

**CARACTERIZACIÓN DEL ESCENARIO DE RIESGO POR DESLIZAMIENTO EN EL
SECTOR SALÓN ROJO DEL MUNICIPIO DE ARANZAZU, CALDAS**

JULIANA VALENTINA SOTO CASTAÑO



UNIVERSIDAD DE CALDAS

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

PROGRAMA GEOLOGÍA

MANIZALES

2019

**INFORME PRÁCTICA ACADÉMICA REALIZADA EN LA JEFATURA DE GESTIÓN
DE RIESGO, MEDIO AMBIENTE Y CAMBIO CLIMATICO, DE LA GOBERNACIÓN
DE CALDAS**

JULIANA VALENTINA SOTO CASTAÑO

**Trabajo de grado modalidad pasantía presentado como prerrequisito para optar al título
de Geóloga**

Asesor Universidad de Caldas: Geólogo Cristian David Salazar Narváez

Asesor JEDEGER: Rubén Darío García Jiménez (Esp. Geotecnia)



UNIVERSIDAD DE CALDAS

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

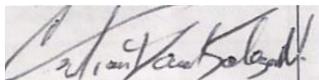
PROGRAMA GEOLOGÍA

MANIZALES

2019

NOTA DE ACEPTACIÓN

Aprobado.



Cristian David Salazar Narváez

DIRECTOR ACADÉMICO

Agradecimientos

A mi familia y en especial a mi hijo Juan Pablo mi mayor motivación, por su inigualable apoyo y compañía en este proceso.

A la Universidad de Caldas por abrirme las puertas al conocimiento.

A mi asesor Cristian David Salazar Narváez una de las personas que más admiro por su amor a la geología y quien se ha tomado el arduo trabajo de transmitirme sus diversos conocimientos.

Al geólogo Rubén Darío García por su valioso acompañamiento en este proyecto y por aportar grandes enseñanzas a mi vida.

A la Jefatura de Gestión del Riesgo, Medio Ambiente y Cambio Climático y al Jefe Félix Ricardo por darme la oportunidad de pertenecer a este gran equipo y ser parte de uno de sus proyectos.

A todos mis amigos por bonitos momentos compartidos en uno de los proyectos más importantes de mi vida.

Contenido

1. Introducción	11
2. Objetivos de la investigación	13
2.1 Objetivo General.....	13
2.2 Objetivos específicos.....	13
3. Generalidades	14
3.1. Localización.....	14
3.1.1 Localización área de estudio.....	15
3.2 Antecedentes.....	15
4. Metodología	17
4.1.1 Recopilación, revisión y análisis de la literatura existente relacionada con la zona interés.	17
4.1.2 Trabajo de campo	17
4.1.3 Elaboración de mapas.....	18
4.1.4 Análisis de resultados.	19
5. Geología	19
5.1 Descripción de la unidad	20
5.2 Unidades Geológicas superficiales.....	21
5.2.1 Unidad de Rocas. Determinada como:.....	22
5.2.2 Unidad de suelos	22
6. Geología estructural	25
7. Geomorfología	33
7.1 Morfogénesis	33
7.1.1 Ambiente estructural.....	33
7.1.2 Ambiente denudacional.	34
7.2 Clasificación de las unidades geomorfológicas para la zona de estudio.	34

7.3 Morfología.....	36
7.4 Morfodinámica	38
7.4.1 Catalogo multitemporal de imágenes del sector salón rojo de los años 1969, 2004, 2014 y 2019.....	39
8. Caracterización de los movimientos en masa en el Sector Salón Rojo.....	41
8.1 Movimientos en masa tipo deslizamientos	41
8.2 Deslizamiento traslacional.....	42
8.3 Descripción de los deslizamientos de la zona	44
8.4 Erosión en el sector Salón Rojo.....	50
9. Cobertura y uso del suelo	51
9.1 Clasificación de la cobertura y uso de suelo para el área de estudio.....	51
10. Hidrología.....	54
11. Sismicidad	60
12. Susceptibilidad	61
12.1 Zonificación de la susceptibilidad	62
12.2 Zona de muy alta susceptibilidad.	66
12.3 Zona de alta susceptibilidad.	67
12.4 Zona de moderada susceptibilidad.	67
12.5 Zona de baja susceptibilidad.....	67
12.6 Zona de muy baja susceptibilidad.	67
13. Detonante	68
14. Análisis de la amenaza	72
14.1 Amenaza alta.	74
14.2 Amenaza media.	75
14.3 Amenaza baja.	75

15. Análisis de la vulnerabilidad.....	75
15.1 Caracterización de los elementos expuestos.....	76
15.2 Exposición a la amenaza.....	76
15.3 Zonificación de la vulnerabilidad.....	76
15.4 Tipología de edificaciones.....	78
16. Análisis del riesgo.....	83
17. Conclusiones.....	87
18. Recomendaciones.....	88
19. Referencias.....	90
8. Anexos.....	93

Lista de ilustraciones

Ilustración 1. A) Localización del municipio de Aranzazu dentro del Departamento de Caldas y del área de estudio en este municipio. B) Ortofotografía de la zona de estudio Sector Salón Rojo. Fuente JEDEGER.....	15
Ilustración 2. Fotografía de la presentación como apoyo en los planes comunitarios de gestión del riesgo en el municipio de Supía, barrio San Lorenzo.	18
Ilustración 3. Fotografías de las rocas presentes en la zona. a) Lodolitas negras fisiles plegadas. b) arenita muy meteorizada.	20
Ilustración 4. Mapa geológico de la zona de estudio sector Salón Rojo.....	21
Ilustración 5. Suelo residual y Coluviones en forma de abanico en la vía.....	23
Ilustración 6. Fallas asociadas a la zona de estudio, tomado y modificado de moreno et al., 2008.	26
Ilustración 7. Lineamiento asociado a una de las fallas pertenecientes al Sistema de Fallas de Romeral visto hacia el N y S, en sus costados la evidencia de procesos erosivos asociados a este lineamiento.....	27
Ilustración 8. Fotografía que muestra la intensidad del fracturamiento y algunos posibles planos de fallas locales, evidenciando también que no se logra definir un plano de estratificación.....	28

