelo tiene una alta rata de infiltración como lo muestra la figura 3 que indica la clasificación hidrológica de los suelos en la Mesa de Barichara (zona Guanentina)

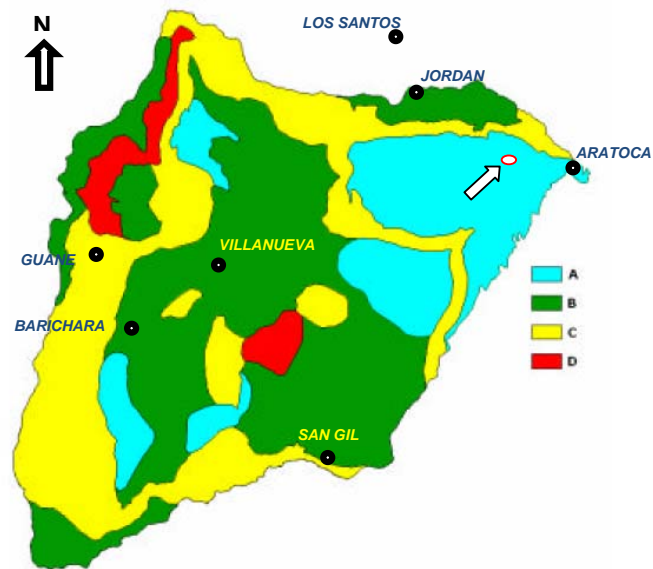


Figura 3. Mapa de clasificación de los suelos hidrológicos en la zona de Guanentina, la flecha indica la zona del deslizamiento.

Fuente: Proyecto de Grado, BALANCE HÍDRICO A LARGO PLAZO E INDICADORES DE INFORMACIÓN HIDROCLIMÁTICA EN LA MESA DE BARICHARA, UIS 2007.

TIPO A: es el suelo mas permeable de los cuatro, está constituido por calizas fracturadas con avanzados procesos de katstificación, areniscas de grano medio grueso con una porosidad entre 10% al 20%, limonitas arenosas ligeramente lodosas con porosidad primaria entre 15% al 18% y metareniscas fuertemente

desclasadas. Se localizan en las formaciones Los Santos (Tambor), Rosablanca y Silgara.

TIPO B: tipo de suelo menos permeable, conformado por areniscas de grano medio lodosos con porosidad aproximada de 12%, limolitas ligeramente arenosas, calizas fracturadas cerradas con escasa evidencia de karstificación, esquistos de gran medio a grueso muy diaclasado, depósitos de material heterométricos de tamaño de grava-arena en matriz limosa, se encuentra en las formaciones Simití, Tablazo, Rosablanca y Silgara.

TIPO C: menos permeable, lo conforman limolitas arcillosas, arcillolitas, depósitos de material de tamaño grava arena con una matriz lodosa, calizas con bajo grado de fracturamiento, se encuentra en las formaciones Paja, Rosablanca, Jordán, Girón y depósitos coluviales.

TIPO D: mas impermeable constituido por arcillolitas y lodolitas de las formaciones Paja y Simití.

6. METODOLOGIA

La población de la vereda El Palmar del municipio de Aratoca, Santander se ha visto seriamente afectada a causa de un movimiento de remoción en masa, clasificado como un movimiento en masa complejo, en el que están presentes deslizamiento, volteo y caídas de roca, movimiento que ha afectado la única vía de intercambio de productos entre el municipio en cuestión, la ya mencionada vereda y la vecina población de Jordán Sube, localizado al oeste.

Teniendo en cuenta que la situación ha estado en constante evolución, se procedió a realizar un seguimiento al talud, seguimiento que tuvo su inicio el día 02 de mayo de 2008, donde se observó una gran acumulación de rocas y detritos sobre la ruta y una finca perteneciente al señor Olegario Rojas, afectando seriamente sus cultivos y su vivienda, la cual fue desalojada desde que se activó el movimiento.

Durante los meses restantes del año 2008 se realizaron diversas inspecciones con el fin de observar el progreso del fenómeno, obteniéndose como resultado el siguiente registro fotográfico, en el que se destacan los parámetros más influyentes en el movimiento (ver fotos 5, 6 y 7).

En la figura 4 se muestra la localización general de la zona con puntos de referencia (BM) para futuros estudios en el fenómeno, parte de la Granja Avícola y vías de acceso, estos elementos se ubicaron con un Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

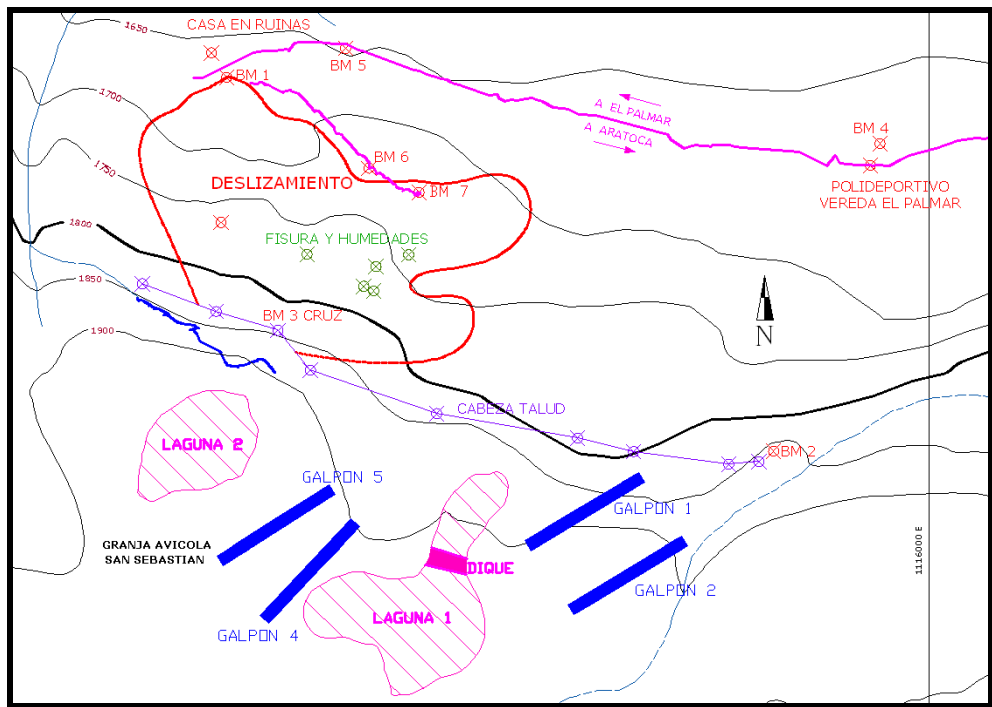


Figura 4. Mapa de ubicación del movimiento en masa.
 Fuente: Tomado plano 1:10000 de la zona, modificado por los autores.



Foto 5. Costado izquierdo del deslizamiento.
 Imagen tomada desde BM1
 Fuente: Investigación de los autores, 2008.



Foto 6. Costado derecho del deslizamiento, en el ovalo fucsia se muestra la humedad más relevante del talud.

Imagen tomada desde BM7

Fuente: Investigación de los autores, 2008.



Foto 7. Dique, Laguna 1.

Imagen tomada desde galpón 1

Fuente: Investigación de los autores, 2008.

6.1. FUENTES DE INFORMACION

Para la investigación se obtuvo información sobre el tema por variados medios como la experiencia de algunos docentes de la Universidad Industrial de Santander “UIS”, documentos de los mismos, material de instituciones estatales como el Instituto Colombiano de Geología y Minería INGEOMINAS, Corporación Autónoma Regional de Santander CAS, el Instituto Geográfico

“Agustín Codazzi” IGAC y la Alcaldía del municipio de Aratoca, los cuales suministraron herramientas necesarias para investigar la problemática que está afectando la población de la zona de estudio. La información proporcionada para la investigación consiste en planchas geológicas y topográficas a escala 1:25000 y 1:10000, fotografías aéreas, textos referentes a la geología de la zona, tipos de movimiento en masa, estudios con base en el suceso de investigación.

El método utilizado consiste en recolectar material bibliográfico de todo tipo, como geológicos, el cual sirve para definir la litología de las rocas, la geomorfología, también material sobre estabilidad de taludes, control de caídos y deslizamientos en roca, planchas para definir la topografía de la zona y estudios referente al proceso que afecta la población.

6.2. PROCESO DE REALIZACIÓN DEL ESTUDIO

El procedimiento adoptado para el análisis del deslizamiento fue la propuesta por La Sociedad de deslizamientos del Japón (1996), la cual propone un diagrama de flujo para la investigación y análisis de movimientos en masa, en el que se determinan las causas y mecanismos de falla con el fin de valorar los factores que afectan la estabilidad de un talud, para definir el diseño de las obras de estabilización pertinentes. Esta metodología propone llevar a cabo los siguientes pasos:

- Investigación preliminar:
 - Análisis de la información existente
 - Reconocimiento de campo
 - Topografía de la zona.
- Elaboración de un plan detallado de investigación:
 - Investigación de deformaciones horizontales
 - Estudio geológico

- Aguas subterráneas
- Superficie de falla
- Toma de muestras para análisis geológico.
- Elaboración del modelo conceptual de los mecanismos de las fallas actuales o potenciales.
- Modelación matemática utilizando software.
- Elaboración del plan de manejo y diseño de obras de remediación.

Para la investigación también se tuvieron en cuenta las recomendaciones dadas por el ingeniero Jaime Suarez Díaz en su libro DESLIZAMIENTOS TOMO 1, ANALISIS GEOTÉCNICO, para la adquisición de datos en la investigación y mapeo de deslizamientos y éstas fueron adaptadas al proyecto en cuestión (ver figura 5).

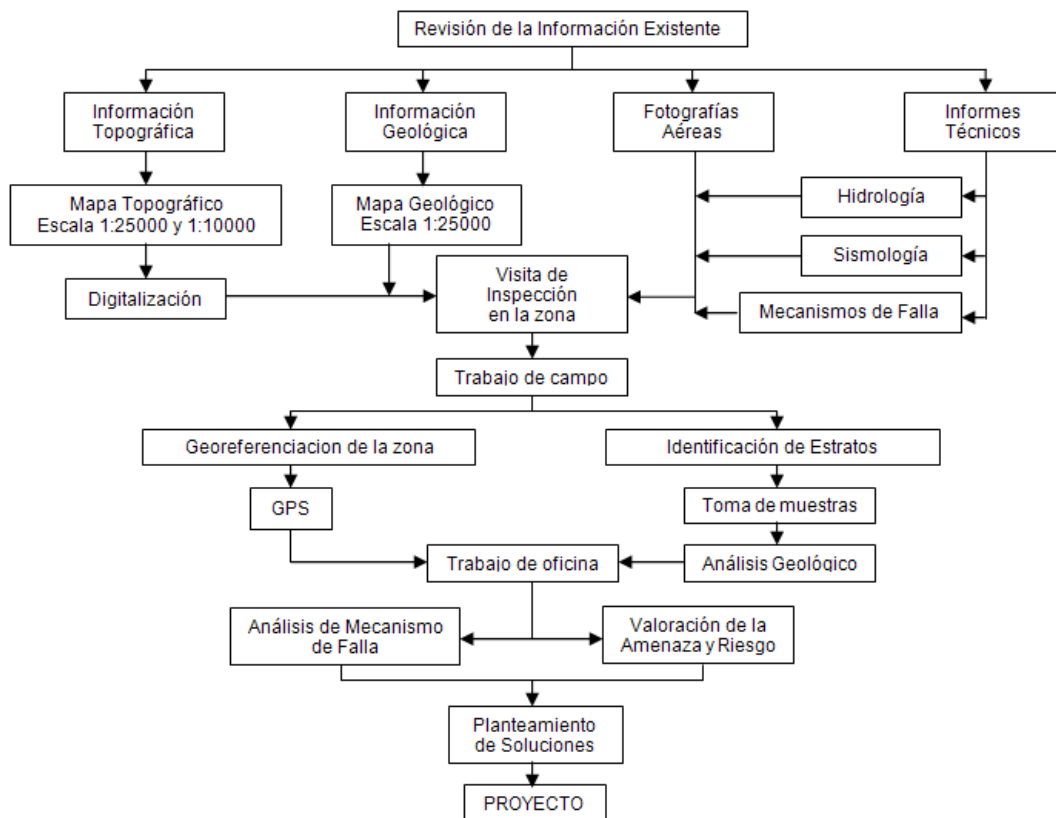


Figura 5. Adquisición de datos, mapeo y planteamiento de soluciones en la investigación.
Fuente: Investigación de los autores, 2008

7. GEOLOGIA

La geología es la ciencia que estudia la composición, estructura y evolución de la tierra a lo largo del tiempo, además es la ciencia que más ha estado involucrada en el progreso de la humanidad. Gracias al conocimiento geológico el hombre ha podido desarrollarse desde la edad de piedra hasta el día de hoy a pasos agigantados, abasteciendo gran parte de sus necesidades de los minerales que la madre tierra le proporciona.

Cada punto de la tierra es geológicamente diferente, la composición, la litología, la geomorfología, la estructura y el estado de meteorización son factores determinantes en la estabilidad de un talud, por ello es que existen zonas mas estables o de mayor resistencia que otras, aunque esto no indica que no puedan moverse.

La ya mencionada resistencia de cada zona depende del tipo de roca que esté presente pues cada unidad de roca tiene una resistencia determinada que depende de su génesis y de los factores externos que influyeron en su proceso de formación. Es por ello que las rocas se clasifican según su origen en tres grandes grupos:

- *Rocas Ígneas:* se forman en las profundidades de la superficie de la Tierra cuando el magma asciende a través de compartimientos subterráneos ligeramente más fríos que la roca derretida. La temperatura ligeramente más baja permite que el magma se enfríe muy lentamente a lo largo de millones de años, y a medida que éste material se enfría, los elementos se combinan formando tipos comunes de minerales de silicato (sustento de las rocas ígneas). El enfriamiento pausado permite que se formen una variedad de minerales, y

generalmente los cristales minerales puede alcanzar gran tamaño, si las cavidades lo permiten.

- *Rocas Metamórficas:* Las rocas metamórficas son aquellas cuya composición y textura originales han sido alteradas por calor y presión. A este proceso se le llama metamorfosis de la roca. Los ambientes con calor y presión suficientes para causar metamorfismo se encuentran frecuentemente donde las placas tectónicas de la Tierra se están uniendo. Allí, las placas que chocan entre sí, trituran las rocas y son calentadas a grandes profundidades por el magma.
- *Rocas Sedimentarias:* son rocas producidas por materiales transformados, constituidas por acumulación y consolidación de materia mineral pulverizada, depositada por la erosión. Estas rocas se han formado por la consolidación o litificación de sedimentos. Los factores que determinan el tipo de roca son fundamentalmente la fuente de los sedimentos, el agente que los erosiona y transporta, y el medio de deposición y forma de litificación.

La mayor parte de los minerales que forman rocas ígneas y metamórficas son inestables en condiciones atmosféricas cuando dichas rocas están en contacto con el aire o el agua. Por lo tanto algunos se transforman en minerales estables en las nuevas condiciones y otros son disueltos, parcial o totalmente, en el agua. El efecto es la disgregación de las rocas cristalinas por procesos llamados de alteración que puede ser física o química. Unos minerales son convertidos en granos sueltos, otros en arcillas y cationes de disolución, y todo este conjunto puede ser transportado y depositado finalmente, dando lugar a sedimentos y *rocas sedimentarias*.

Las rocas sedimentarias están compuestas por sedimentos que se han endurecido para formar una roca. Los sedimentos pueden ser granos de minerales o depósitos de compuestos químicos. La infinidad de las rocas

sedimentarias están compuestas principalmente por *terrígenos*, *ortoquímicos* y *aloquímicos*. (Castro Dorado, Alfonso. 1989.)

- *Terrígenos*: son cristales sueltos, fragmentos de cristales y fragmentos de roca, procedentes de rocas preexistentes por alteración y disgregación. Los materiales terrígenos se caracterizan, además, por haber sufrido un transporte, más o menos largo y energético, desde la roca fuente hasta la cuenca de depósito, en la que ahora aparecen formando sedimentos y rocas. Los procesos de transporte y sedimentación son los responsables de la morfología de los clastos y de otras características texturales.
- *Ortoquímicos*: son materiales formados por precipitación química directa en la propia cuenca de sedimentación, durante o inmediatamente después del depósito.
- *Aloquímicos*: materiales de origen químico, u órgano-químico, formados en la misma cuenca, pero que han llegado a la zona de depósito como clastos. A veces éstos materiales pueden haber sufrido un corto transporte dentro de la misma cuenca.

Las rocas presentes en la zona de estudio son rocas sedimentarias detríticas, también llamadas siliciclásticas o terrígenas, éste tipo de rocas presentan textura clástica, los clastos pueden estar o no cementados por material ortoquímicos y/o diagenético. Al material de relleno se le llama cemento cuando es de origen diagenético.

7.1. ESTRATIGRAFIA DE LA ZONA DE ESTUDIO

La geología de la zona de estudio está conformada por cinco formaciones y depósitos cuaternarios como aluviones, derrumbes antiguos y coluviones, la

reseña fue obtenida del mapa geológico de Santander y de la plancha geológica 135 San Gil, elaborada por INGEOMINAS, 1977 (ver figura 6).