Ilustración 9. Fotografía de la disposición de familia de diaclasas más representativa y continua en la zona.....	29
Ilustración 10. Panorámica en la que observa algunas casas del sector Salón Rojo sobre una silleta de falla.	34
Ilustración 11. Mapa unidades geomorfológicas en el sector Salón Rojo.	36
Ilustración 12. Mapa de pendientes en el sector Salón Rojo.....	37
Ilustración 13. Multitemporal de imágenes para el sector Salón Rojo. Fuente: JEDEGER y google earth.	39
Ilustración 14. Mapa multitemporal de procesos morfodinámicos en el sector Salón Rojo.	40
Ilustración 15. Partes de un deslizamiento (Varnes, 1978).	42
Ilustración 16. Esquema de un deslizamiento traslacional tomado de Cruden, D.M, and Varnes, D.J., 1996, 9. Landslide types and processes en USGS.	43
Ilustración 17. Deslizamiento traslacional (Skinner y Porter 1992).	43
Ilustración 18. Panorámica deslizamientos traslacionales, desprendimiento del suelo y evidencia de la profundidad del Carcavamiento en el sector Salón Rojo.	45
Ilustración 19. Deslizamientos traslacionales, desprendimiento de suelo y cárcavas en el sector Salón Rojo.	45
Ilustración 20. Desprendimiento de suelo formando coluvión en el sector Salón Rojo.	46
Ilustración 21. Fotografía que muestra las grietas en la parte superior del deslizamiento.....	47
Ilustración 22. Fotografía de las grietas siendo niveladas por personas de la comunidad para evitar accidentes del ganado.....	48
Ilustración 23. Ortofoto del sector Salón Rojo donde se analiza algunas de las dimensiones de los deslizamientos.	49
Ilustración 24. Mapa cobertura y uso del suelo en el sector Salón Rojo.....	52
Ilustración 25. Gráfico distribución de sismos para el municipio de Aranzazu entre los años 1995-2018, resaltando en color rosa los más cercanos a la zona de estudio. Fuente de los datos Servicio Geológico Colombiano.	61
Ilustración 26. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa, en el sector Salón Rojo.	66
Ilustración 27. Mapa precipitación media anual sector Salón Rojo.....	71
Ilustración 28. Mapas para determinar la amenaza (mapa susceptibilidad + mapa de precipitación media multianual.	73

Ilustración 29. Mapa de amenaza por movimientos en masa en el sector Salón Rojo.....	74
Ilustración 30. Mapa vulnerabilidad por movimientos en masa en el sector Salón Rojo.	77
Ilustración 31. Fotografía de una de las viviendas en el sector Salón Rojo construida con bahareque y que está siendo afectada por procesos morfodinámicos en la zona.	81
Ilustración 32. Fotografía de viviendas en el sector Salón Rojo de tipo de edificación estructuras ligeras representadas por muy bajo grado de resistencia.	82
Ilustración 33. Mapa de riesgo por movimientos en masa en el sector Salón Rojo.....	84
Ilustración 34. Orfoto del sector Salón Rojo donde se encuentran señaladas las cuatro viviendas que estan en la categoria de riesgo alto.	85

Lista de anexos

Anexo 1. Mapa topográfico sector Salón Rojo	93
Anexo 2. Mapa de la dirección de flujo en el sector Salón Rojo	94
Anexo 3. Precipitación media mensual en el sector Salón Rojo.....	95

Glosario

Amenaza: “es el peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una gravedad suficiente, como para causar pérdidas de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustentos, la prestación de servicios y los recursos ambientales” (Ley 1523, 2012)

Caracterización de escenarios de riesgo: Es el proceso que busca conocer de manera general, las condiciones de riesgo de un territorio, enfatizando en sus causas y actores e identificando los principales factores influyentes, los daños y pérdidas que pueden presentarse, y todas las medidas posibles que podrían aplicarse para su manejo (Terminología sobre Gestión del riesgo de desastres y fenómenos amenazantes, 2017).

Escenarios: Un escenario de riesgo se representa por medio de la caracterización de los factores de riesgo, sus causas, la relación entre causas, los actores causales, el tipo y nivel de daños que se pueden presentar, más la identificación de los principales factores que requieren intervención así como las medidas posibles a aplicar y los actores públicos y privados que deben intervenir. Los escenarios de riesgo así caracterizados se constituyen en escenarios de gestión, es decir, campos de trabajo, para que el municipio concentre las acciones correspondientes a los procesos de la gestión del riesgo (Formulación del Plan Municipal de Gestión de Riesgo, versión 1, Unidad nacional de Gestión de Riesgos de Desastre, 2012).

Riesgo: Es la probabilidad que se presente un nivel de consecuencias económicas, sociales o ambientales en un sitio particular y durante un período de tiempo definido. Se obtiene de relacionar la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos. (Lavell, A.2001).

Vulnerabilidad: Factor de riesgo interno de un elemento o grupo de elementos expuestos a una amenaza, correspondiente a su predisposición intrínseca a ser afectado, de ser susceptible a sufrir un daño, y de encontrar dificultades en recuperarse posteriormente. Corresponde a la predisposición o susceptibilidad física, económica, política o social que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un fenómeno peligroso de origen natural o causado por el hombre se manifieste. Las diferencias de vulnerabilidad del contexto social y material expuesto ante un fenómeno peligroso determinan el carácter selectivo de la severidad de sus efectos. (Lavell, A.2001)

1. Introducción

Los movimientos en masa son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan y modifican las diferentes formas del terreno; estos involucran el movimiento ladera abajo de los materiales que lo componen, bajo la acción de la gravedad. Las causas que influyen en la ocurrencia de estos movimientos pueden asociarse a factores como el relieve, litología, tectónica, precipitación, erosión, y la acción antrópica.

Algunos de los movimientos de ladera han provocado daños materiales importantes en el mundo (Brabb y Harrods, 1989) y son el tercer riesgo natural por número de víctimas después de los terremotos y las inundaciones (Ayala-Caicedo, 2002).

Para evitar o mitigar estos daños es necesario un análisis de riesgo, el cual se asocia al pronóstico del nivel de riesgo por un fenómeno en específico o por varios de ellos. Naciones Unidas, en casos de desastres, formula los mapas de riesgo como fundamentales para el diseño de programas y aplicación de medidas de mitigación como la zonificación y los reglamentos de construcción.

El sector Salón Rojo del municipio de Aránzazu Caldas, es altamente susceptible a la ocurrencia de procesos geodinámicos como lo son los movimientos en masa, esto debido a diferentes condiciones locales, como: la topografía, el uso del suelo, la geología, y la geomorfología.

Por lo tanto desde la Jefatura de Gestión del Riesgo, Medio Ambiente y Cambio Climático de la gobernación de Caldas en convenio de esta práctica académica con la universidad de Caldas, logra la elaboración de este trabajo el cual plantea de manera objetiva la caracterización del escenario de riesgo por deslizamiento en este sector, basado en la guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, definida por el Servicio Geológico Colombiano (SGC), que describe los lineamientos para realizar estudios de riesgo por

movimientos en masa a escala detallada o local y la cual fue realizada en atención a la ley de gestión del riesgo de desastres (Ley 1523 de 2012).

Para entender la amenaza por movimientos de masa en el sector Salón Rojo, se identificaron como variables más importantes la geomorfología, uso del suelo, pendiente y geología, condicionadas por un factor detonante en este caso la precipitación.

La vulnerabilidad se analizó principalmente por la exposición que presentan las infraestructuras (vía y viviendas) de la zona con respecto a la amenaza y se relacionó con el tipo de edificaciones, calidad de material de construcción y densidad de población.

Debido a que el riesgo se encuentra en función de las variables mencionadas amenaza y vulnerabilidad, se utilizó un método directo el cual permitió definir las zonas que presentan riesgo alto, medio y bajo en el sector Salón Rojo.

2. Objetivos de la investigación

2.1 Objetivo General

Caracterizar el escenario de riesgo por deslizamiento en el sector de Salón Rojo del Municipio de Aránzazu, Caldas.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar escenarios de riesgo y proponer posibles soluciones ante las problemáticas reconociendo la población vulnerable en el sector.
- Realizar análisis basados en SIG y elaborar la cartografía temática de la zona de interés
- Apoyar la construcción de planes comunitarios de gestión del riesgo en el municipio de Supía.

3. Generalidades

3.1. Localización

El área estudiada se encuentra localizada sobre la vertiente occidental de la Cordillera Central de Colombia, al norte del departamento de Caldas y hace parte del municipio de Aranzazu (ilustración 1A).

Específicamente en el lugar conocido como sector Salón Rojo entre las vereda Buena Vista y La Meseta, a 2 km al noroccidente de la cabecera municipal, por la carretera que conduce a las veredas La Paila, Buenavista, La Meseta y Chupaderos.

Esta zona de estudio comprende un área de 998.000 m^2 (ilustración 1B), a una altitud entre 1850 y 2100 m.s.n.m con temperatura promedio entre los 18°C y 20°C.

3.1.1 Localización área de estudio

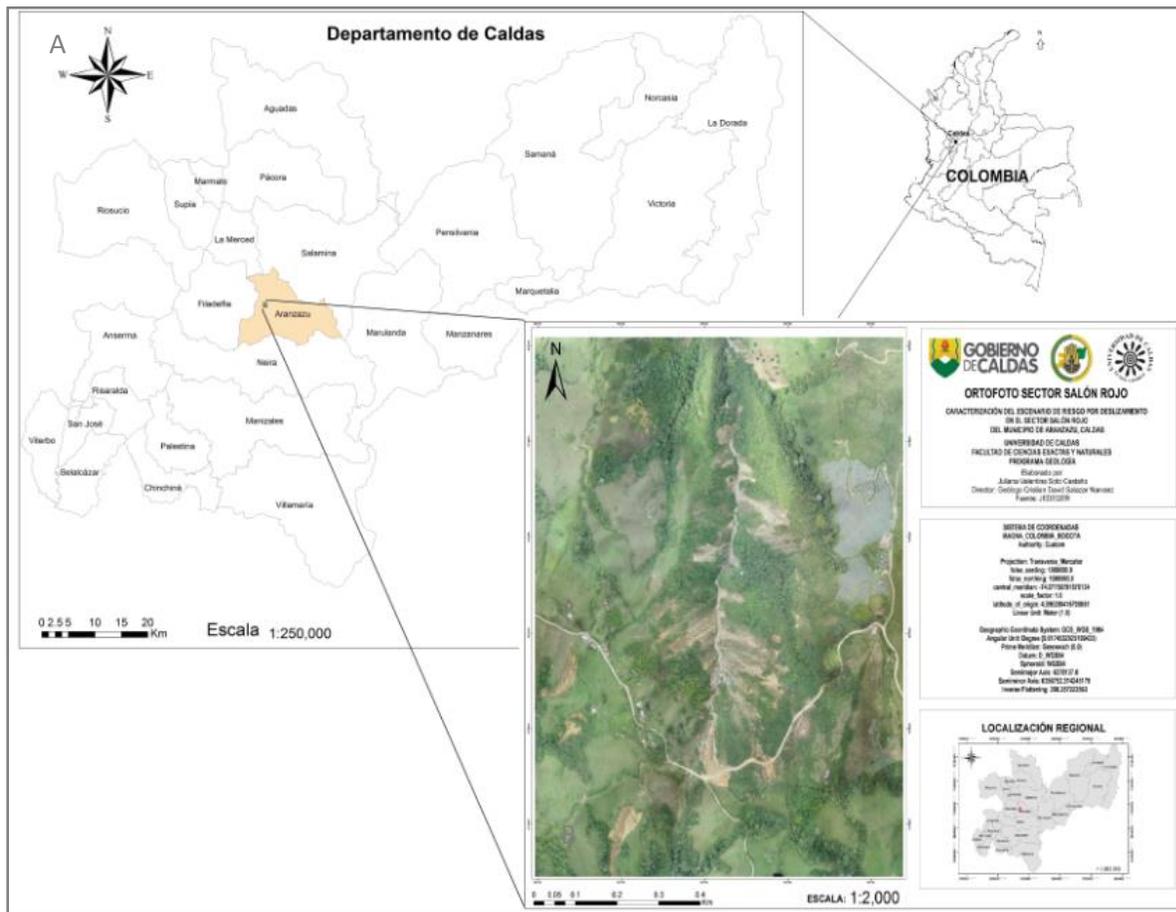


Ilustración 1. A) Localización del municipio de Aranzazu dentro del Departamento de Caldas y del área de estudio en este municipio. B) Ortofotografía de la zona de estudio Sector Salón Rojo. Fuente JEDEGER.