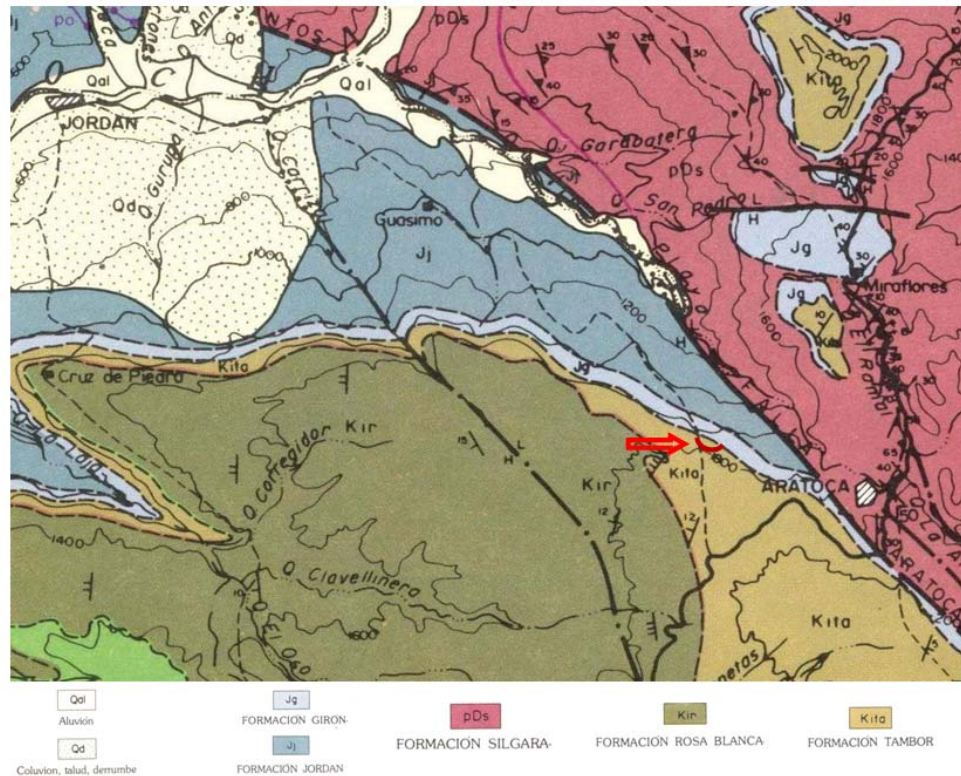


Figura 6. Mapa geológico del municipio de Aratocha y sitio de caída de rocas (arco color rojo).
Fuente: Mapa geológico de la plancha 135 (INGEOMINAS, 1977).

7.1.1. Formación Silgará (PDs)

La formación Silgará aflora en el límite de la zona Este de la Mesa de los Santos y sobre el bloque nororiental de la falla de Aratocha, se extiende hacia las poblaciones de Pescadero y Cepitá, esta unidad produce relieves de pendiente moderada a alta cuando la roca está fresca. Está constituida por rocas de metamorfismo dinámico de bajo a mediano grado y en la región comprende principalmente esquistos anfibólicos verdes, cloríticos y micáceos y en menor proporción cuarcitas y meta areniscas, con estratificación remanente delgada, de colores gris verdoso a gris marrón. Es muy común encontrar en

municipio de Cepitá granates, estaurolita y lentes de hasta dos metros de cuarzo, blanco, limpio, barita-fluorita que son explotadas en la zona. Localmente debido a su foliación y su composición arcillosa, se altera a suelos arenos arcillosos de color ladrillo, que le imprimen al terreno alta inestabilidad, generando gran cantidad de movimientos de remoción en masa

7.1.2. Formación Los Santos (Tambor Kita)

En 1931 Hedberg dio este nombre ya que en el Cañón del río Lebrija a lo largo de la red férrea Bucaramanga-Puerto Wilches afloran una sucesión de areniscas cerca del caserío de Los Santos, pero Cediél en 1968 definió la localidad tipo en la Mesa de los Santos donde los estratos de esta formación están bien expuestos. Anteriormente llamada formación Tambo (Kita), la cual aflora en los bordes de la mesa de San Pedro también al sur de Aratoca y en la granja San Sebastián donde forma suelos espesos.

La Formación Los Santos es considerada de edad Berriasiano (Cediél, 1968; Etayo y Rodríguez 1985). Litológicamente es comparable con la Formación Tibu- Mercedes del Catatumbo-Maracaibo. Consta de arenisca de color marrón, verdoso, rojizo y gris amarillento, de grano fino a medio, micáceas, algo feldespáticas, en capas medianas y gruesas, algunas conglomeráticas. Se intercalan delgadas capas de arcillolita de color gris verdoso a rojizo y gris amarillento a marrón; algunas arenosas, micáceas, con abundantes intercalaciones de areniscas amarillas rojizas a marrón rojizas, de grano fino.

Morfológicamente presenta formas escarpadas resultado la dureza de sus niveles arenáceos y zonas de pendientes suaves a planas. Cuando las rocas se alteran, produce suelos espesos y ácidos, solo presenta problemas de estabilidad en zonas donde la pendiente escarpadas y el fracturamiento se unan, cuando los suelos cambian su origen en ácido y espesos es debido a que la resistencia de las areniscas es alta y su estratificación es aproximadamente horizontal (ver fotos 8 y 9).

7.1.3. Formación Rosa Blanca (Kir)

La formación aflora desde el municipio de Curití hasta el occidente y sur de Aratoca y tiene una longitud aproximada de 11 Km y 4 Km de ancho, el cual está compuesta en su parte inferior por capas de caliza y yeso con oolitos, ostrácodos y dolomías también presenta depósitos evaporíticos como yeso y polihalita que indican una hipersalinidad y tranquilidad en las condiciones de depositación; el resto de la secuencia se depositó en un medio marino somero en condiciones neríticas; hacia la parte superior consta de areniscas y lodolitas calcáreas. Presenta una litología que se compone de calizas masivas, gris oscuras a azulosas, fosilíferas, de textura media a gruesa, en capas medianas y gruesas; con algunas intercalaciones de arenisca gris amarillenta, masiva, grano fino, y con esporádicas intercalaciones de arcillolita de color gris amarillento, localmente arenosa, calcárea y fosilífera.

Debido a su composición las rocas de esta formación son bastante duras y resistentes y por la posición horizontal de sus capas, se consideran como estables y poco susceptibles a colapsar, pero donde se presentan zonas de fracturamiento pueden generar volcamientos y caídas de roca. Esta formación reposa de manera afín sobre la formación los Santos

7.1.4. Formación Jordán (Ji)

Esta aflora desde la quebrada La Playa en cercanías a Aratoca, pasando por la vereda Guasimo, hasta el río Chicamocha. La cual está compuesta en su parte superior por intercalaciones de limolitas de color rojo grisáceo y arenisca de grano muy fino, en capas medianas. Se reporta niveles de tobas soldadas gris verdosas. Hacia la parte interior afloran aproximadamente 100m de espesor de areniscas de grano grueso, grises verdosas que varían a areniscas conglomeráticas con estratificación cruzada. Se presentan capas muy gruesas

de limolitas de color gris verdoso. El espesor para la Formación Jordán varia desde 50 m hasta 600 m y se encuentra en contacto discordante con la suprayacente Formación los Santos. Por sus relaciones estratigráficas se considera de edad Jurásico Inferior y medio. Esta formación se caracteriza por una baja porosidad intergranular, debido al alto grado de cementación de las rocas; aunque presenta un alto grado de fracturamiento, las diaclasas están cerradas y en ocasiones rellenas de calcita, lo cual indica baja permeabilidad y una baja porosidad secundaria; por esta razón, la Formación Jordán correspondería a un acuitardo (ver fotos 8 y 9).

7.1.5. Formación Girón (Jg)

En el área aflora principalmente en una delgada franja ubicada por debajo de los escarpes que bordean la mesa de San Pedro y los llamados Escarpes de Cruz de Piedra, Potreros y Junque.

Está conformada por areniscas conglomeráticas y conglomerados, gris amarillento a pardo rojizo, masivos y lenticulares. En los niveles conglomeráticos la Formación Girón presenta alta porosidad primaria y en general se encuentra altamente fracturada. Por estas características, dicha formación puede actuar como un acuífero.

La formación Girón reposa de manera transicional sobre la formación Jordán y está cubierta de manera discordante por la formación Los Santos (Tambor).

Las rocas que componen esta formación son bastante resistentes y sus capas se encuentran en posición sub horizontal, pero se encuentran afectadas por fracturamiento intenso debido a la falla de Los Santos – Aratoca. A esta formación se presentan asociados problemas geológicos que corresponden a caídas de rocas (ver fotos 8 y 9).



Foto 8. Morfología escarpada de las formaciones Los Santos (Kis o Tambor Kita), Girón (Jg) y Jordán (Jj). Imagen tomada desde la Mesa de San Pedro del municipio de Aratoca.
Fuente: Investigación de los autores, 2008.



Foto 9. Morfología escarpada que producen las formaciones Los Santos (Kis o Tambor Kita), Girón (Jg) y Jordán (Jj). Imagen que muestra caídas de roca de la formación Los Santos, tomada desde la Granja San Sebastián del municipio de Aratoca.
Fuente: Investigación de los autores, 2008.

7.1.6. Depósitos Cuaternarios

El cuaternario es la última época de la historia de la tierra, por lo tanto incluye todos los fenómenos que suceden hoy, en general se puede afirmar que estos depósitos evidencian una sedimentación activa reciente en la que se combinan los procesos geomorfológicos y tectónicos.

- **Coluvión (Qc)** Corresponden a depósitos de materiales derivados de la descomposición de las rocas, el cual ha sido transportado ladera abajo por la fuerza de gravedad. Puede variar en composición desde un conglomerado de bloques sin matriz, hasta una masa de material fino o con solo algunos bloques, estos se depositan en pequeñas depresiones o cambios en la inclinación de la pendiente. La presencia de coluviones es un indicativo de la inestabilidad de una región. La presencia de coluviones es una evidencia de que han ocurrido deslizamientos en el pasado (Abeykoon, 2000).

En la zona son abundantes, sus espesores son menores de 10 metros y están constituidos por suelos areno arcillosos blandos, mezclados con fracciones de roca de las formaciones, Girón, Jordán, Rosablanca y Los Santos.

- **Aluvión (Qal)** Corresponden a depósitos de material heterogéneo los cuales son transportados por las corrientes de agua y depositados en sus márgenes cuando la velocidad del agua ha disminuido. Debido a su poca cementación, los materiales aluviales son propensos a erosión y deslizamientos. Los suelos aluviales cementados forman en ocasiones, terrazas altas con niveles freáticos colgados muy susceptibles a los deslizamientos, en la zona se observo diferentes niveles de terraza en las corrientes de los afluentes como el rio Chicamocha y la quebrada La Playa. Estas están constituidas por una mezcla de bloques, cantos y guijos, de formas subangulares a redondeadas, de variada composición,

de hasta 6 m de diámetro, embebidos en una matriz guijo-arenosa lodosa suelta.

- **Derrumbes Antiguos (Qd)** Corresponden a materiales compuestos por bloques heterogéneos, de forma subangular a angular, de hasta 10 m de diámetro, que provienen de sectores topográficamente más elevados, de donde se han desprendido y han sido desplazados posteriormente por efectos gravitacionales. Se observan depósitos de este tipo a lo largo de los escarpes que conforman los llamados Cinchos o Escarpes de Cruz de Piedra y Potreros, con espesores variables. Se destaca un derrumbe antiguo en el sector de subecito cerca de la población de Jordán Sube, con una dimensión de 4 km de ancho por 2 de largo.

7.2. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La zona de estudio está influenciada por la tectónica de la cordillera Oriental de los Andes colombianos, la cual hace parte de un territorio tectónicamente dinámico y su distribución está relacionada con la interacción de las placas tectónicas Nazca, Caribe y Suramérica.

El área de estudio está influenciada por dos estructuras importantes, las cuales corresponden a la falla de Bucaramanga y la Falla Suárez, estas fallas indican un ambiente tectónico de transpresión oblicua y han ocasionado procesos de deformación de la secuencia sedimentaria del Jurásico-Cretácico.

7.2.1. Falla Aratoca

Las estructuras presentes en el área son la falla de Los Santos y la falla de Aratoca las cuales tiene dirección general Noroeste, la falla de Aratoca es una falla inversa, de alto ángulo, el cual levanta el bloque oriental de la formación Silgará y la pone en contacto con rocas de las formaciones Girón y Jordán,

éste desplazamiento ha generado un valle profundo donde se ubica la zona urbana del municipio de Aratoca (ver foto 10). Sin embargo hacia la parte occidental del área, se observa una relativa tranquilidad tectónica, reflejada en un suave basculamiento hacia el occidente de la cobertera sedimentaria. La falla de Los Santos es anterior a la de Aratoca ya que en ésta se evidencia un desplazamiento por otras fallas de dirección perpendicular a ella, en la zona de río Chicamocha. En la figura 7 se ilustra un esquema estructural del Departamento de Santander y dentro de un ovalo se muestra la Falla Aratoca – Los Santos.

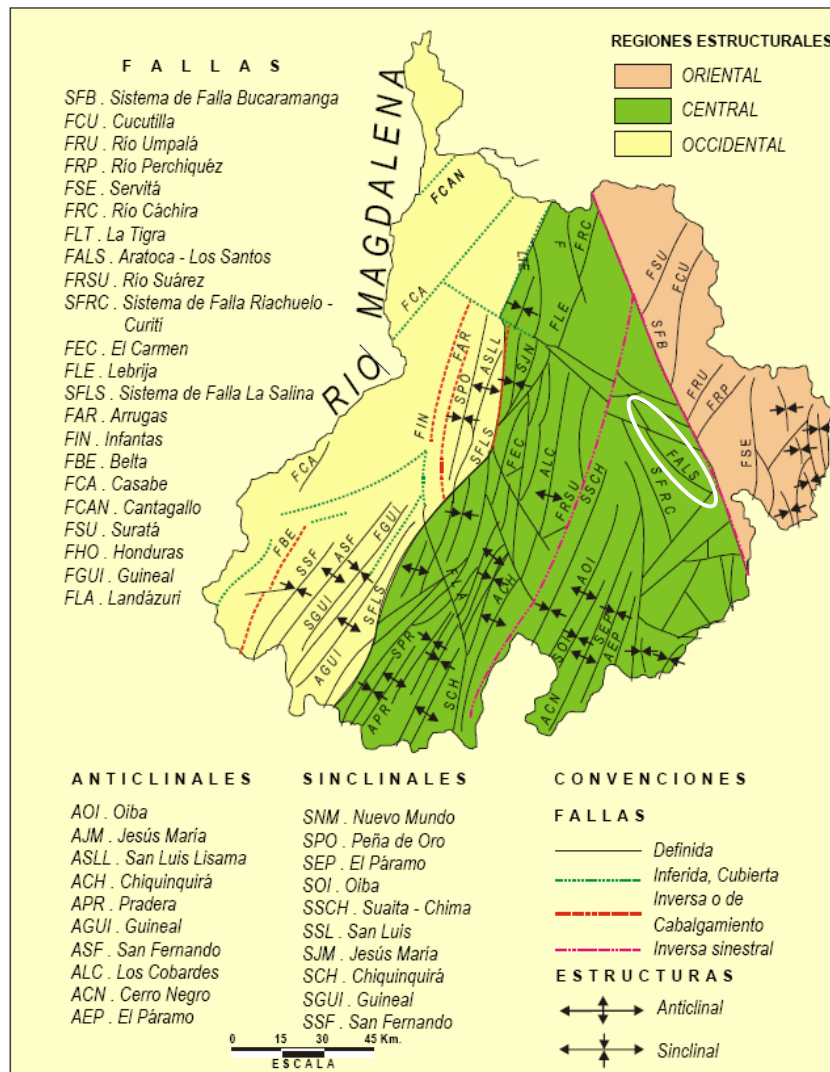


Figura 7. Esquema estructural del Departamento de Santander, en el ovalo blanco se muestra la Falla Aratoca – Los Santos.

Fuente: Vargas (1979); León (1986, 1991); Clavijo, et; al. (1993)



Foto 10. Panorámica del valle profundo donde se encuentra la zona urbana del municipio de Aratoca. Imagen tomada desde la vía Bucaramanga – Bogotá.
Fuente: Investigación de los autores, 2008.

7.2.2. Clasificación de los materiales que conforman el movimiento en masa

La clasificación de dichas rocas se realiza textural y composicionalmente siguiendo unos parámetros de tamaño de grano, distribución de tamaños, morfología de los clastos, madurez textural y empaquetamiento. Antes de hacer la clasificación de las rocas encontradas en el deslizamiento se hará una explicación de cada parámetro.

Tamaño de Grano: grava ($\Phi > 2\text{mm}$), arena ($62\mu < \Phi \leq 2\text{mm}$) y fracción lodo ($\Phi \leq 62\mu$), para mayor claridad, a continuación se presenta la tabla 5 con todos los tamaños y nombres respectivos de cada roca.

DIAMETRO		CLASE	ROCA
mm	micras		
4,096	-	GRAVA	CONGLOMERADOS
256	-		
64	-		
4	-		
2	-		
1	-	ARENA	ARENISCAS
0,5	500		
0,25	250		
0,125	125		
0,062	62		
0,031	31		
0,016	16	FRACCION LODO	LUTITAS
0,008	8		
0,004	4		
			ARCILLITAS

Tabla 5. Clases granulométricas y correspondientes nombres de rocas detríticas.
Fuente: Castro Dorado, Alfonso. Petrografía Básica, Editorial paraninfo, Madrid, España. 1989.

De la anterior tabla se puede concluir que los limos y arcillas tienden a ser inestables en estado saturado, cabe aclarar que las partículas de arcilla poseen una composición mineral que las hacen susceptibles a expansión.

Distribución de Tamaños: la distribución de los tamaños de grano presentes en la roca es una representación de las circunstancias de transporte y sedimentación, por lo cual es un factor importante en cuanto a sedimentología se refiere. La forma de calcular la dispersión es mediante la desviación estándar tomada a 2/3 de la frecuencia máxima. Dicha desviación se conoce en rocas sedimentarias con el nombre de sorting. El sorting es simbolizado por la letra griega σ (sigma) y puede ser conocido de forma aproximada utilizando los patrones de la figura 8.

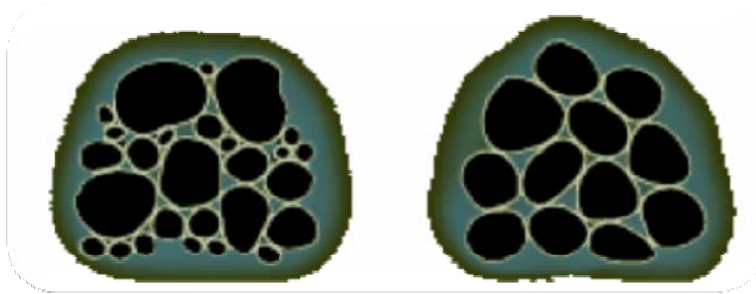


Figura 8. Sorting de Rocas Sedimentarias.
 Fuente: http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/casado/GEORED/Sedimentarias

Morfología de los Clastos: la forma de los granos o clastos también puede tener implicaciones sedimentológicas, por lo que es un dato significativo en la particularidad petrográfica de las rocas detríticas (ver figura 9).