3.2 Antecedentes

Las formas del terreno hacen que el municipio de Aranzazu sea muy propenso a la ocurrencia de movimientos en masa provocados por la inestabilidad del terreno; a través de su historia, la comunidad en el sector Salón Rojo ha sido afectada por la incidencia de movimientos en masa, que han interferido en el desarrollo sostenible de este lugar ya que estos están comprometiendo la existencia de recursos disponibles en el sector, y la seguridad de las personas que lo habitan.

Debido a la poca información que se tiene para este tipo de fenómenos por remoción en masa en el departamento se hace necesario consultar otro tipo de ejemplos similares en el país.

Este estudio se basó principalmente en informes presentados por la Jefatura de Gestión del Riesgo de visitas solicitadas para la zona en los años 2009, 2011, 2014, y el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres del municipio de Aranzazu, que define las áreas con mayor influencia de este fenómeno en el municipio las cuales son: La vereda Buenavista, Quebrada La Meseta y La Quebrada Dantas, las cuales son influenciadas por la falla Las Camelias, también la Quebrada Chupadero y Floresta asociados a la falla La Floresta . Los deslizamientos varían de rotacionales a planares de acuerdo a la litología donde se presentan, los cuales son producidos por saturación del suelo, sobrepastoreo y altas pendientes, es de anotar que al oriente del Municipio los deslizamientos se presentan en menor escala.

Y como contribución al trabajo y a las entidades territoriales para entender y aplicar los lineamientos y requerimientos del Decreto 1807 de 2014, en lo concerniente a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial:

- **SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO.** Memoria explicativa de zonificación de la susceptibilidad y la amenaza relativa por movimientos en masa, escala 1:100.000, plancha 207 – Honda, departamentos de Tolima, Cundinamarca y Caldas. Bogotá D.C, diciembre de 2013. 153 pág.
- **SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO.** Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Bogotá D.C, mayo 2014. 179 Pág. Colección guías y manuales.

4. Metodología

La metodología empleada para el desarrollo de este trabajo incluye las siguientes etapas:

4.1.1 Recopilación, revisión y análisis de la literatura existente relacionada con la zona interés.

En esta etapa se llevó a cabo la búsqueda de material bibliográfico de las unidades litológicas, estructuras, fallas, mapas, fotografías aéreas, planchas, y eventos de movimientos en masa antiguos en la zona. Por otra parte se realizó la revisión de informes hechos por la JEDEGER (Jefatura Departamental para la Gestión de Riesgo de Desastres), Corpocaldas y la Universidad de Caldas.

4.1.2 Trabajo de campo

El trabajo de campo consistió en recorridos en el sector Salón Rojo con el fin de identificar, corroborar los datos existentes y actualizarlos. Se empleó una fase de identificación de los procesos denudativos caracterizando los movimientos en masa, y los diferentes procesos erosivos.

Por otra parte se llevó a cabo la recolección y clasificación de muestras, la toma de datos estructurales y fotografías; y para finalizar se ejecutó un vuelo con dron el cual permitió acceder a las partes remotas generando información para la realización de los mapas. En esta etapa también se efectuó el objetivo de apoyar la construcción de planes comunitarios de gestión del riesgo en el municipio de Supía, por medio de una presentación a la comunidad del barrio San Lorenzo como se muestra en la ilustración 2, a cerca de avenidas torrenciales, en la cual se explicó esta amenaza de manera general y se socializó las medidas preventivas ante cualquier evento a causa de este fenómeno, con el apoyo de la trabajadora social de la JEDEGER.



Ilustración 2. Fotografía de la presentación como apoyo en los planes comunitarios de gestión del riesgo en el municipio de Supía, barrio San Lorenzo.

4.1.3 Elaboración de mapas.

Mediante el uso del software ArcGis 10.5 se realizaron y digitalizaron los diferentes mapas, en las coordenadas Magna Colombia Bogotá a escala 1:2.000.

La elaboración de estos mapas se llevó a cabo a partir del modelo digital del terreno dtm y la ortofotografía obtenida con el dron durante la salida de campo; teniendo como base estas dos capas se procedió en primera medida a digitalizar vías, drenajes, viviendas, y a generar los mapas

de geología, geomorfología, procesos morfodinámicos y de cobertura y uso del suelo. En segunda medida se llevó a cabo la obtención de parámetros tales como pendiente, dirección y acumulación de flujo.

Teniendo estos mapas como información base se procedió a elaboración de los mapas de susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo.

4.1.4 Análisis de resultados.

Esta etapa se fundamentó en el análisis de los resultados obtenidos a partir la metodología apoyada por el software Arcmap y los datos obtenidos en las salidas de campo. Con base en el análisis de estos resultados se elaboró el informe final y se definieron las conclusiones y las recomendaciones más coherentes con respecto a la problemática que presenta la zona ante la amenaza por movimientos en masa, reconociendo la población vulnerable.

5. Geología

La valoración geológica para el área de estudio se apoya en el trabajo de campo llevado a cabo durante la práctica y la revisión de la plancha 206 Neira-Aranzazu, publicada por el Servicio Geológico Colombiano (SGC).

A partir de estos trabajos, se identificó una unidad geológica para el área de estudio la cual se relaciona con el miembro sedimentario del Complejo Quebrada grande, el cual ha sido definido litológicamente por el SGC como lutitas carbonosas y en menor proporción grauvacas, arenitas feldespáticas, limolitas, liditas y localmente capaz de caliza.

De acuerdo a Grosse 1926, a este complejo se le atribuye una edad de Cretácico inferior con base en fósiles presentes en algunas secuencias sedimentarias.

5.1 Descripción de la unidad

Unidad que aflora en un 14 % del área de estudio específicamente en las partes bajas de las laderas cerca a los drenajes y en las laderas a los lados de la vía que comunica las veredas La Paila, Buena vista, La Meseta y Chupaderos con el municipio de Aranzazu. Esta unidad se encuentra conformada por rocas sedimentarias con predominio de arenitas grises, de tamaño de grano fino a medio; selección moderada, con matriz menor al 15%, compuesta de feldespatos 60%, fragmentos de roca 25% y cuarzo en poca proporción, la cual es clasificada de acuerdo a los triángulos de Pettijohn et al., 1987, como arenita feldespática (ilustración 3a), estas rocas en la mayor parte de la zona se presentan muy meteorizadas; y en menor proporción se encuentra lodolitas negras fisiles las cuales se observan en algunas partes locales plegadas (ilustración 3b).

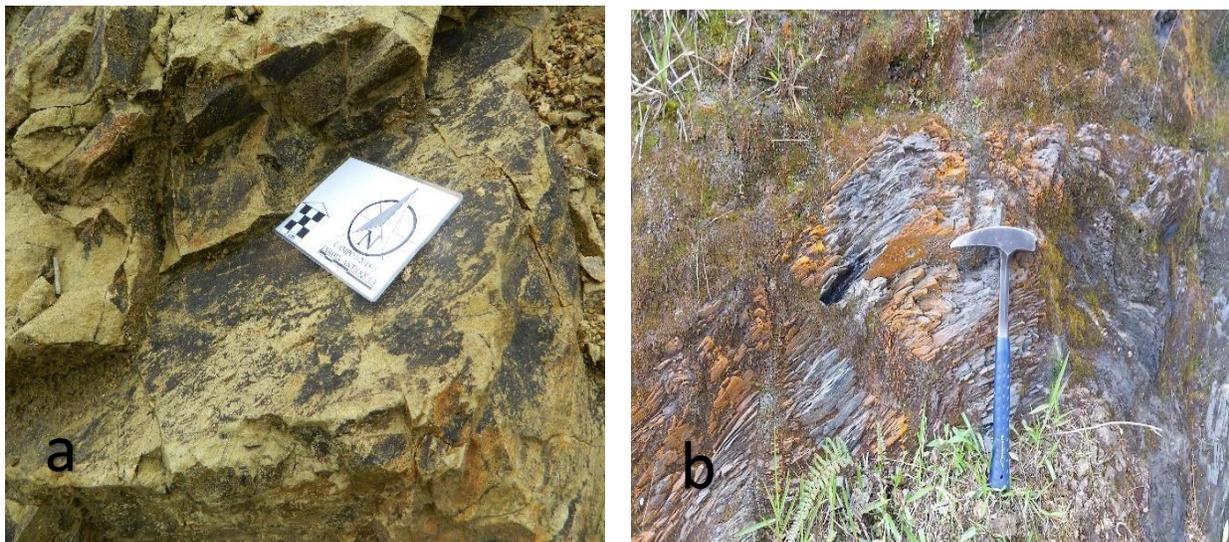


Ilustración 3. Fotografías de las rocas presentes en la zona. a) Lodolitas negras fisiles plegadas. b) arenita muy meteorizada.

Partiendo de la información anterior y lo descrito en la plancha 206 Neira – Aranzazu del Servicio Geológico Colombiano, se elaboró el mapa geológico para el sector Salón Rojo,

quedando solo una unidad relacionada con el miembro sedimentario del Complejo Quebradagrande como se muestra en la ilustración 4.