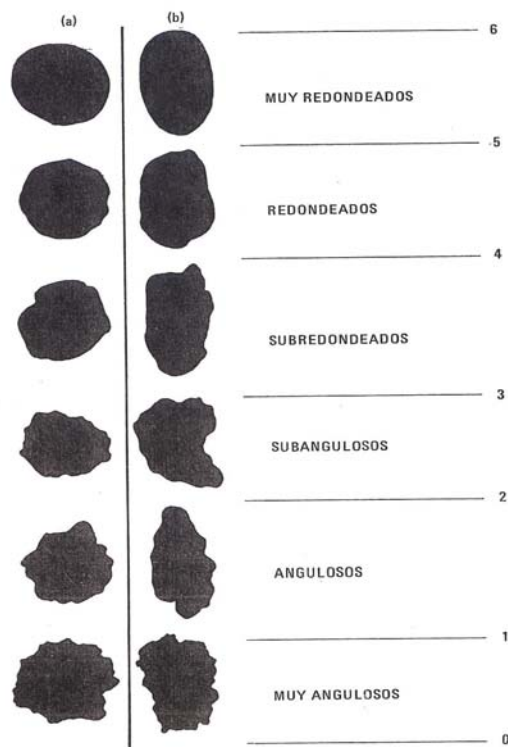


Figura 9. Patrón para determinar la redondez de los clastos.
 Fuente: Castro Dorado, Alfonso. *Petrografía Básica*, Editorial paraninfo, Madrid, España. 1989.

Madurez textural: cuanto más largo y/o intenso haya sido el proceso de transporte de una roca detrítica ésta será más madura. Esas rocas maduras generalmente poseen granos redondeados (como consecuencia del proceso de

transporte), presentan una distribución informe, es decir tamaño de grano muy similares, y por su carencia de matriz (ver figura 10).

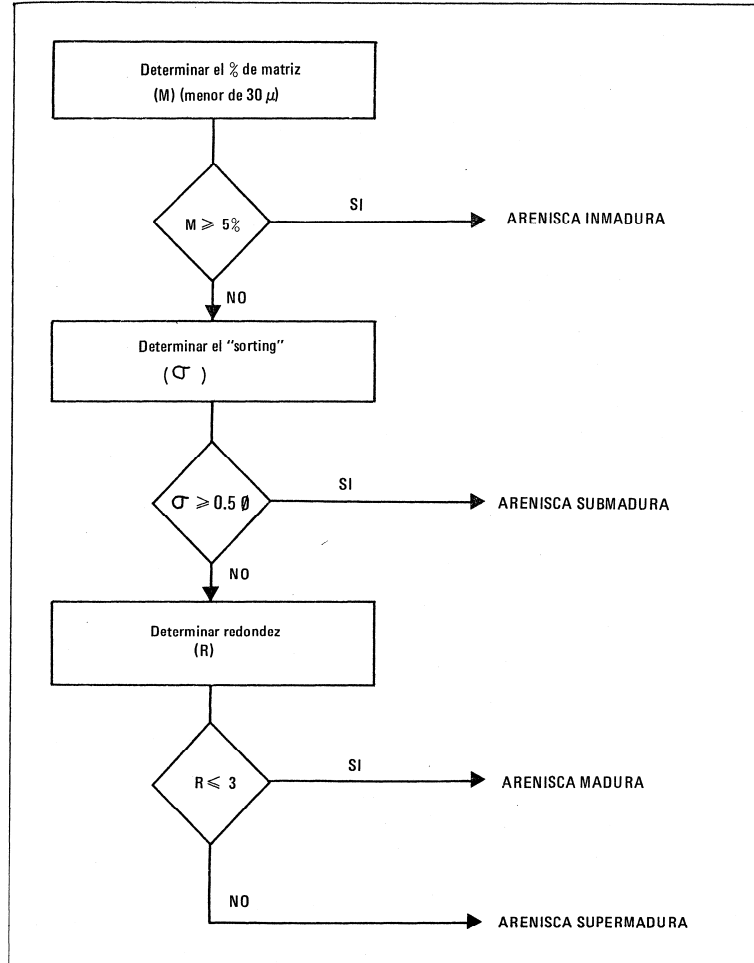


Figura 10. Diagrama de flujo para determinar la madurez textural en Areniscas.
Fuente: Castro Dorado, Alfonso. Petrografía Básica, Editorial paraninfo, Madrid, España. 1989.

Empaquetamiento: la zona intersticial de los clastos puede estar habitada por material detrítico fino o cemento. Tal espacio puede ser menguado durante la diagénesis al punto de extinguirse, dando paso a una textura en mosaico si tienen lugar procesos de disolución y recristalización.

7.2.3. Composición de los materiales que conforman el movimiento en masa

Los clastos detríticos se originan por disolución de rocas cristalinas y/o sedimentarias precedentes. Por lo cual pueden ser cristales aislados, fracciones de cristales y fragmentos de roca sin disgregar. El cuarzo y los feldespatos están reunidos en la mayoría de las rocas ígneas y metamórficas, por lo que son los cristales más abundantes en rocas detríticas. Otro factor influyente en la presencia de un mineral en las rocas detríticas es la resistencia de dicho mineral a la alteración, el cuarzo y los feldespatos son altamente resistentes, de ahí la razón por la cual estén presentes en elevadas proporciones.

Las rocas detríticas son principalmente formadas por cuarzo, feldespatos, fragmentos de roca y matriz arcillosa. En la figura 11 se muestra la secuencia de los minerales más comunes, ordenados según el grado de alteración química.

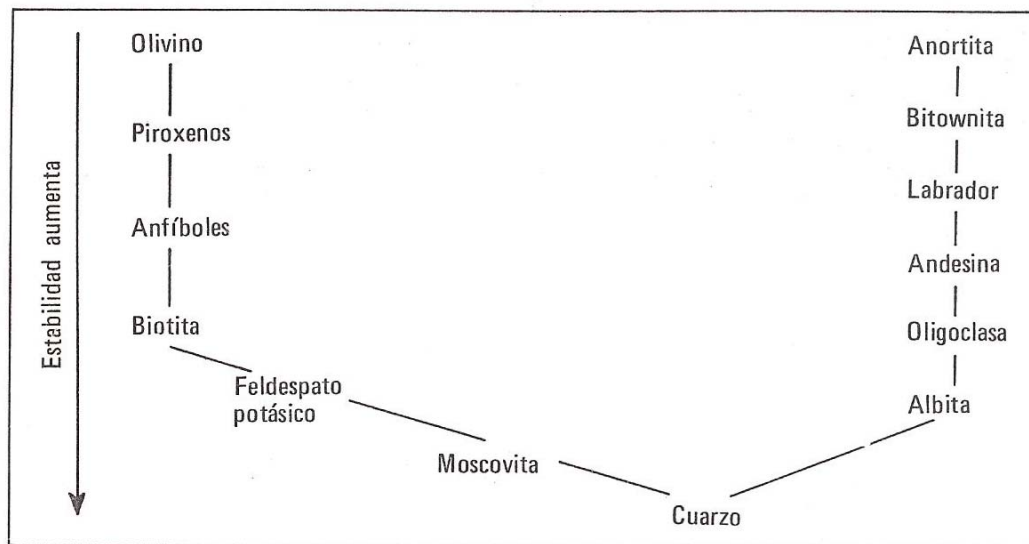


Figura 11. Secuencia de los minerales más comunes en las rocas cristalinas, ordenados según el grado de alteración química.

Fuente: Castro Dorado, Alfonso. *Petrografía Básica*, Editorial paraninfo, Madrid, España. 1989.

Las rocas de calibre de grano tipo arena, areniscas, son las que constituyen mayor interés sistemático y poseen categorización propia. El principio de

clasificación de las areniscas es el porcentaje modal de los cuatro componentes siguientes:

Q: Clastos de cuarzo. Incluyendo fragmentos de cuarcitas y clastos de cuarzo monominerálicos. Exceptuando el cuarzo micro cristalino tipo chert.

F': feldespato potásico, plagioclasas y fragmentos de rocas de granitos y gneises.

FR: fragmentos de roca. Cualquier fragmento de roca con excepción de los indicados anteriormente. Se incluyen en *FR* los fragmentos de cuarzo micro cristalino tipo chert.

Matriz: material arcilloso de tamaño inferior a 30micras. Excluyendo los minerales arcillosos autógenos.

Existen varias clasificaciones de areniscas en función de estos cuatro componentes, de las cuales la más utilizada es la de Folk (1974), donde dos grandes grupos de areniscas se distinguen atendiendo el porcentaje de matriz: arenitas y grauvacas. (Ver figura 12)

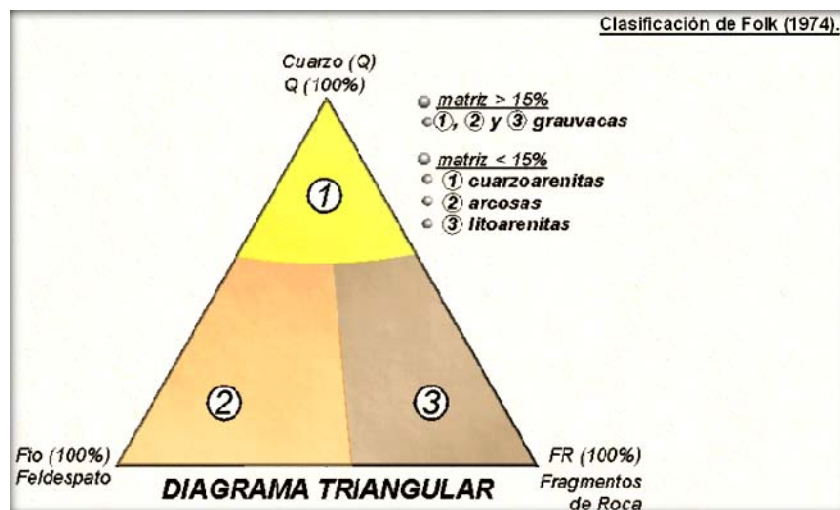


Figura 12. Clasificación de Arenitas y Grauvacas.
Fuente: http://www.uam.es/personal_pdi/ciencias/casado/GEORED/Sedimentarias

A continuación se van a clasificar las muestras obtenidas en campo siguiendo los anteriores parámetros.

7.2.4. Estratos que conforman la zona del movimiento en masa

Para lograr tomar las muestras de cada estrato se realizaron ocho visitas, de las cuales las dos primeras fueron de inspección y registro fotográfico, registro en el que se logró definir cinco estratos y planear la forma de tener acceso a ellos. En las visitas restantes se procedió a tomar muestras de cada estrato previendo el difícil acceso a los dos niveles superiores se decidió hacer un barrido del escarpe hasta encontrar el afloramiento de cada estrato y de esta manera hacer menos complicada la tarea de tomar la porción de roca. Para el estrato tres se tomó la muestra de un bloque desplazado hacia la parte baja del escarpe y las muestras de los estratos restantes fueron extraídas de unidades insitu por su fácil acceso.

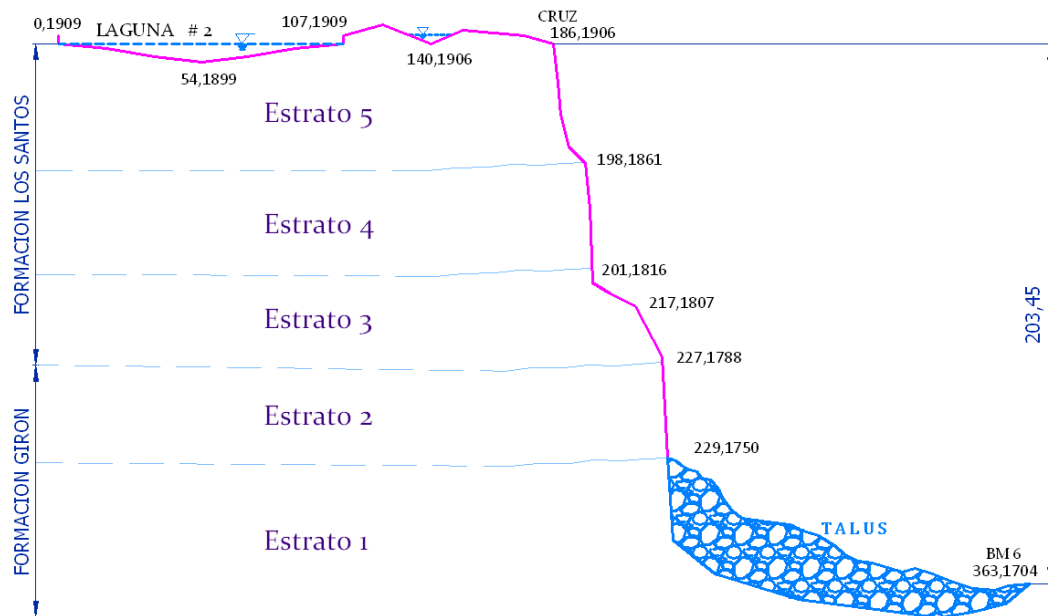
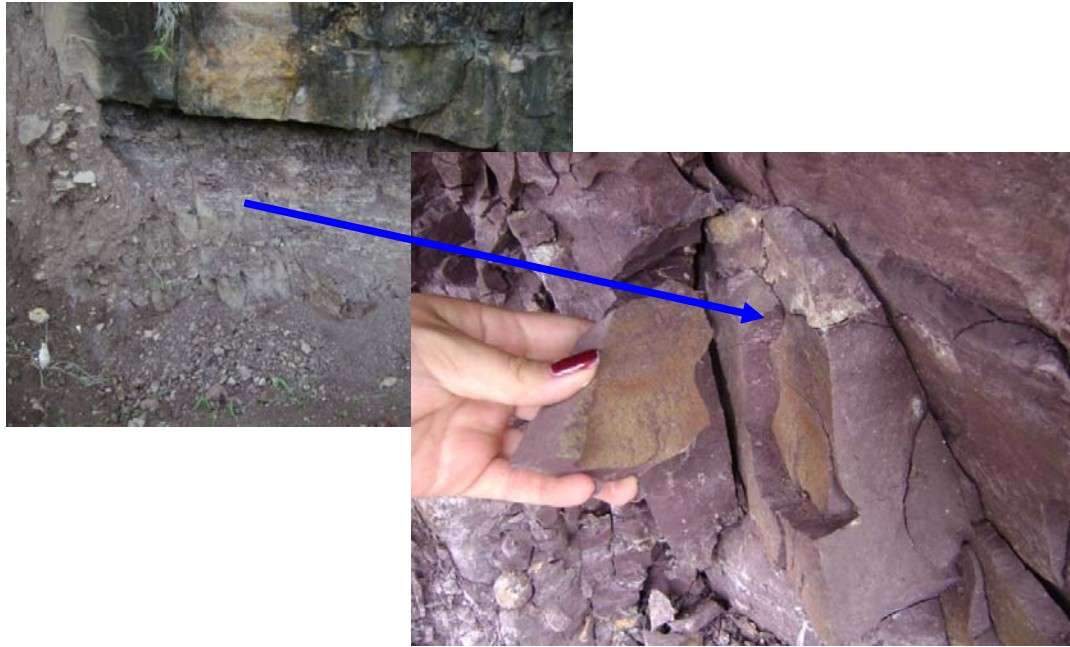


Figura 13. Sección transversal del talud, con sus estratos
Fuente: Investigación de los autores, 2008.

- Estrato 1, muestra tomada de roca insitu, perteneciente a la formación Girón.



*Foto 11. Estrato 1
Imagen tomada al costado izquierdo de la vía Aratoca – Vereda El Palmar.
Fuente: Investigación de los autores, 2008.*

Este tipo de roca no tiene diagrama de clasificación porque son limolitas. Ésta roca es una limolita masiva laminada de color rojizo, con tamaños de grano tipo Limo, en la cual no se habla de matriz ni de cemento.

- Estrato 2, muestra tomada de roca insitu, perteneciente a la formación Girón.



Foto 12. Estrato 2
 Imagen tomada desde el BM7, y la muestra es tomada en el bloque insitu del talud.
 Fuente: Investigación de los autores, 2008.

CLASIFICACION TEXTURAL

Grano	Grueso - Granular
Distribución de Tamaños, sorting	1
Morfología de los Clastos	Subredondeado
Porosidad	1%
Cemento	18%
Armazón	81%

CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL

Clastos	10%
Feldespatos potásicos y plagioclasas	60%
Fragmentos de Roca	30%

La muestra texturalmente es una Arenisca conglomerática y composicionalmente es una grauvaca feldespática.

- Estrato 3, muestra tomada de una roca desplazada. Perteneciente a la formación Los Santos

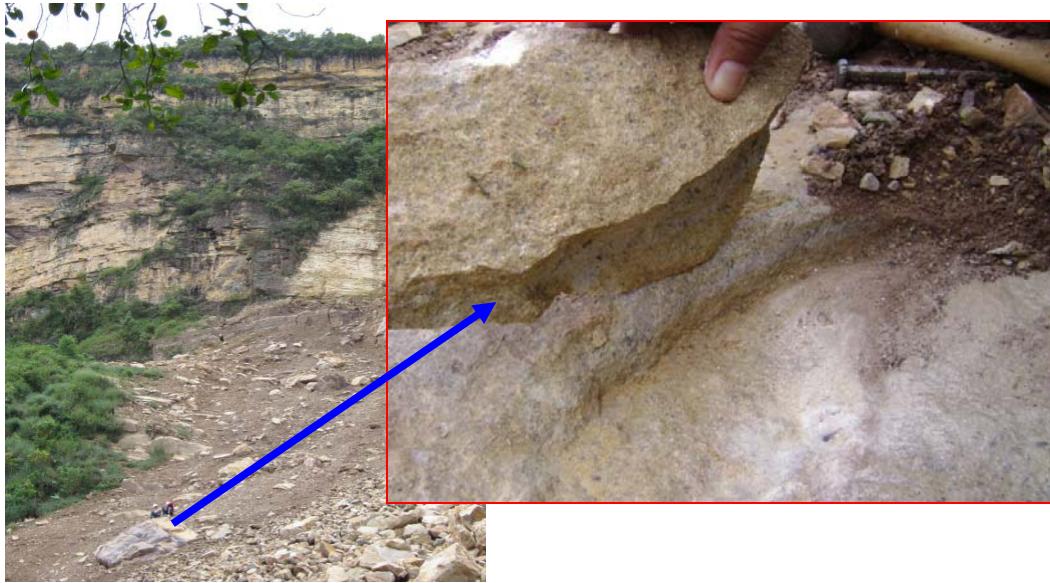


Foto 13. Estrato 3
 Imagen tomada de un bloque desplazado, sobre el talus.
 Fuente: Investigación de los autores, 2008.