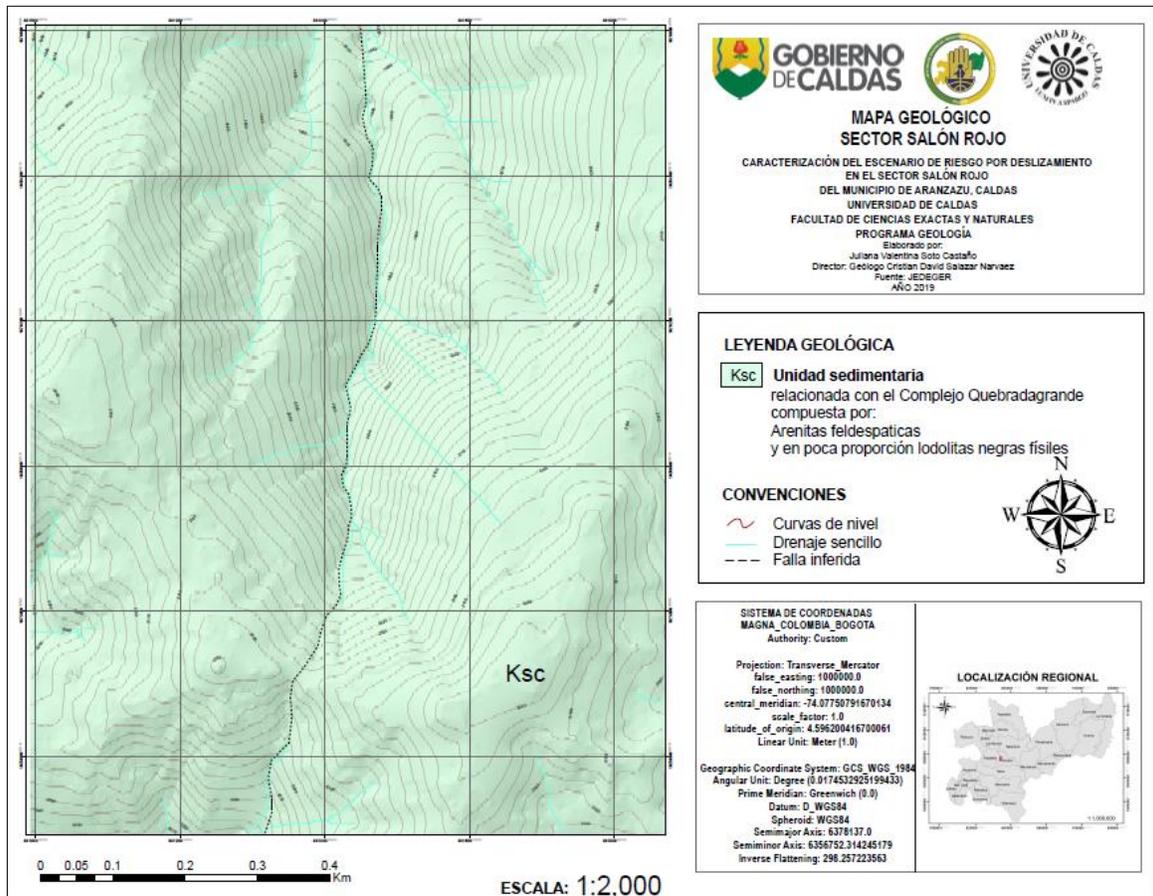


Ilustración 4. Mapa geológico de la zona de estudio sector Salón Rojo.

5.2 Unidades Geológicas superficiales

Una unidad superficial se puede definir como el conjunto de materiales que conforman la superficie del terreno hasta profundidades del orden de decenas de metro, las cuales incluyen rocas con diferentes grados de meteorización, suelos y depósitos inconsolidados, según su origen (Hermelin, 1978). Para la zona de estudio se identificaron las siguientes unidades:

5.2.1 Unidad de Rocas. Determinada como:

5.2.1.1 Roca sedimentaria blanda. La unidad se presenta en la parte central y oriental del área de estudio, se trata de una unidad poco cementada y frágil asociada al miembro sedimentario del Complejo Quebradagrande, compuesta por arenitas y lodolitas que se encuentran meteorizadas y tectonizadas por efecto del sistema de fallas Romeral, presentando alto fracturamiento y plegamiento. En cuanto a la caracterización de la dureza de esta unidad, se tomó la afectación de la roca al golpe del martillo geológico para definirla como blanda según la clasificación de Brown (1981).

5.2.2 Unidad de suelos

5.2.2.1 Suelos residuales. Los suelos residuales son comunes en la zona, principalmente en la parte occidental de esta, producto de la meteorización física y química de las rocas descritas y de la erosión; en estos suelos no se aprecia las características físicas de las rocas; una evidencia de esta meteorización son los óxidos de hierro los que le dan el color rojizo producto de la descomposición de los feldspatos y de la ceniza volcánica. Estos suelos residuales en algunas partes de la zona se genera coluviones los cuales han sido definidos por Bates y Jackson (1980) en Suarez (1998), como una masa incoherente de materiales sueltos y heterogéneos, de suelo o de fragmentos de roca depositados por lavado de la lluvia, reptación o deslizamiento, comúnmente depositados en la base de las laderas. Su espesor varia de cm a más de tres metros y presentan forma de abanico en las partes bajas de la ladera y la vía (ilustración 5).



Ilustración 5. Suelo residual y Coluviones en forma de abanico en la vía.

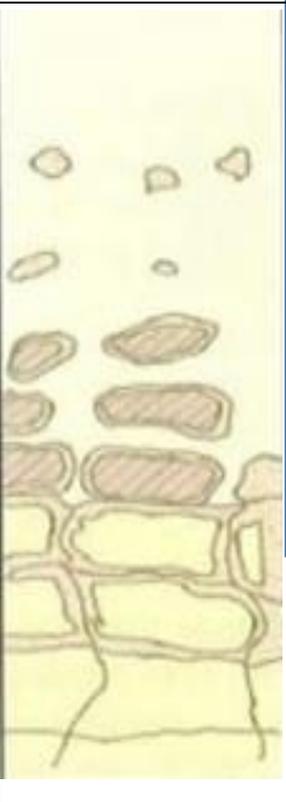
El grado de meteorización en la zona se establece a partir de los perfiles generalizados de Deere & Patton (1971) y Vargas (1951), (Tabla 1). Este grado es importante definir para comprender la dinámica evolutiva y el funcionamiento de los suelos, además de que interviene en la estabilidad de las laderas al igual que en las propiedades físicas y mecánicas de las rocas.

La meteorización favorece la actividad de procesos de erosión y movimiento de masa en la zona, simplemente al afectar las condiciones físicas de la roca. Lo que implica que sea un proceso en la evolución del relieve.

Deere & Patton (1971) dividen el perfil en tres horizontes principales, suelo residual (I), roca meteorizada (II) y roca no meteorizada (III), de los cuales solo los grados I y II hacen parte del perfil de meteorización de la zona, (representado de color rosa en la tabla 1).

Tabla 1

Perfil de meteorización en los que se resalta los horizontes presentes en la zona de estudio

Perfil esquemático meteorización	Vargas (1951) igneas, basálticas y areniscas	Deere y Patton (1971) igneas, metamórficas
	SUELO RESIDUAL	HORIZONTE I-A
	SUELO RESIDUAL JOVEN	SUELO RESIDUAL HORIZONTE I-B HORIZONTE I-C (SAPROLITO)
	CAPAS DE ROCA DESINTEGRADA	
	ROCA SANA	II-B PARCIALMENTE METEORIZADA
		III ROCA SANA

Nota: Tomado de la web en los que se representan los horizontes descritos por Vargas (1951), y Deere y Patton (1971).

6. Geología estructural

De acuerdo con la información presentada por el Servicio Geológico Colombiano para la plancha 206 Neira-Aranzazu, estructuralmente esta región se encuentra controlada por el Sistema de Fallas Romeral, compuesto por numerosas fallas paralelas a subparalelas de

dirección N-S, de las cuales algunas toman nombres asociados a los municipios, ejemplo: falla Manizales-Aranzazu, falla La Merced, falla Neira y falla Salamina.

Moreno et al., 2008 indican que el Complejo Quebradagrande está constituido por una serie de bloques estructurales alineados norte-sur cuya característica común es poseer una asociación de sedimentitas marinas y un basamento oceánico de edad Cretácica Temprana; y se encuentra limitado al este por la falla San Jerónimo que lo separa del Complejo Cajamarca y al occidente por la falla Silvia-Pijao, que lo separa del Complejo Arquía (ilustración 6).

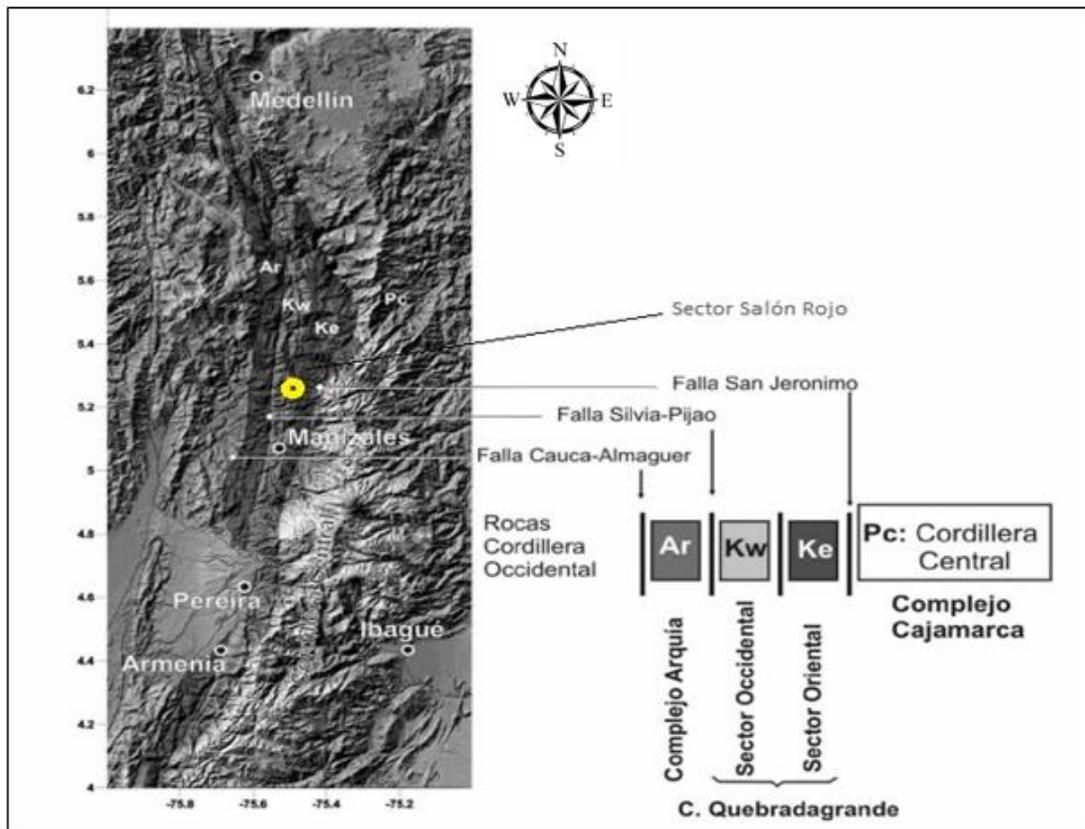


Ilustración 6. Fallas asociadas a la zona de estudio, tomado y modificado de moreno et al., 2008.

Para el sector Salón Rojo se determina una de las fallas pertenecientes al Sistema de Fallas de Romeral, a partir de las siguientes características evidenciadas son:

- Lineamiento topográfico y fotogeológico (ilustración 7).
- Silleta de falla.
- Comportamiento frágil de las rocas, evidenciado por el alto grado de diaclasamiento en las arenitas.
- Pliegues presentados en las lodolitas.
- Fracturamiento

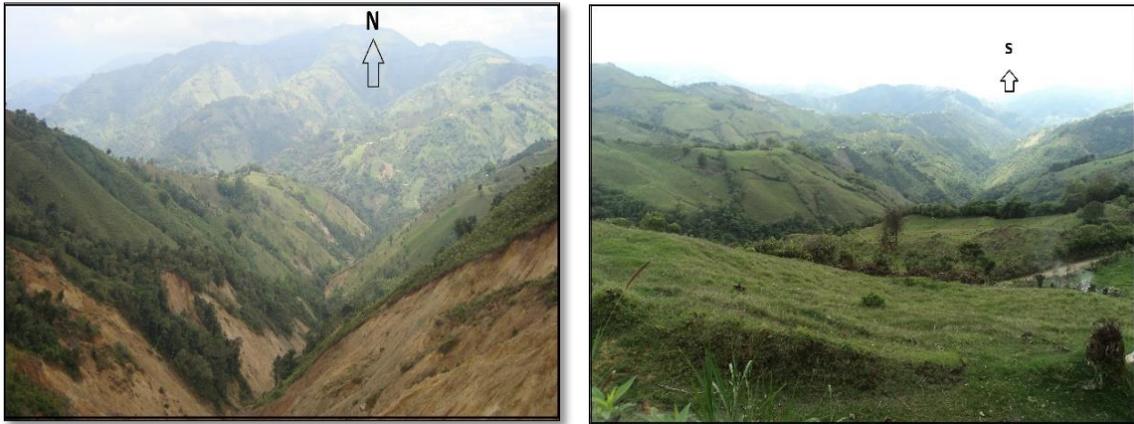


Ilustración 7. Lineamiento asociado a una de las fallas pertenecientes al Sistema de Fallas de Romeral visto hacia el N y S, en sus costados la evidencia de procesos erosivos asociados a este lineamiento.

Los principales tipos de discontinuidades presentes en la masa rocosa del área de estudio son:

- Fallas locales evidenciadas por pequeños desplazamientos (ilustración 8).