CLASIFICACION TEXTURAL

Grano	Medio - Gueso
Distribución de Tamaños, sorting	1
Morfología de los Clastos	Subredondeado - Redondeado
Porosidad	5%
Cemento	16%
Armazón	79%

CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL

Clastos	95% - 98%
Feldespatos potásicos y plagioclasas	2%-4%
Fragmentos de Roca	1%

La muestra texturalmente es una Arenisca de grano grueso y composicionalmente es una cuarzoarenita.

- Estrato 4, muestra tomada de un caído. Perteneciente a la formación Los Santos



Foto 14. Estrato 4
 Imagen tomada de un bloque desplazado, sobre el talus.
 Fuente: Investigación de los autores, 2008.

CLASIFICACION TEXTURAL

Grano	Arena muy fina- Fina
Distribución de Tamaños, sorting	0,5
Morfología de los Clastos	Muy redondeados- bien redondeados
Porosidad	Escaza 2%
Cemento	13%
Armazón	85%
Madurez textural	Arenisca inmadura

CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL

Clastos	80% - 85%
Feldespatos potásicos y plagioclasas	10% - 15%
Fragmentos de Roca	5%

La muestra texturalmente es una Arenisca y composicionalmente es una subarcosa.

- Estrato 5: muestra tomada vía Bucaramanga-Bogotá costado izquierdo Km 69. Perteneciente a la formación Los Santos

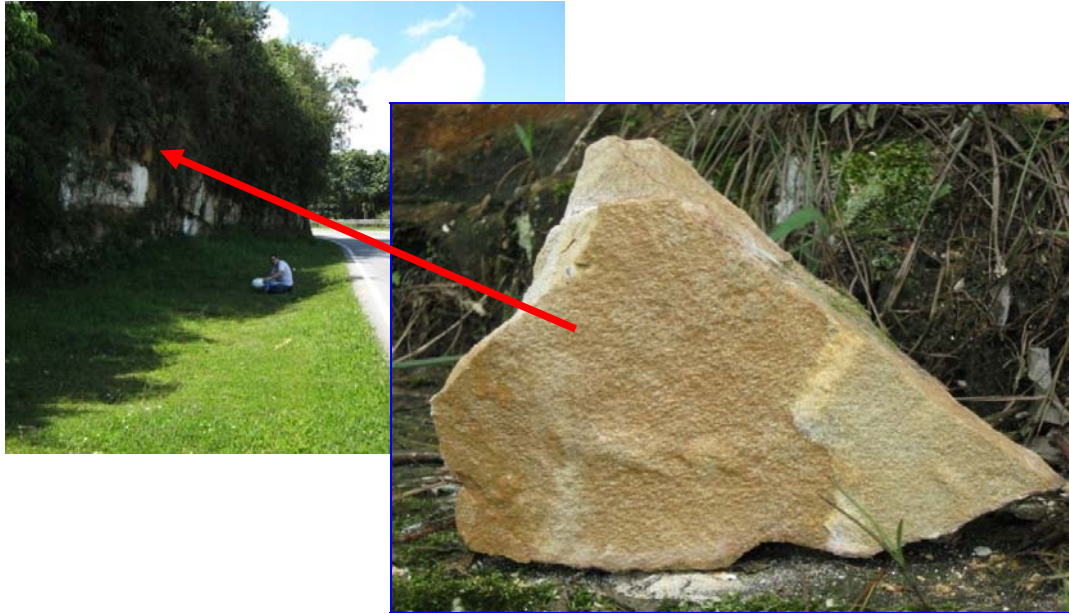


Foto 15. Estrato 5
 Imagen tomada al costado izquierdo de la vía Bucaramanga-Bogotá, km 69.
 Fuente: Investigación de los autores, 2008.

CLASIFICACION TEXTURAL

Grano	Arena muy fina- Fina
Distribución de Tamaños, sorting	0,35
Morfología de los Clastos	Muy redondeados- bien redondeados
Porosidad	Escaza 2%
Cemento	13%
Armazón	85%
Madurez textural	Arenisca inmadura

CLASIFICACIÓN COMPOSICIONAL

Clastos	80% - 85%
Feldespatos potásicos y plagioclasas	10% - 15%
Fragmentos de Roca	5%

La muestra texturalmente es una Arenisca y composicionalmente es una subarcosa.

8. MECANISMOS DE FALLA

En los taludes tanto naturales como artificiales en donde la pendiente es altamente pronunciada se encuentra material suelto con alto riesgo de erosión, y con tendencia a sufrir fenómenos de remoción en masa como consecuencia de la pendiente y la velocidad que el agua puede desarrollar sobre los mismos. Debe tenerse en cuenta que el talud debe ser primordialmente seguro para evitar al máximo cualquier riesgo de inestabilidad. Es claro que esa estabilidad depende también de factores como el material del cual está compuesto el cuerpo del talud, de la dirección de sus estratos y de la influencia tectónica a la cual esté expuesto, éstos agentes deben tenerse en cuenta para el análisis de los posibles mecanismos de falla que puedan presentarse.

Cuando un talud estable cambia su estado a inestable y se genera un movimiento en masa, el desplazamiento y la forma en que sucede se le conoce como mecanismo de falla. Para dar una definición técnica correcta se requiere conocer detalladamente lo que ocurre al interior y exterior del talud, es decir, como funcionan los agentes detonantes. La mayoría de taludes siempre están en procesos de evolución es por esto que tienen apariencia de estables pero realmente no lo son ya que se pueden desestabilizar con el tiempo.

Los factores más determinantes en la estabilidad de cualquier talud son la geomorfología la cual define las formas del terreno, esquemas de drenaje y pendientes, la tectónica, sismicidad y fracturación en las cuales se deben estudiar las discontinuidades y el direccionamiento de las formaciones geológicas, otro aspecto importante se encuentra en las anomalías climáticas y la hidrogeología en las que se detallan aspectos como alturas, presencias de cambios topográficos abruptos, vegetación, precipitaciones, porosidad de la zona y estado de meteorización. Para el estudio de estabilidad del macizo no se tuvo en cuenta la orientación ni la cantidad de discontinuidades ya que en el

análisis no requiere de esta información y además la complejidad del terreno a causa de las caídas dificulta detallar el fenómeno.

Según Varnes (1978) existen varios tipos de movimientos de remoción en masa dentro de los cuales están caídas de roca, deslizamiento y volteo (toppling).

8.1. VOLTEO (TOPPLING)

Es un mecanismo usual en taludes rocosos y en algunos casos en suelos cohesivos secos y en suelos residuales, con pendiente fuerte, se presenta cuando la fuerza resultante del bloque en estudio, se ubica en la parte superior de un punto pivote ubicado en la base del bloque, este fenómeno se da en rocas con discontinuidades casi verticales, pudiendo llegar a abarcar miles de metros cúbicos. Existen cuatro tipos de volteo inclinación a flexión, inclinación de bloques, volteo hacia atrás y volteo múltiple.

8.1.1. Inclinación a Flexión

Es la inclinación de varias capas como si fueran vigas en voladizo, cada una de esas capas se inclina debido a su propio peso, transfiriendo esa fuerza a la capa adyacente.

8.1.2. Inclinación de Bloques

La inclinación de bloques se da en masas rocosas las cuales tienen espaciamientos relativamente anchos de discontinuidades y presentan forma tabular. Para que ocurra este tipo de volteo una de las condiciones es que el buzamiento debe ser menor que el ángulo de fricción de la discontinuidad.

8.1.3. Volteo hacia Atrás

Ocurre un giro hacia atrás y un resbalamiento sobre las discontinuidades, generalmente se presenta en bloques esbeltos y de gran tamaño con juntas semiparalelas a la superficie del terreno.

8.1.4. Volteo Múltiple

Este fenómeno incluye fallas de tensión y corte a lo largo de las discontinuidades en algunos casos a través de roca sana formando zonas de cortante similares a planos de falla. Esta clase de volteo ocasiona una serie de flujos en escalera o caídos.

8.2. ANALISIS DE VOLTEO

A continuación se muestran las condiciones que deben presentarse para que ocurra volteo, donde la relación base/altura se toma de la sección transversal del bloque, Ψ es el ángulo de falla o buzamiento y ϕ es el ángulo de fricción saturado de la roca, que en las areniscas es de 29° . Cabe aclarar que para todos los bloques se realizó el mismo análisis.

Se definieron cuatro condiciones así:

- Condición 1: bloque estable
- Condición 2: ocurre desplazamiento
- Condición 3: ocurre volteo
- Condición 4: ocurre desplazamiento y volteo

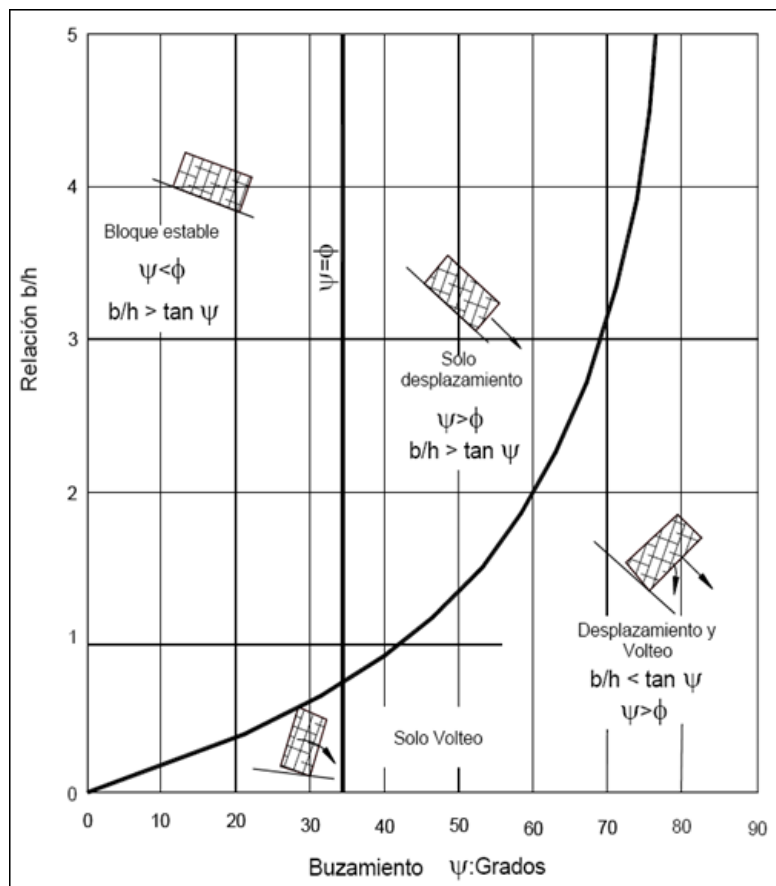


Figura 14. Condiciones de deslizamiento y volteo
Fuente: Suarez, Jaime (2008)

Para realizar el análisis de volteo se dimensionaron e identificaron los bloques propensos a este mecanismo de falla (ver fotos 16, 17 y 18).y obteniéndose la siguiente tabla de medidas.

BLOQUE	ANCHO (m)	ALTO h (m)	PROFUNDO b (m)	VOLUMEN (m ³)
1	25	90	9	20250
2	20	90	27	48600
3	75	90	27	182250
4	3,6	90	27	8748
5	65	90	27	157950
6	7	90	27	17010
7	9	90	27	21870

Tabla 6. Dimensiones aproximadas de los bloques susceptibles al deslizamiento.
Fuente: Investigación de los autores, 2008.



Foto 16 Bloque 1 ubicado en el costado derecho del talud de estudio susceptibles al volteo.
Fuente: INGEOMINAS.

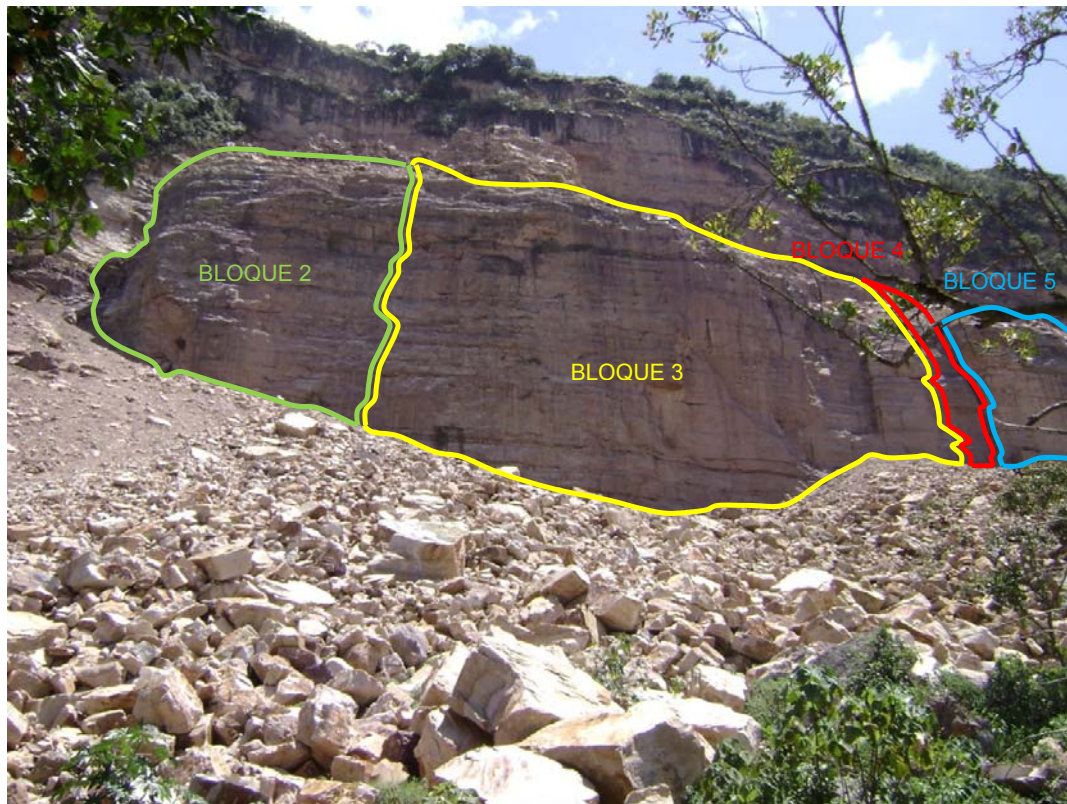


Foto 17 Bloques 2, 3, 4, y 5 susceptibles al volteo.
Imagen tomada desde los BM 7.
Fuente: Investigación de los autores, 2008.

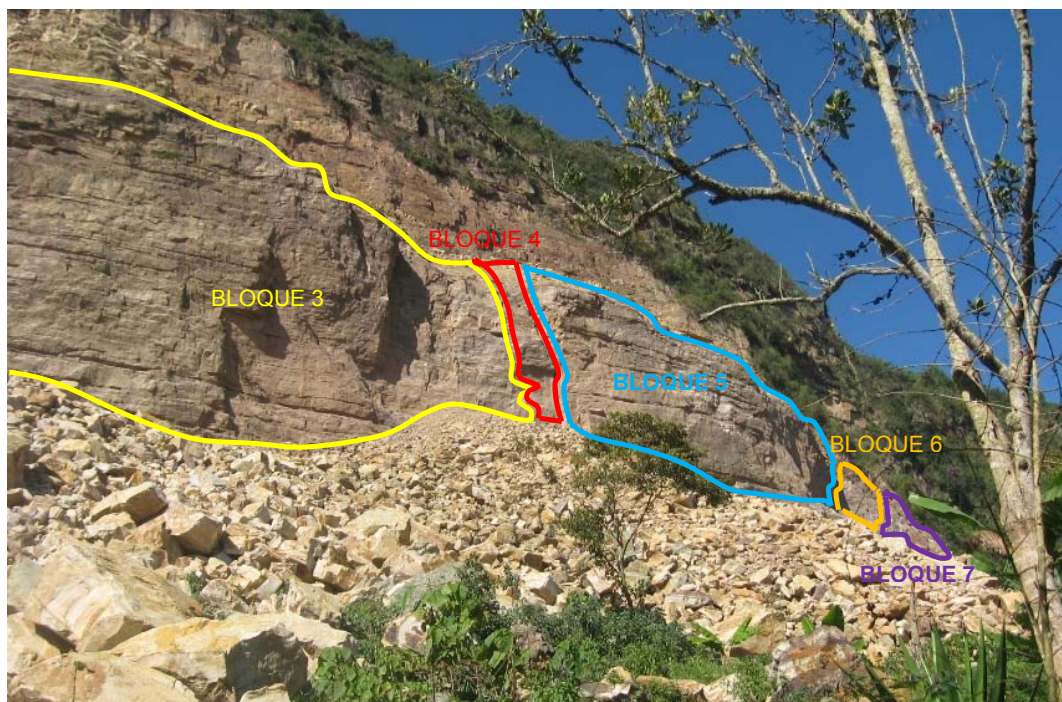


Foto 18. Bloques 3, 4, 5, 6 y 7 susceptibles al volteo.
 Imagen tomada desde los BM 6.
 Fuente: Investigación de los autores, 2008.

A continuación se mostrarán las fisuras formadas en la roca insitu que dividen cada uno de los bloques susceptibles al topple mostrados anteriormente. (Ver fotos 19, 20 y 21).

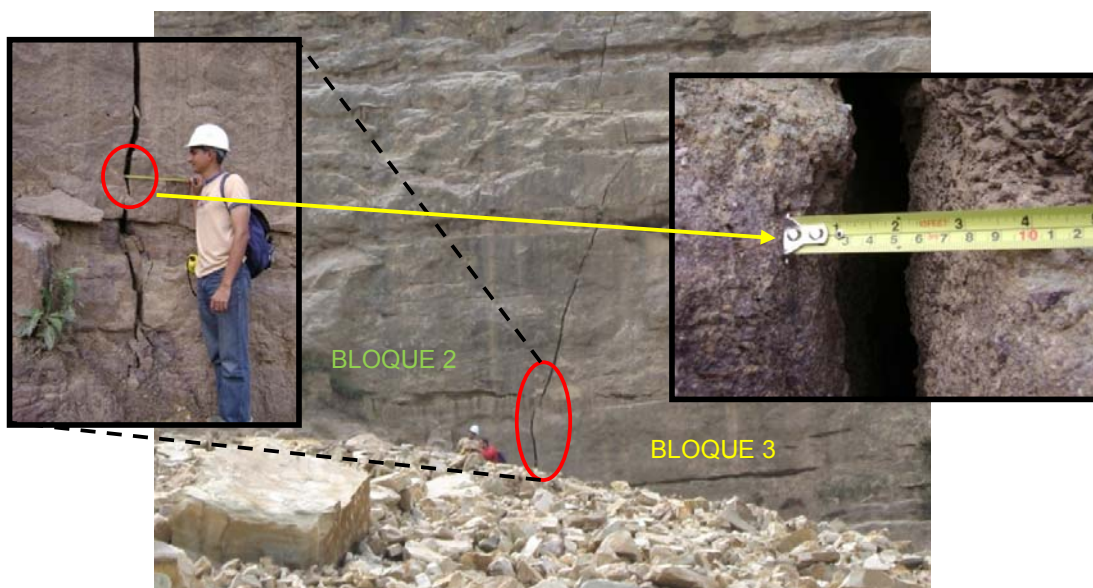


Foto 19. Fisura A, entre los bloques 2 y 3.
 Imagen tomada desde el BM 7, las coordenadas de la fisura son: 1232521N; 1115456E.
 Fuente: Investigación de los autores, 2008.

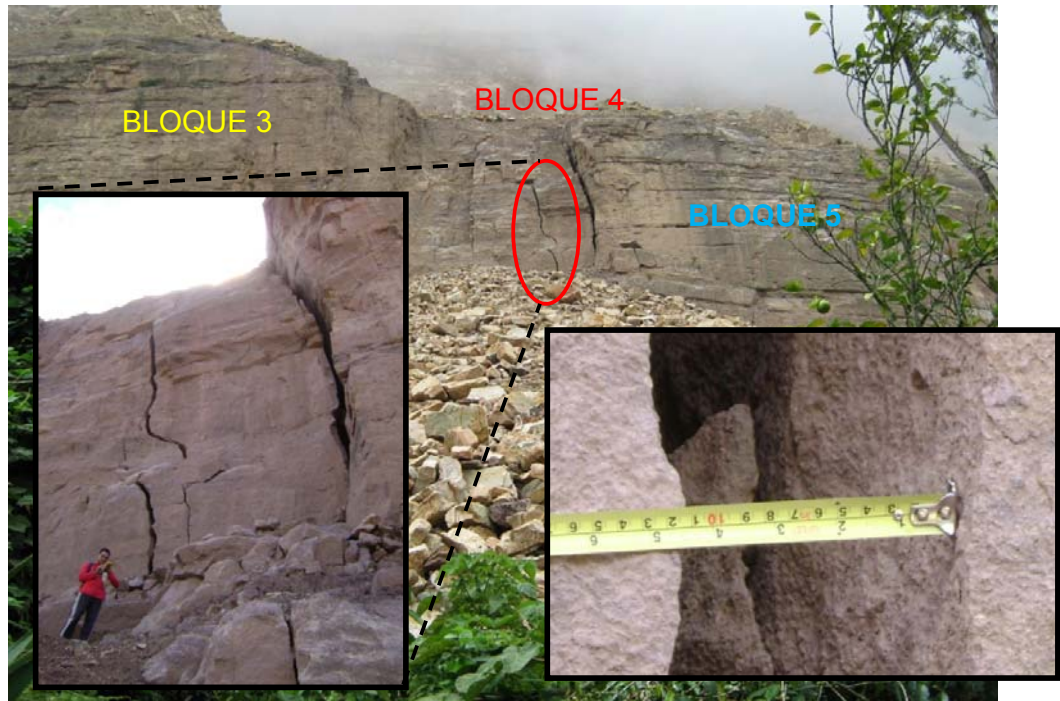


Foto 20. Fisura B, entre los bloques 3 y 4.
 Imagen tomada desde el BM 6, las coordenadas de la fisura son: 1232557N; 1115391E.
 Fuente: Investigación de los autores, 2008.



Foto 21. Fisura C, entre los bloques 6 y 7.
 Imagen tomada desde el BM 1, las coordenadas de la fisura son: 1232595N; 1115325E.
 Fuente: Investigación de los autores, 2008.

8.2.1. Inclinación del bloque 1

Con base en el seguimiento realizado al movimiento desde la zona Este del talud natural de la Graja San Sebastián, se observó que un bloque de aproximadamente de 25m x 90 m x 9 m, sufre un movimiento de volteo considerable. A continuación se muestra el registro fotográfico del seguimiento del volteo desde el 17 de abril hasta noviembre 30 de 2008 del bloque ubicado al costado derecho del deslizamiento (ver fotos 22, 23, 24 y 25) y el análisis del movimiento del bloque.

➤ Abril 17



Foto 22. Movimiento de un bloque 1 del talud en estudio, abril 17.
Imagen tomada desde el BM 2 (1232364N; 1115847E).
Fuente: INGEOMINAS.

➤ Abril 30



Foto 23. Movimiento de un bloque 1 del talud en estudio, abril 30.
Imagen tomada desde el BM 2 (1232364N; 1115847E).
Fuente: Investigación de los autores, 2008.

➤ Noviembre 3



Foto 24. Movimiento de un bloque 1 del talud en estudio, noviembre 3.
Imagen tomada desde el BM 2 (1232364N; 1115847E).
Fuente: Investigación de los autores, 2008.

➤ Noviembre 30



Foto 25. Movimiento de un bloque 1 del talud en estudio, noviembre 30.
 Imagen tomada desde el BM 2 (1232364N; 1115847E).
 Fuente: Investigación de los autores, 2008.

b (m)	9
h (m)	90
fi seco	30
fi saturado	29
Angulo de falla (Ψ)	38
RELACION b/h	0,1
tan Ψ	0,78

Condición 1	Otra condición
Condición 2	Otra condición
Condición 3	Otra condición
Condición 4	Ocurre desplazamiento y volteo

8.2.2. Inclinación de bloques restantes

Los bloques 2, 3, 4, 5, 6 y 7 se analizaron por un metro de ancho revisando cada una de los parámetros mostrados anteriormente y se concluyó que todos los bloques son estables ya que cumplen la condición 1.

➤ Bloques 2 a 5

b (m)	27
h (m)	90
fi seco	30
fi saturado	29
Angulo de falla (Ψ)	11
RELACION b/h	0,3
tan Ψ	0,19

Condición 1	El bloque es estable
Condición 2	Otra condición
Condición 3	Otra condición
Condición 4	Otra condición

➤ Bloques 6 y 7

b (m)	27
h (m)	60
fi seco	30
fi saturado	29
Angulo de falla (Ψ)	11
RELACION b/h	0,45
tan Ψ	0,19

Condición 1	El bloque es estable
Condición 2	Otra condición
Condición 3	Otra condición
Condición 4	Otra condición

8.3. DESLIZAMIENTO

Es un movimiento ocasionalmente rápido de masa de roca, suelo y/o cobertura vegetal direccionado según la pendiente del talud, estos desplazamientos se caracterizan por desarrollar una o varias superficies de falla accionados por fuerzas gravitacionales, sísmicas y otros factores ya mencionados, además se mueven como un solo bloque y al término del movimiento crean una zona de acumulación denominada talus (ver foto 26). Dentro de los tipos de deslizamientos existen el traslacional y el rotacional.

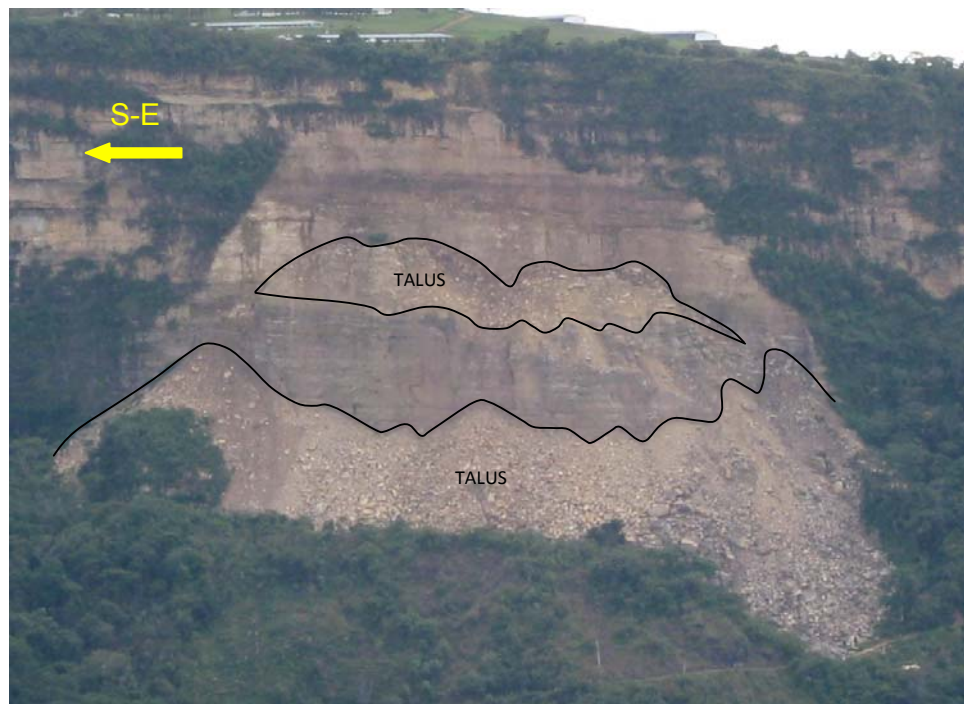


Foto 26. Formación de talus en el deslizamiento en estudio.
Imagen tomada desde meseta San Pedro (1236331N; 1116535E).
Fuente: Investigación de los autores, 2008.

8.3.1. Deslizamiento Traslacional

Consiste en el desplazamiento de una masa a lo largo de una superficie de ruptura de forma plana u ondulada, se da en suelos relativamente secos y con

poca cohesión, cuyo ángulo de fricción es menor que el ángulo de inclinación del plano de debilidad.

8.3.2. Deslizamiento Rotacional

Son maniobras en los que la superficie de falla es cóncava o en forma de cuchara con centro de giro por encima del centro de gravedad, lo que ocasiona un movimiento rotacional de la masa. Generalmente este tipo de movimientos se da en suelos blandos o formaciones de roca blandas.

8.4. ANALISIS DE DESLIZAMIENTO

La falla planar es un modo individual de falla que puede ocurrir en macizos de roca fracturada y corresponde a mecanismos traslacionales y ocasionalmente rotacionales. Para que ocurra este tipo de deslizamiento debe existir una discontinuidad y ésta debe aflorar sobre la superficie del talud.

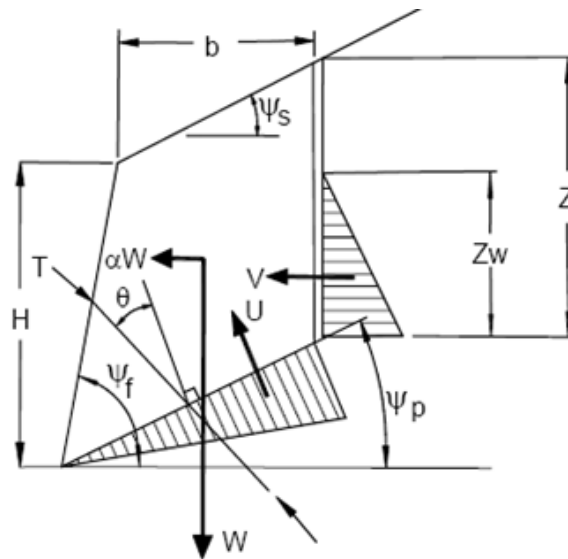


Figura 15. Grietas de tensión arriba de la cabeza del bloque
Fuente: Suarez, Jaime (2008)

Para realizar el análisis de deslizamiento se debe tener clara la geometría del bloque en estudio como se muestra en la figura 15, donde H es la altura frontal, b la profundidad, Z es la altura posterior, Z_w altura de presión de agua, W peso del bloque, V y U son componentes de la presión de agua, Ψ_s es el ángulo de la cresta, Ψ_f es el ángulo de la cara, Ψ_p es el ángulo a la superficie de falla y c es cohesión; con los anteriores parámetros se procede a hallar el área transversal de bloque, fuerzas que sostienen y empujan el bloque F y D respectivamente.

$$Z = H + b * \tan \Psi_f - b * \tan \Psi_p$$

$$A = (H + b * \tan \Psi_f - Z) * \operatorname{Cosec} \Psi_p$$

$$V = \frac{1}{2} \gamma_w Z_w^2$$

$$W = \frac{1}{2} \gamma_w H^2 \left[\left(1 - \left(\frac{Z}{H} \right) \right)^2 \operatorname{Cot} \Psi_p * (\operatorname{Cot} \Psi_p * \tan \Psi_f - 1) \right]$$

$$U = \frac{1}{2} \gamma_w Z_w (H + b \tan \Psi_f - Z) \operatorname{Cosec} \Psi_p$$

$$F = cA + (W \operatorname{Cos} \Psi_p - U - V \operatorname{Sen} \Psi_p) \operatorname{Tan} \phi$$

$$D = W \operatorname{Sen} \Psi_p + V \operatorname{Cos} \Psi_p$$

$$\text{Factor de Seguridad} = FS = \frac{F}{D}$$

Teniendo en cuenta las especificaciones anteriores se procedió a realizar el análisis de cada bloque, en el cual se varió la altura de presión de agua hasta el punto en que el bloque se colapsa, para llegar a este valor se consideró que el factor de seguridad (FS) debe ser menor que la unidad. Para el bloque 1 no se realizó análisis de deslizamiento puesto que ya había colapsado por volteo.

8.4.1. Deslizamiento Planar de los bloques 2 a 5

H (m)	90
B (m)	27
Ψ_f (grados)	86
Ψ_p (grados)	11
Ψ_s (grados)	38
Z (m)	101,47
Zw (m)	163
A	50,44
ϕ	29
V	13616,6
W	47897,91
U	4213,32
c	0,20
$W \cdot \text{sen} \Psi_p$	9139,35
$W \cdot \text{cos} \Psi_p$	47017,90
$V \cdot \text{sen} \Psi_p$	2598,17
$V \cdot \text{cos} \Psi_p$	13366,44
F	22296,86
D	22505,79

Factor de Seguridad
0,99 Colapsa aléjese!

8.4.2. Deslizamiento Planar de los bloques 6 y 7

H (m)	60
B (m)	27
Ψ_f (grados)	86
Ψ_p (grados)	11
Ψ_s (grados)	38
Z (m)	71,47
Zw (m)	163
A	50,44
ϕ	29

V	13616,6
W	47897,91
U	4213,32
c	0,20
$W*\text{sen}\Psi_p$	9139,35
$W*\text{cos}\Psi_p$	47017,90
$V*\text{sen}\Psi_p$	2598,17
$V*\text{cos}\Psi_p$	13366,44
F	22296,86
D	22505,79

Factor de Seguridad
0,99 Colapsa aléjese!

Ya que la altura de presión de agua debe ser muy alta para el colapso se concluye que los bloques son estables y además la infiltración proveniente de las lagunas sumada con la infiltración ocasionada por precipitaciones no es suficiente para desequilibrar ningún bloque pues es muy improbable que a causa de los factores mencionados se alcance una saturación prácticamente total del macizo rocoso

8.5. CAIDAS DE ROCA

Tiene que ver con el desprendimiento y descenso vertiginoso y libre de masas de roca de diferente tamaño, los cuales se dan en taludes con fuerte pendiente o en acantilados que presentan altos índices de erosión y poca o nada de vegetación. El movimiento de los caídos es rápido incluyendo caída libre, rodamiento, brincos, giros y rebotes; existen tres factores que controlan ésta dinámica la rugosidad, la pendiente y la morfología del talud.

Los caídos de roca están compuestos generalmente de roca sana y son altamente peligrosos para elementos abajo del talud, previo a la ocurrencia de los caídos se presenta una etapa de desgaste, la cual puede durar mucho

tiempo, en este tiempo la masa del talud sufre alteraciones que la hacen más sensible al desprendimiento, ya que cualquier evento de sismo o lluvia por mínimo que sea puede activar la masa de roca.

8.6. ANALISIS DE CAIDOS

En la zona se encontraron caídos de anteriores sucesos geológicos de tamaños similares a los presentes en el deslizamiento en estudio, cuyos diámetros llegan hasta 9.0 m. Estos caídos antiguos presentan una vasta vegetación y además en los registros históricos de Aratoca no se tiene señalamiento de sucesos de caídos hasta el presentado desde noviembre de 2006, razón por la cual se concluye que los caídos son de tiempos muy lejanos. (Ver fotos 27, 28, 29, 30 y 31)



*Foto 27. Caídos antiguos ubicados en la zona aledaña al deslizamiento ocurrido en Noviembre de 2006, Vereda El Palmar, Aratoca Santander.
Imagen tomada al costado izquierdo de la vía Aratoca – Vereda El Palmar.
Fuente: Investigación de los Autores, 2008.*



Foto 28. Caídos antiguos ubicados en la zona aledaña al deslizamiento ocurrido en Noviembre de 2006, Vereda El Palmar, Aratoca Santander.
Imagen tomada al costado izquierdo de la vía Aratoca – Vereda El Palmar.
Fuente: Investigación de los Autores, 2008.



Foto 29. Caídos del Deslizamiento en estudio, Vereda El Palmar, Aratoca Santander.
Imagen tomada desde el BM7
Fuente: Investigación de los Autores, 2008.



Foto 30. Caídos del Deslizamiento en estudio, Vereda El Palmar, Aratoca Santander.
Imagen tomada desde el BM1
Fuente: Investigación de los Autores, 2008.



Foto 31. Caídos del Deslizamiento en estudio, Vereda El Palmar, Aratoca Santander.
Imagen tomada desde la vía Aratoca-El Palmar
Fuente: Investigación de los Autores, 2008.

Para la simulación de los caídos de roca se utilizó el software llamado Colorado Rockfall Simulation Program (CRSP), CRSP simula desprendimientos de roca de un talud específico arrojando como resultados altura de salto, velocidad y distancia horizontal donde posiblemente puede caer un bloque de roca, éste tipo de modelamientos se realizan con el fin de diseñar vallas de contención para la protección de infraestructura.

Para el funcionamiento del software se deben introducir las características del talud; como el perfil o perfiles que se cree pueden sufrir movimientos, materiales que lo constituyen, las propiedades de la estructura que conforma los bloques de roca y sus tamaños, otros parámetros de geometría del talud que influyen en el comportamiento de desprendimientos son la inclinación, la longitud, la tortuosidad superficial (S) y la variabilidad lateral del talud. La inclinación y longitud de la ladera determinan las zonas y distancias de aceleración y desaceleración del desprendimiento. Estos dos parámetros de geometría del talud se introducen en el programa dividiendo la cuesta en segmentos llamados celdas, éstas se definen según las características topográficas de la ladera.

La tortuosidad superficial es un parámetro importante en el comportamiento del desprendimiento ya que cambia el ángulo en el cual una roca afecta la superficie de la cuesta. Este ángulo de impacto determina en gran parte el salto de los bloques de roca. La tortuosidad superficial (S) es definida como la variación perpendicular de la ladera dentro de una distancia igual al radio de la roca (R) (ver figura 16), estos dos factores son usados en el cálculo de la variación máxima aceptable del ángulo de la cuesta: $\theta_{max} = \tan^{-1} \left(\frac{S}{R} \right)$

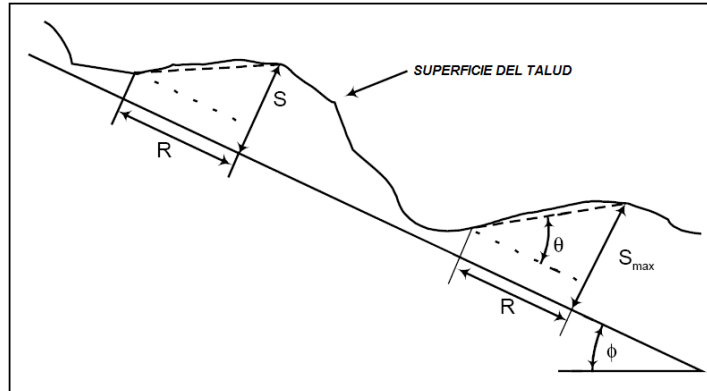


Figura 16. Tortuosidad superficial (S), radio de la roca (R), la variación máxima de la cuesta $\theta_{m\acute{a}x}$, y el ángulo del talud ϕ .
Fuente: Tutorial Colorado Rockfall Simulation Program (CRSP), 2000

Las propiedades de los materiales del talud influyen en el comportamiento del rebote de las rocas por la ladera, estas propiedades se representan como el coeficiente normal de restitución (R_n) y el coeficiente tangencial de resistencia (R_t), donde la dirección normal es perpendicular a la superficie de la cuesta y la dirección tangencial es paralela. El coeficiente normal (R_n) está determinado por la rigidez de la superficie del talud y ésta es una medida del cambio de la velocidad normal antes y después del impacto, el coeficiente tangencial (R_t) en cambio determina la reducción de la marcha de la componente paralela de la velocidad cuando la roca impacta sobre la cuesta. (Ver figura 17).

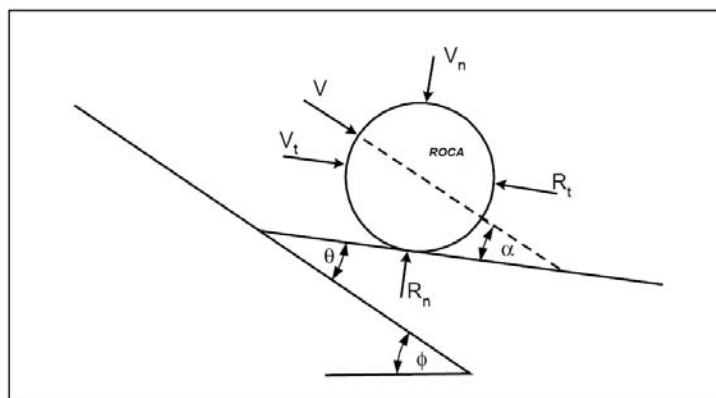


Figura 17. Ángulo de impacto (α) definido como una función de la trayectoria de roca, el ángulo de la cuesta (ϕ), y la variación de la cuesta (θ). La velocidad de la roca (V) es reducida a componentes normales (V_n) y componentes tangenciales (V_t). El coeficiente tangencial de resistencia (R_t) y el coeficiente normal de restitución (R_n) actúan para disminuir la velocidad de la roca descendiente.
Fuente: Tutorial Colorado Rockfall Simulation Program (CRSP), 2000

A continuación se muestra las tablas (7 y 8) con los valores sugeridos para introducir el coeficiente tangencial (R_t) y el coeficiente normal (R_n) al programa CRSP.

DESCRIPCION DE LA LADERA	COEFICIENTE TANGENCIAL (R_t)	COMENTARIOS
SUPERFIES DURAS LISAS Y PAVIMENTO	0,90 - 1,0	- R_t no es muy sensible comparado a R_n , pero puede ser importante para cuestas difíciles o considerablemente vegetadas Empleo más abajo R_t como la densidad de vegetación sobre los aumentos de la cuesta.
ENROCADO Y CAMPOS DE ROCA REDONDA	0,75 - 0,95	
TALUS Y LADERAS DE SUELO FIRMA	0,65 - 0,95	
LADERAS DE SUELO Suave *	0,50 - 0,80	

*Coeficientes de cuesta de suelo suaves fueron extrapolados de otros tipos de la cuesta debido a la carencia de datos

Tabla 7. Valores sugeridos para introducir el Coeficiente Tangencial
Fuente: Tutorial Colorado Rockfall Simulation Program (CRSP), 2000

DESCRIPCION DE LA LADERA	COEFICIENTE NORMAL (R_n)	COMENTARIOS
SUPERFIES DURAS LISAS Y PAVIMENTO	0,60 - 1,0	Para laderas bajas aplicar valores mínimos de cada rango
ENROCADO Y CAMPOS DE ROCA REDONDA	0,15 - 0,30	Si la velocidad máxima/ KE^* está designada por el criterio, use valores mínimos de cada rango; si velocidad media/ KE^* está designada por el criterio, use los valores mayores de cada rango.
TALUS Y LADERAS DE SUELO FIRMA	0,12 - 0,20	
LADERAS DE SUELO Suave **	0,10 - 0,20	

* KE = energía cinética

** Coeficientes de cuesta de suelo suaves fueron extrapolados de otros tipos de la cuesta debido a la carencia de datos.

Tabla 8. Valores sugeridos para introducir el Coeficiente Normal
Fuente: Tutorial Colorado Rockfall Simulation Program (CRSP), 2000

En la figura 18 se observa un ejemplo del salto de una roca usando el programa CRSP 4.0.

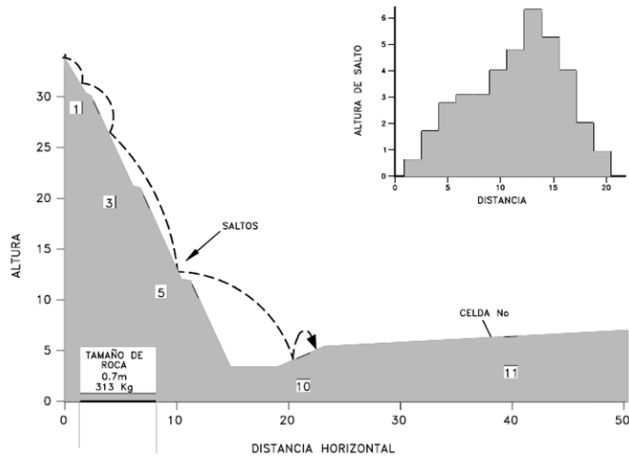


Figura 18. Ejemplo del uso del Software CRPS para analizar el punto de caída de bloques de roca (Pfeiffer y Bowen, 1989).
Fuente: Tutorial Colorado Rockfall Simulation Program (CRSP), 2000

A continuación se presenta la simulación realizada al fenómeno en estudio utilizando el programa CRSP. Primero se muestra una pantalla en la cual se definen el sistema métrico a emplear, el número de celdas en las que se ha fraccionado la ladera, un punto de análisis en la coordenada X, dos puntos de inicio de caídas de roca en éste caso el movimiento iniciará entre 1900 y 1880 msnm, y comentarios (figura 19).

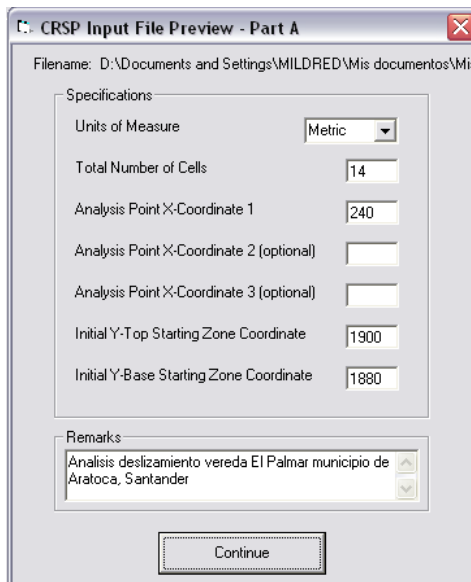


Figura 19. Datos de inicio al programa CRSP
Fuente: Software

Luego se presenta una tabla en la que se introducen características de cada celda como tortuosidad, coeficientes tangencial y normal, y coordenadas de inicio y final (figura 20).

Cell No.	Surface Roughness	Tangential Coeff.	Normal Coeff.	Begin X	Begin Y	End X	End Y
1				0			

Figura 20. Características de cada celda.
Fuente: Software

A medida que se avanza en el software se llenan tablas de datos para el funcionamiento del mismo, a continuación está la tabla en la que se incluyen las características de la roca en movimiento, donde está presente el numero de rocas a simular, su velocidad, su densidad, su forma y la celda desde la cual desea verse el resultado del modelamiento (figura 21).

Specifications

Total Number of Rocks to be Simulated: 100

Starting Velocity in X-Direction: 9.8 m/sec

Starting Velocity in Y-Direction: -7 m/sec

Rock Density: 2486 kg/m³

Starting Cell Number: 1

Rock Shape: Spherical

Revert to Default Values

Back Continue

Figura 21. Características del tipo de roca a simular.
Fuente: Software

Por ultimo el software solicita las dimensiones de la roca para poder dar inicio al modelamiento como se aprecia en la figura 22.

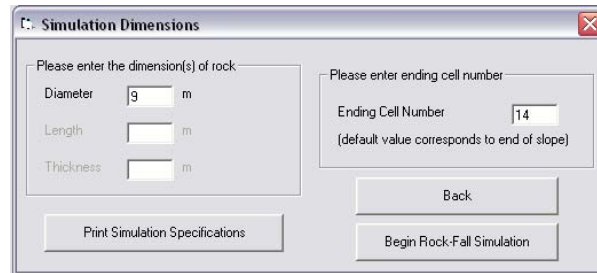


Figura 22. Dimensiones de la roca a modelar
Fuente: Software

Luego de haber introducido todas las características del escarpe y de las rocas se realiza la simulación, para el caso en estudio el software mostró el movimiento presentado en la figura 23, en el que la línea de color fucsia indica la trayectoria de las rocas.

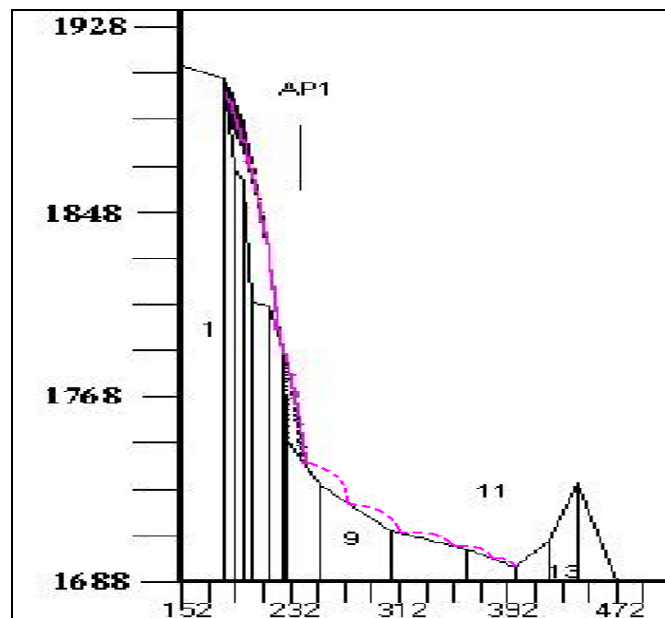


Figura 23. Trayectoria de las rocas Simuladas en el software CRSP.
Fuente: Software

Una vez realizada la simulación se procede a analizar los resultados, la primera ventana en generarse es la del análisis del punto 1, AP1 que aparece en la figura 23, indicando las coordenadas del punto de análisis, las dimensiones de la roca y su peso, la velocidad, la altura de salto y la energía cinética de las rocas cuando pasan por este punto, y en la siguiente tabla de resultados se pueden observar los datos estadísticos del mismo (figuras 24 y 25).

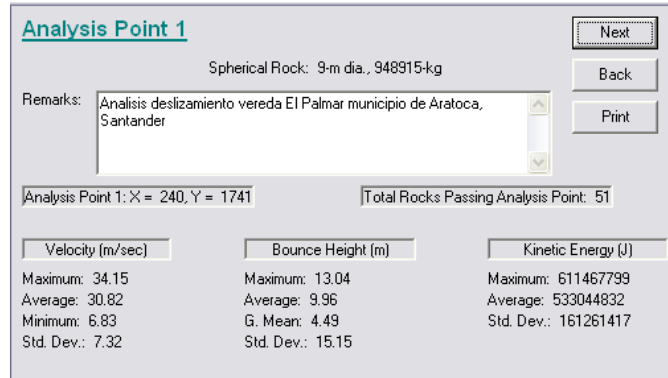


Figura 24. Velocidad, Altura de salto y Energía cinética de las rocas al pasar por el punto de análisis 1.
Fuente: Software

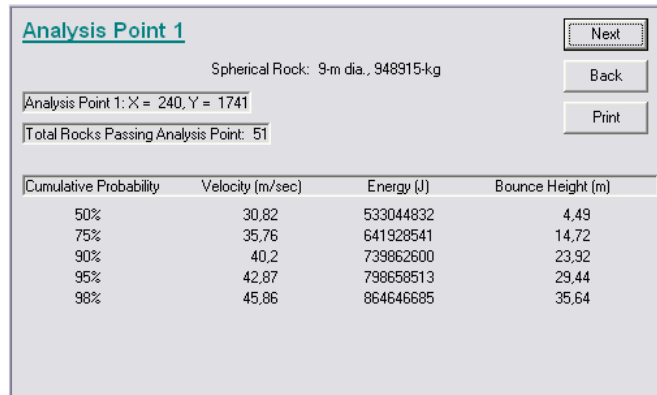


Figura 25. Análisis estadístico de las rocas al pasar por el punto de análisis 1.
Fuente: Software.

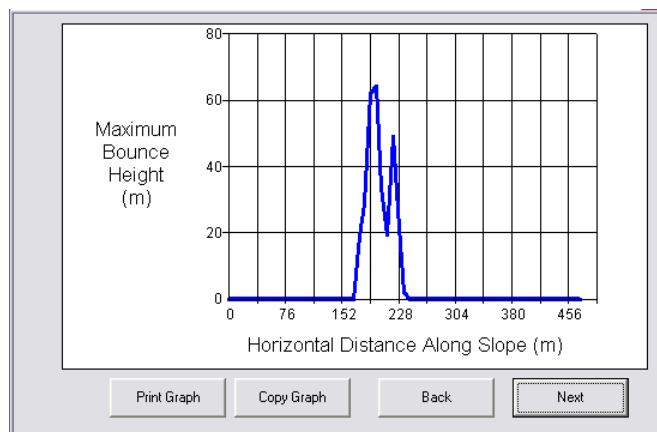


Figura 26. Alturas máximas de salto de las rocas simuladas a lo largo del escarpe.
Fuente: Software

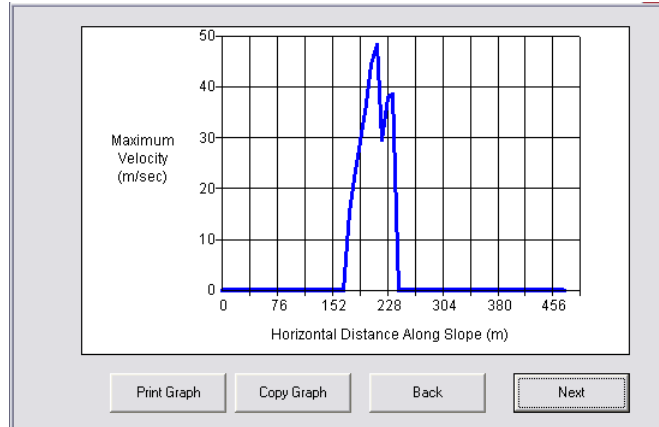


Figura 27. Velocidades máximas de las rocas simuladas a lo largo del escarpe.
Fuente: Software

Se puede observar claramente en las figuras 26 y 27 que los máximos saltos y máximas velocidades se presentarán entre 152m y 250m, medidos desde el punto inicial de la celda número 1, indicando esto que las rocas llegarán 40m mas lejos de lo que se encuentran en la actualidad, por lo tanto la zona en influencia al costado derecho del deslizamiento llegaría hasta el punto indicado anteriormente, puesto que delante se encuentra una montaña que detendría las caídas de roca, pero al costado izquierdo ésta zona iría en dirección a la quebrada Aratoca, pasando por la vía reconstruida pues en la topografía en este flanco no existe ningún tipo de barrera que pueda detener el movimiento. Por lo tanto se recomienda que no exista movimiento antrópico cien metros a la redonda de la frontera del deslizamiento, en la figura 28 se puede apreciar ésta zona, la línea roja suavizada indica los limites del deslizamiento y la línea roja con textura indica la frontera del área de influencia.

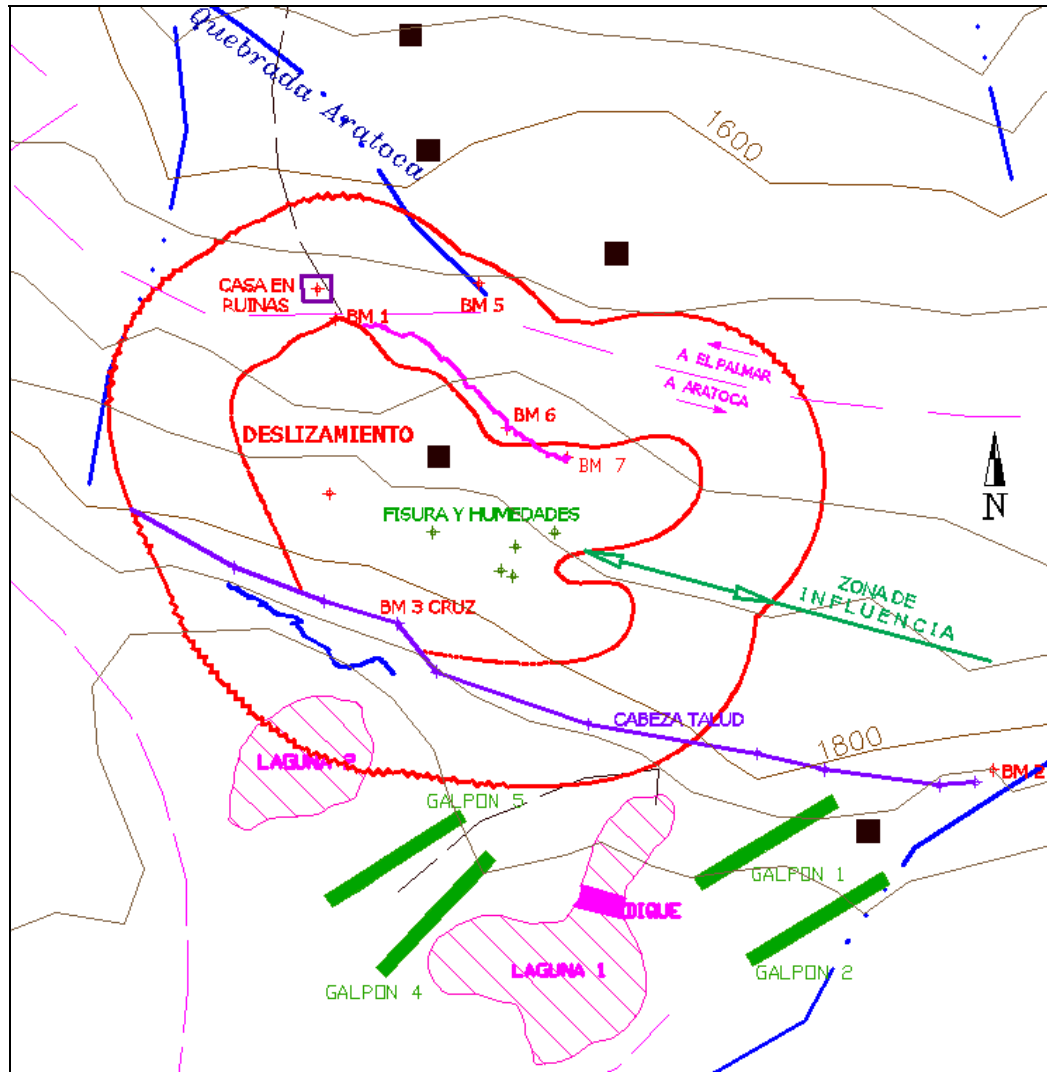


Figura 28. Zona de influencia del deslizamiento.
Fuentes: Investigación autores 2008

En la siguiente tabla se muestra los puntos en los cuales se detendrían las rocas y en las figuras 29 y 30 se pueden ver en los dos costados del deslizamiento.

X Interval m	Rocks Stopped
0 To 10	0
10 To 20	0
20 To 30	0
30 To 40	0
40 To 50	0
50 To 60	0
60 To 70	0
70 To 80	0
80 To 90	0
90 To 100	0
100 To 110	0
110 To 120	0
120 To 130	0
130 To 140	0
140 To 150	0
150 To 160	0
160 To 170	0
170 To 180	0
180 To 190	0
190 To 200	0
200 To 210	0
210 To 220	0
220 To 230	48
230 To 240	1
240 To 250	51
250 To 260	0
260 To 270	0
270 To 280	0
280 To 290	0
290 To 300	0
300 To 310	0
310 To 320	0
320 To 330	0
330 To 340	0
340 To 350	0
350 To 360	0
360 To 370	0
370 To 380	0
380 To 390	0
390 To 400	0
400 To 410	0
410 To 420	0
420 To 430	0
430 To 440	0
440 To 450	0
450 To 460	0
460 To 470	0
470 To 472	0

Tabla 9. Ubicación final de las rocas simuladas en CRSP 4.0.
Fuente: Software

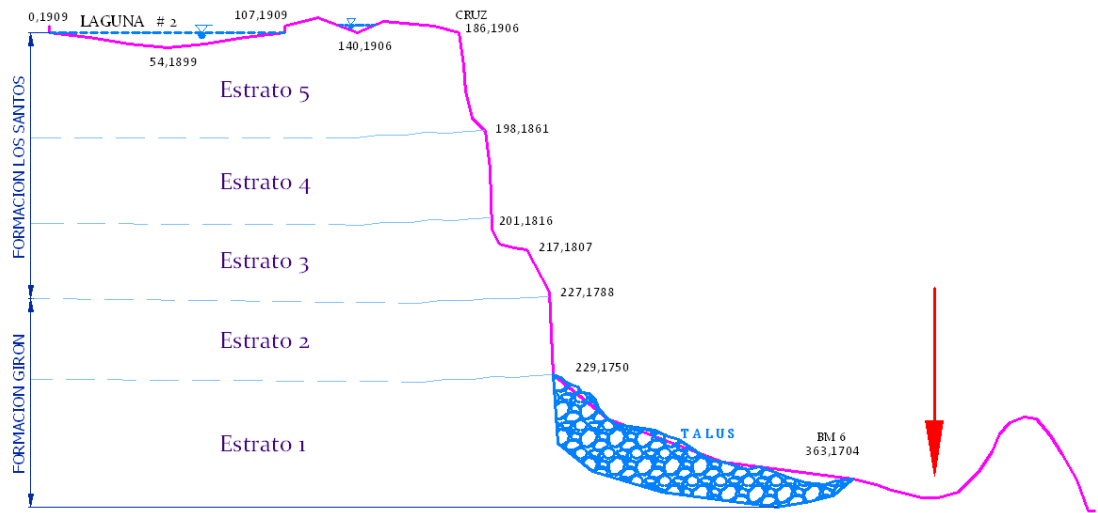


Figura 29. Perfil costado derecho del escarpe en estudio. La flecha indica el sitio de depósito de las rocas modeladas en el software CRSP.
Fuente: Investigación autores 2008

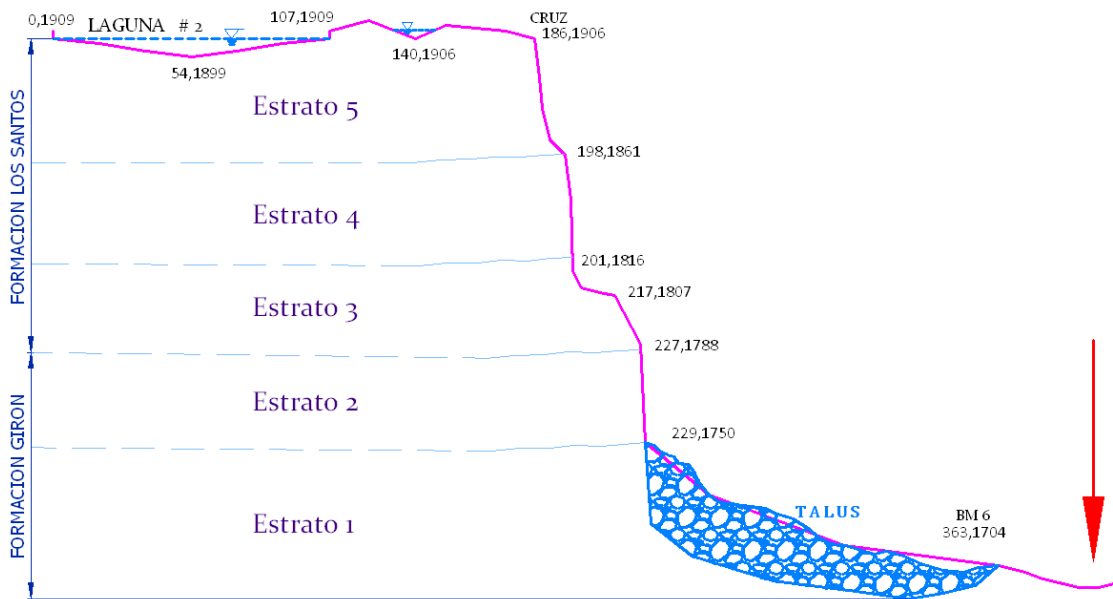


Figura 30. Perfil del costado izquierdo del escarpe en estudio. La flecha indica el posible sitio final de las rocas modeladas en el software CRSP 4.0
Fuente: Investigación autores 2008

9. VALORACIÓN DE LA AMENAZA Y RIESGO

La situación con respecto a la remoción en masa en el país es un problema que ya lleva varios años, afectando tanto las zonas rurales como las urbanas de la mayoría de las poblaciones colombianas. Para que ocurran un movimiento en masa el suelo o la roca de un talud debe ser combinado con agentes externos como lluvias intensas, actividad sísmica, volcánica o deshielo, etc., y esto ocasiona que se rompa o pierda el equilibrio de una porción de los materiales del talud y se desliza ladera abajo por acción de la gravedad. Este evento natural es inevitable y difícil de predecir, pero lo que sí se puede evitar son las catástrofes que son generadas por este fenómeno, en virtud de que es incierto y tiene consecuencias serias para la población y sus bienes, necesita ser identificado, a fin de definir el riesgo y la amenaza que representa este.

9.1. AMENAZA

La amenaza natural es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente destructor considerado peligro, en un área específica dentro de un determinado periodo de tiempo. Para evaluar la amenaza de un deslizamiento se requiere hacer un estudio de susceptibilidad y también la posibilidad de que ocurra un evento detonante, por lo tanto para que exista amenaza debe ocurrir a la vez el evento detonante y la susceptibilidad.

$$\text{AMENAZA} = \text{SUSCEPTIBILIDAD} + \text{EVENTO DETONANTE}$$

9.1.1. Susceptibilidad

Es una propiedad del terreno que indica qué tan favorables o desfavorables son las condiciones de éste, para que puedan ocurrir deslizamientos. En un análisis de susceptibilidad no se tiene en cuenta la probabilidad de ocurrencia de los factores detonantes de un movimiento de una masa de roca, tierra o detritos.

SUSCEPTIBILIDAD	CRITERIO
VI Muy alta	Taludes con deslizamientos activos. Los movimientos pueden ser continuos o estacionarios.
V Alta	Taludes sujetos con frecuencia a actividades de deslizamiento. La activación de los deslizamientos resulta cuando ocurren eventos con intervalos de recurrencia menores a cinco años.
IV Medianamente alta	Taludes con actividad de deslizamiento poco frecuente. La activación de deslizamientos ocurre en los eventos con intervalos de recurrencia mayores a cinco años.
III Mediana	Taludes con antigua evidencia de actividad de deslizamientos, pero que no han presentado movimientos en los últimos cien años.
II Baja	Taludes que no muestran evidencia de actividad previa de deslizamientos, pero que se consideran probables que se desarrollen en el futuro. Sin embargo, los análisis de esfuerzos como la analogía con otros taludes o el análisis de los factores, muestran una posibilidad baja de que lleguen a presentarse deslizamientos.
I Muy baja	Taludes que no muestran evidencia de actividad previa de deslizamientos y que por análisis de esfuerzos, analogías con otros taludes, o por análisis de los factores de estabilidad, se considera muy improbable que se desarrollen deslizamientos en el futuro previsible.

Tabla 10. Clasificación de la susceptibilidad a los deslizamientos con base en la observación de la morfología del terreno (Crozier, 1986).

Fuente: Libro Deslizamientos Tomo I, Análisis geotécnico. Ing. JAIME SUREZ DIAZ.

9.1.2. Evento Detonante

Las causas detonantes de un deslizamiento pueden ser naturales o artificiales, las naturales son como sismos, lluvias, erosión y las artificiales, están los cortes, la deforestación, colocación de cargas sobre el talud, etc.

Teniendo en cuenta el alto nivel de sismicidad de la zona en estudio, su cercanía a la falla Aratoca, las condiciones de humedad a las que está expuesto además de otros factores, se concluye que el evento detonante sin duda será de origen natural, un movimiento sísmico.

El factor más influyente en el desplazamiento de la masa de rocas ha sido geológico, durante mucho tiempo han venido ocurriendo movimientos sísmicos que poco a poco formaron fisuras, superficies de falla y pequeños desplazamientos que al aumentar la liberación de energía por medio de sismos, se hicieron mayores hasta que al final el talud colapsó ocurriendo el movimiento de rocas.

Sumando el grado de susceptibilidad y los factores de efecto detonante se concluye que la amenaza es alta porque las discontinuidades son muy verticales y son paralelas a la superficie del talud, otro factor que contribuye a la amenaza, es la alta pendiente y además la altura del escarpe de 200m

9.2. PELIGRO

Esta interpretado por la susceptibilidad, que es la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento eventualmente perjudicial en un área específica. Es un fenómeno mecánica y geoméricamente caracterizado que ocurre en un determinado tiempo y por lo tanto el deslizamiento se determina como un peligro.

9.3.VULNERABILIDAD

Es el grado de pérdida total o parcial de un elemento o de un grupo de elementos que están en riesgo, como vidas humanas, actividades económicas, propiedades, cultivos, servicios públicos, entre otros, en un área específica como resultado del acontecimiento de un fenómeno natural de magnitud determinada. La vulnerabilidad se expresa en una escala entre cero y uno, siendo cero la ausencia de daños y uno (1) indica la pérdida total.

La vulnerabilidad es un factor de riesgo interno de un elemento o conjunto de elementos expuestos a una amenaza, correspondiente a su tendencia individual a ser afectado o ser susceptible a sufrir una pérdida. La diferencia de la vulnerabilidad de los elementos expuestos ante un evento peligroso determina el carácter de la severidad de las consecuencias de dicho evento sobre los mismos.

9.4.RIESGO

Es la posibilidad de afectar en gran manera vidas, bienes, infraestructura o medio ambiente a causa de un evento o fenómeno desastroso dentro de un periodo de tiempo. Dicha posibilidad se mide en vidas humanas, propiedades en riesgo y daños ambientales. El riesgo generalmente, es evaluado como el producto de la probabilidad de la amenaza por las consecuencias para los elementos en riesgo, así

$$**RIESGO = AMENAZA * VULNERABILIDAD**$$

9.4.1. Riesgo Social o Humano

El riesgo social incluye muertos, desaparecidos, heridos y discapacitados, como resultado de la acción de un deslizamiento ocurrido por ejemplo en una vía o en un área abierta, el impacto de un caído de roca puede resultar fácilmente en víctimas humanas.

Cuanto mayor sea la velocidad de desplazamiento del bloque, el riesgo de vidas humanas puede ser mayor. Si la velocidad del movimiento es inferior a un metro por minuto, podría considerarse que el riesgo social es muy bajo. Igualmente, el riesgo varía si se trata de peatones, personas en viviendas o en vehículos. Ragozin y Tikhvinsky recomiendan sólo tener en cuenta los deslizamientos con velocidades superiores a un metro por minuto, a fin de evaluar el riesgo de muertes y lesiones personales.

Por fortuna es muy improbable que el deslizamiento en análisis cobre una vida, pues la vivienda con más vulnerabilidad fue desalojada desde el inicio del movimiento, pero hay que tener precaución al cruzar la zona ya que es muy probable que se presenten caídos, además se recomienda al propietario del predio afectado precaución al momento de hacer visitas de recolección de cosecha y mantenimiento de cultivos, por todo lo anterior el riesgo de vidas humanas es bajo.

9.4.2. Riesgo vías de comunicación y propiedades

Las carreteras en las zonas tropicales experimentan deslizamientos de tierra y caídos de roca en forma continua, especialmente en las temporadas de lluvias, por lo tanto el riesgo que existe es alto, implicando disminución en el intercambio comercial entre varias poblaciones.

En la zona en estudio se perdió el único carreteable de la vereda impidiendo el tránsito de campesinos que sacan sus productos para comercializarlos, por ésta razón el riesgo de pérdida de infraestructura es considerable a pesar de que no causa un impacto grande en la economía de la región, además del carreteable presentan riesgo las viviendas cercanas al deslizamiento como sufrió la vivienda perteneciente al señor Olegario Rojas quien a causa de la situación se vio desplazado a otra vereda. Otra vivienda que se encuentra en alto riesgo de ser afectada por el continuo desprendimiento de rocas de gran tamaño es la del señor Gonzalo Gómez a pesar de estar protegida por un montículo rocoso natural. En las fotografías 32, 33, 34 y 35 se muestra el eje de la vía antes del movimiento de rocas, la reconstrucción de la misma, la casa perjudicada y la vivienda con alto riesgo de afectación.



*Foto 32. Casa destruida. La línea en color indica la ruta de la antigua vía.
Imagen tomada desde el BM 3 (1232482.74N; 1115362.61E).
Fuente: Investigación de los Autores, 2008.*



Foto 33. Construcción del tramo de vía.
Fuente: Investigación de los Autores, 2008.



Foto 34. Casa en ruinas.
Fuente: Investigación de los Autores, 2008.



*Foto 35 Vivienda en alto riesgo de afectación, en la dirección del desplazamiento de los caídos (ver ovalo)
Fuente: INGEOMINAS.*

9.4.3. Riesgo a cultivos



*Foto 36. Cultivo de fique en la zona de estudio.
Fuente: Investigación de los Autores, 2008.*



*Foto 37. Cultivos de café destruidos.
Fuente: Investigación de los Autores, 2008.*

La única finca que se ha visto afectada por los caídos ha sido la del señor Olegario Rojas, en la cual han desaparecido parcialmente plantaciones de café, fique y plátano, aunque ha avanzado considerablemente hacia el Este amenazando otros predios, por lo tanto para el señor Rojas el riesgo de cultivos es alto, como se puede apreciar en las fotos 36 y 37.

9.4.4. Riesgo Ambiental

La evaluación de las consecuencias ambientales de un deslizamiento es generalmente negativa, es un problema muy complejo que implica una variación notoria de las condiciones en la flora principalmente, perdiéndose una gran capa vegetal que posee cultivos y bosque propio de la zona. (Ver fotos 38 y 39)



Foto 38. Mitigación del manto vegetal.
Fuente: Investigación de los Autores, 2008.



Foto 39. Árbol destruido a causa del movimiento de las caídas rocas.
Fuente: Investigación de los Autores, 2008.

10. PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES

Después del estudio realizado y planeando el posible impacto sobre la zona se harán dos propuestas que pretenden disminuir la amenaza que el fenómeno proyecta a los predios vecinos.

10.1. IMPERMEABILIZACIÓN DE LOS RESERVORIOS DE AGUA

A causa de las inquietudes de la comunidad de la Vereda El Palmar sobre la posible infiltración de agua proveniente de las lagunas artificiales ubicadas en la Granja Avícola San Sebastián. Al hacer una revisión de los cuadrantes de vuelo del IGAC desde 1981 hasta 1989 se observó el primer registro de los cuerpos de agua en el vuelo C-2384-29-1989 es decir que las lagunas fueron construidas entre 1981 y 1989. Por fuentes administrativas de la granja se sabe que la construcción de los reservorios se realizó hace 22 años; por ésta razón algunos pobladores sostienen que la empresa avícola es la responsable del fenómeno que está afectando la zona (Ver fotos 40 y 41).



Foto 40. Fotografía aérea del sitio del deslizamiento antes de la construcción de las lagunas artificiales pertenecientes a la Granja San Sebastián. La flecha indica la zona donde actualmente se encuentra el deslizamiento.

Fuente: Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" IGAC, vuelo C-2037-18-1981



Foto 41. Fotografía aérea del sitio del deslizamiento, lagunas artificiales pertenecientes a la Granja San Sebastián. La flecha indica la zona donde actualmente se encuentra el deslizamiento.
Fuente: Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" IGAC, vuelo C-2384-29-1989

Las directivas de la granja Avícola tomaron como medida de precaución hacer un dique de tierra en la laguna 1 separando uno de sus brazos creyendo que era ésta la que ejercía mayor influencia al movimiento, pero luego de realizar la georeferenciación se percibió que la laguna dominante era la 2, ya que se encuentra próxima al movimiento. (Ver fotos 42 y 43)



Foto 42. Laguna 1.

A la izquierda se muestra el brazo en proceso de secado, a la derecha el resto de la laguna y entre los espejos de agua el dique de tierra.

Fuente: Investigación de los Autores, 2008.



Foto 43. Laguna 2.

A la izquierda se encuentra la laguna y hacia la derecha se ubica la corona del deslizamiento.

Fuente: Investigación de los Autores, 2008.

Se propone como una medida de prevención mas no como una solución definitiva la impermeabilización de las dos lagunas dando prioridad a la segunda la cual se encuentra próxima al deslizamiento, pero como se menciona anteriormente esta medida no detiene el fenómeno porque las observaciones arrojan que la infiltración ocasionada por las lagunas no es un factor determinante en el inestabilidad del talud. También se percibió que las humedades presentes en el escarpe son en su gran mayoría debido a precipitaciones, esto se concluye porque en el registro fotográfico de seguimiento se muestra que cuando se llegó a la época de verano dichas humedades disminuyeron considerablemente. (Ver foto 44)

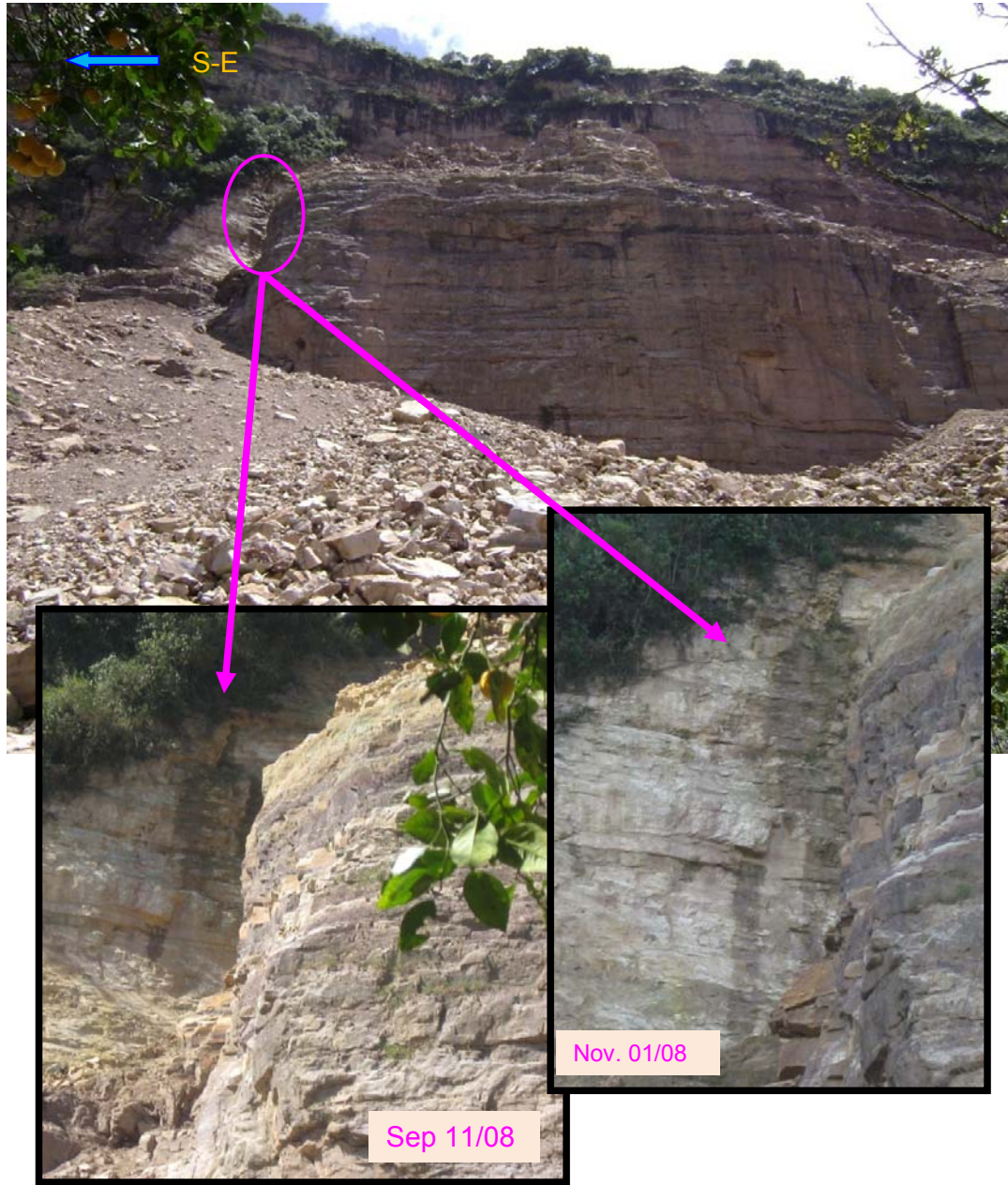


Foto 44. Variación de la humedad dependiendo de la época del año.
Fuente: Investigación Autores, 2008.

Para el sugerido proceso de impermeabilización se recomienda utilizar una geomembrana, las geomembranas, son láminas impermeabilizantes fabricadas con resinas de Polietileno Liso de Baja Densidad (LLDPE), y son ideales para el control de filtraciones por su bajísima impermeabilidad (10^{-12} a 10^{-15} m/seg), lo que le permite actuar como barrera al paso de fluidos y gases garantizando la correcta captación y conducción del fluido. Son muy utilizadas en la elaboración de filtros, lodos petroleros, rellenos sanitarios, lagunas de oxidación, entre otros, además de contar con las siguientes cualidades:

- Materiales complejos de propiedades cuantificables.
- Bajo una adecuada instalación, sus propiedades no sufren modificaciones durante el proceso constructivo
- Son una alternativa económica sobre todo en proyectos donde el tiempo de construcción es un factor importante del costo.
- Minimizan el impacto ambiental en las obras y permiten un mejor aprovechamiento de los volúmenes disponibles.

Para la impermeabilización y manejo del agua de infiltración se recomienda hacer uso de una Geomembrana de LLDPE de 1.5 mm la cual es una película Fabricada exclusivamente con resina de polietileno virgen, específicamente diseñada para la fabricación de geomembranas flexibles.

10.1.1. Colocación de la Geomembrana

- Cavar una zanja alrededor de la laguna, para sujetar la geomembrana.
- Extender la geomembrana sobre el fondo de la laguna llevándola hasta la zanja y sujetándola allí con pines y rocas.



Foto 45. Proceso de colocación de Geomembrana.
Fuente: <http://www.projar.es/imag/xm/xm3/embalik.jpg>

10.2. MALLAS DE PROTECCION DE ROCAS

La segunda recomendación para tratar de mitigar la amenaza en la zona, es la implementación de un método para evitar que el desprendimiento de rocas en el talud afecte a las personas, propiedades, cultivos o infraestructura, éste sistema de protección de rocas es funcional y económicamente superior a los métodos convencionales de protección como, las vigas de anclaje, redes de cables de acero, fijaciones con cable, revestimiento de concreto lanzado neumáticamente y pantallas ancladas. El sistema consiste en mallas exteriores de alambre galvanizado ancladas con pernos para evitar la ocurrencia de desprendimientos de bloques de roca. Debe tenerse en cuenta que los anclajes de mallas protegen de la caída de bloques superficiales, pero no estabiliza el talud para el caso de fallas de movimientos grandes o bloques de roca de gran tamaño.

Las características principales de este sistema son:

- Resistencia a la tracción de al menos 1770 N/mm^2
- Las redes están conformadas con alambres de acero trenzado de 4mm de diámetro
- Se puede usar como método de protección activo o pasivo
- Abarca grandes aéreas a partir de rollos de $20 \times 3,5 \text{ m}$
- El sistema trabaja uniformemente en toda el área protegida
- Cuenta con protección óptima contra la corrosión.

10.2.1. Colocación de Mallas

El primer paso para la instalación de este sistema es la remoción de escombros y limpieza de la cara del talud de material removido, también se debe contar para nuestro caso un grupo especializado de personas acerca de alpinismo. Para el movimiento de rocas de la zona es recomendable que los cables en espiral se anclen a los cables perimetrales y también se debe cubrir toda el área con clavos cortos.



*Foto 46 Anclaje del cable espiral con el perimetral y conexiones de clavos pequeños.
Fuente: <http://www.geobrugg.com>*

La red en espiral tiene una capacidad de carga de longitudinal de 220KN/m muy superior a las redes convencionales, las placas de fijación de la red que se usan para anclar la red a los clavos, garantizan la distribución óptima de carga dentro de todo el sistema.

Como se dijo anteriormente antes de instalar la red es necesario eliminar todo material superficial suelto o instalar una red secundaria antes de proceder a colocar el sistema de protección. La red de cables viene en rollos, por lo tanto se puede extender una vez sujeta con el cable superior hacia abajo del talud de manera segura y controlada, con las dimensiones de la malla en una sola operación se puede cubrir 70 m² de área inestable. La instalación se completa cuando se coloca el sistema a lo largo del área preparada con anclajes, y donde sea necesario, se sujeta con anclajes auxiliares y secundarios a fisuras, depresiones locales y concavidades.



Foto 47. Rollo del sistema de protección de rocas
Fuente: <http://www.geobrugg.com>

Se observó que el área frontal del talud mide aproximadamente 50000 m² donde se podrán colocar 715 mallas teniendo en cuenta que cada una cubre un área inestable de 70 m². (Ver figura 31)

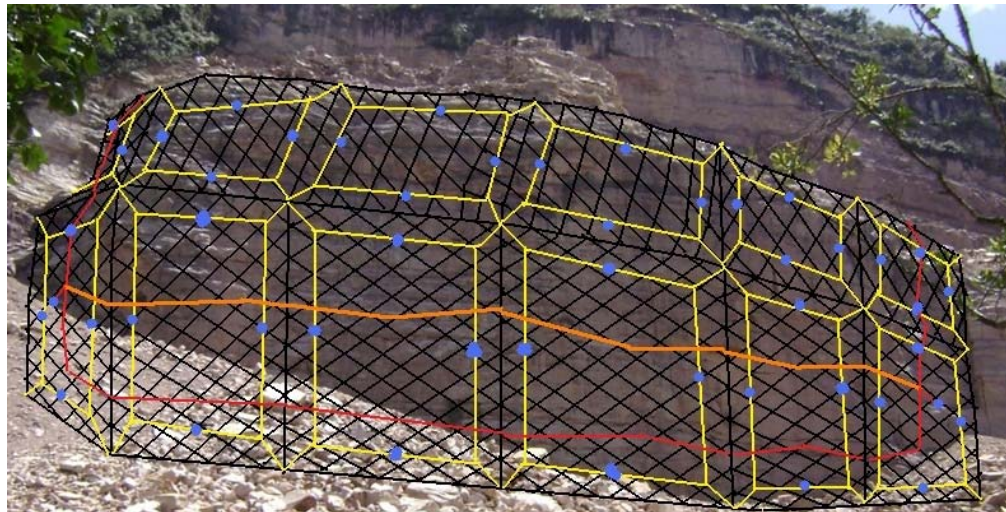
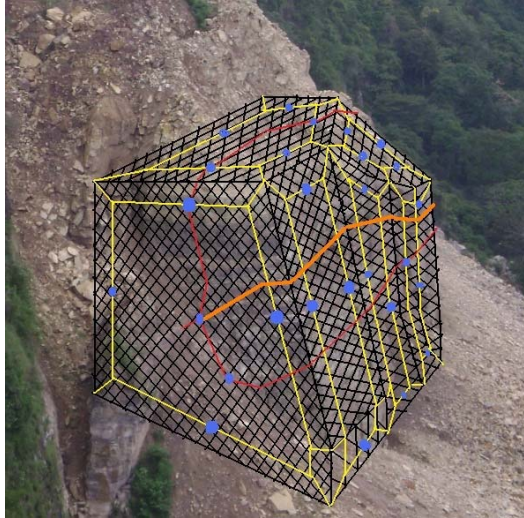


Figura 31 Esquema transversal y frontal del sistema de mallas de protección de rocas del talud de estudio. Fuente: Investigación de los Autores, 2008.

Cabe aclarar que para la zona no es conveniente utilizar algún tipo de sistemas de mallas de protección de rocas debido a su alto costo y difícil instalación, es decir que no es factible, además se debe tener en cuenta que la zona es de riesgo medio; sin embargo para ofrecer tranquilidad a la comunidad se recomienda a la empresa DISTRAVES optar por la opción de impermeabilizar los reservorios.

11. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

- Se considera que el fenómeno presentado en la zona es un proceso geológico evolutivo de cientos de años que afecta gran parte del sector y se ha manifestado en una pequeña fracción del mismo. La cantidad de coluviones antiguos con abundante capa vegetal encontrados indican la actividad previa del proceso geológico.
- El movimiento se produjo debido a la intensa actividad sísmica presente en la zona, alta pendiente del escarpe, cercanía a la falla Aratocha y al nido sísmico Los Santos, factores que poco a poco fracturaron el macizo rocoso produciendo la inestabilidad del mismo.
- Además del proceso geológico se puede afirmar que está ocurriendo un proceso hidrogeológico, en el cual debido a la presencia de calizas de la formación Tambor, que al combinarse con agua se diluyen formando kars, que son cárcavas de variados tamaños, que permiten el flujo rápido del agua subterránea, que aflora en el costado derecho del talud por medio de planos de fracturamiento de la roca.
- Una vez realizada la clasificación estructural y composicional de las rocas que constituyen el macizo, se concluye que a pesar de la similitud que existe entre las formaciones Tambor y Girón la primera es más propensa a sufrir fracturamiento, razón por la cual ha presentado mayor cantidad de caídas de roca.
- Luego de analizar los posibles movimientos en masa que pueden presentarse en el escarpe se determinó que para que ocurra deslizamiento traslacional de los bloques 2 al 7 debe existir una cabeza de agua mínima de 163 m, por lo tanto los bloques son estáticamente

estables, para deslizamientos de traslación; adicional a esto es poco probable que la infiltración de agua ocasionada por las lagunas llegue a éste nivel, pues tendría que saturarse todo el macizo.

- El deslizamiento analizado presenta varios tipos de mecanismos de falla como caídas de roca y volteo, lo que lo clasifica como un movimiento complejo de difícil predicción debido a los factores detonantes.
- El sector en el que se presenta el fenómeno se clasifica con amenaza alta debido a la constante caída de rocas y al impacto que puede tener el colapso del escarpe, pero con riesgo medio porque la zona en peligro no está habitada y no existen líneas eléctricas, ni sanitarias, ni de agua potable.
- Se recomienda impermeabilizar los reservorios de agua para brindar tranquilidad a los pobladores del sector, aclarando que la infiltración de agua proveniente de las lagunas no es el factor determinante en la ocurrencia del fenómeno y no es factible la instalación del sistema de mallas por su elevado costo.
- Es de vital importancia realizar una señalización indicando que es una zona de amenaza alta y el constante desprendimiento de rocas.
- El municipio de Aratoca debe actualizar el plan de ordenamiento territorial siguiendo todas las recomendaciones y sugerencias mencionadas en el presente documento.

12. BIBLIOGRAFÍA

- Castro Dorado, Antonio. “Petrografía básica, texturas, clasificación y nomenclatura de rocas”.
- Correa Arroyabe, Álvaro de la Cruz. “Caracterización de rocas y ensayos de laboratorio”. Universidad Nacional de Colombia. 2000.
- Corporación Autónoma Regional de Santander, CAS. “Concepto técnico”. Agosto de 2007.
- Deere D.U. and Patton F.D, (1971). “Slope Stability in Residual Soils”, Proc, 4th Pan. Am. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, State of the Art Report.
- INGEOMINAS. “Evaluación del riesgo por fenómenos de remoción en masa”. Publicaciones INGEOMINAS, 2001.
- Geotecnología Ltda., (2003). “Caídos de rocas – Peña de San Pablo carretera cruce ruta 45 La Fortuna – Bucaramanga ruta 66 tramo 6602”. INVIAS.
- González de Vallejo L.I., Ferrer M., Ortuño L., Oteo C. (2002). “Ingeniería Geológica”. Prentice Hall, España.
- Instituto Colombiano de Geología y Minería, INGEOMINAS. “Concepto técnico sobre las caídas de roca en la vereda El Palmar, municipio de Aratoca, departamento de Santander”. Abril de 2008.

- Jones Christopher, Higgins Jerry and Andrew Richard. "COLORADO ROCKFALL SIMULATION PROGRAM version 4.0, Manual". March 2000.
- Little A. L.,(1969). "The Engineering Classification of Residual Tropical Soils", Proceedings of the specialty Session on the Engineering Properties of Alteration Soils, Vol 1, 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico City
- Ramírez, Jesús Emilio. "Historia de los terremotos en Colombia", Publicaciones INGEOMINAS Bogotá. 1975.
- Spencer, E. (1967), "A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel interslice forces", Geotechnique, Vol 17 pp 11-26
- Suarez Díaz, Jaime. "Deslizamientos" versión 2009, tomos 1 y 2.
- Suarez Díaz, Jaime. www.erosion.com.co