Ilustración 8. Fotografía que muestra la intensidad del fracturamiento y algunos posibles planos de fallas locales, evidenciando también que no se logra definir un plano de estratificación.

- Diaclasas, de las cuales se reconoce tres grupos o familias de estas susceptibles a colapso con orientación N87E/50NW, N38W/70SW y N59E/34SE (ilustración 9).



Ilustración 9. Fotografía de la disposición de familia de diaclasas más representativa y continua en la zona.

Como propiedades de las discontinuidades se tiene que el espaciamiento promedio entre discontinuidades en la zona de mayor afectación por deslizamiento es de 15 cm equivalente a 150 mm, valor considerado en la tabla de espaciamiento realizada por la Geotechnical Control Office, Hong Kong, (1988) como espaciamiento cercano para valores entre 60 mm y 200 mm, indicando que la roca es muy débil.

La rugosidad de la superficie de las discontinuidades es ligeramente rugosa lo que hace que la masa rocosa sea menos competente.

También como propiedades de las discontinuidades se presentan en promedio 20 fracturas por metro lineal en la zona de mayor afectación y una resistencia compresiva (R_c) determinada como resistencia baja o blanda, determinada porque se indenta superficialmente con la punta del martillo.

Teniendo en cuenta lo anterior, se definen las condiciones de la masa rocosa mediante los criterios de clasificación geomecánica RMR (valoración de la masa rocosa) de Bieniawski (1989), y GSI (índice de resistencia geológica) de Hoek y Marinos (2000). En la siguiente tabla se encuentran resumidos los valores para la zona de estudio que posteriormente se analizaron en la clasificación RMR.

Tabla 2

Parámetros de las discontinuidades

Parámetro	Descripción
Resistencia compresiva (Mpa)	Débil determinada al ser golpeada con la punta del martillo, a la que corresponde un valor entre 25-50 Mpa, Brown (1981).
RQD %	Evaluado mediante la ecuación: $RQD = 115 - 3,3 J_v$ de Palmstrom (1975), $J_v =$ Número de discontinuidades por m^3 $RQD = 39$
Espaciamiento	15 cm, determinado como muy junto
Persistencia	3-10 m
Apertura	2,5-10 mm moderadamente ancha
Rugosidad	Ligeramente rugosa a lisa
Relleno	Arcilloso determinado como suave
Alteración	Muy meteorizada, más del 50% del material rocoso está descompuesto a suelo.
Agua	Húmedo

Nota: Parámetros determinados en campo y evaluados a partir de los autores mencionados en la tabla.

Tabla 3

Valoración del macizo rocoso RMR.

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO														
Clasificación RMR de Bieniawski (1989)														
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES													
RESIST. COMP. UNIAXIAL (MPa)	> 250	15	100 - 250	12	50 - 100	7	25 - 50	4	< 25	2	< 5	1	< 1	0
RQD %	90 - 100	20	75 - 90	17	50 - 75	13	25 - 50	8	< 25					3
ESFACIAMIENTO (m)	> 2	20	0.6 - 2	15	0.2 - 0.6	10	0.06 - 0.2	8	< 0.06					5
CONDICIÓN DE JUNTAS	PERSISTENCIA	< 1m.	6	1 - 3m.	4	3 - 10mm.	2	10 - 20m.	1	> 20mm.				0
	APERTURA	Cerrada	6	< 0.1mm.	5	0.1 - 1.0mm.	4	1 - 5mm.	1	> 5mm.				0
	RUGOSIDAD	Muy rugosa	6	Rugosa	5	Lig. Rugosa	3	Lisa	1	Espejo de falla				0
	RELLENO	Limpia	6	Duro < 5mm.	4	Dura > 5mm.	2	Suave < 5mm.	1	Suave > 5mm.				0
ALTERACIÓN	Sana	6	Lig. Alterada	5	Mod. Alterada	3	Muy Alterada	2	Descompuesta					0
AGUA SUBTERRÁNEA	Seco	15	Húmedo	10	Mojado	7	Goteo	4	Flujo					0
Σ Parámetros = 39											VALOR RMR (Suma de valoración 1 a 5)			
CLASE DE MACIZO ROCOSO														
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0									
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA									

Nota: clasificación del macizo rocoso RMR tomada de Bieniawski (1989).

Mediante la clasificación anterior RMR se obtiene una sumatoria de todos los parámetros para el macizo roco en el sector Salón Rojo igual a 39, ubicándolo en una clase de macizo rocoso mala (IV). La cual se confirma en la siguiente clasificación del índice de resistencia geológica (GSI) de Hoek y Marinos (2000).

Tabla 4.

Clasificación del índice de resistencia geológica del macizo de la parte oriental del sector Salón Rojo.

CARACTERÍSTICAS DEL MACIZO ROCOSO SEGÚN GSI		CONDICIONES SUPERFICIALES					
<p>Se basa en la cantidad de fracturas por metro lineal, medidas insitu con una wincha. La mala voladura afecta esta condición. La resistencia se determina golpeando o indentando la roca con una picota. Se toma en cuenta la rugosidad, alteración de paredes y relleno de las discontinuidades.</p>		MUY BUENA (EXTREMADAMENTE RESISTENTE, FRESCA) SUPERFICIES DE LAS DISCONTINUIDADES MUY RUGOSAS E INALTERADAS, CERRADAS. (Rc > 250 MPa). (SE ASTILLA CON GOLPES DE PICOTA).	BUENA (MUY RESISTENTE, LEVEMENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES RUGOSAS, LEVEM. ALTERADAS, MANCHAS DE OXIDACIÓN LIGERAM. ABIERTAS. (Rc 100 a 250 MPa). (SE ROMPE CON VARIOS GOLPES DE PICOTA).	REGULAR (RESISTENTE Y LEVEMENTE ALTERADA) DISCONTINUIDADES LISAS, MODERADAMENTE ALTERADAS, LIGERAMENTE ABIERTAS. (Rc 50 a 100 MPa). (SE ROMPE CON UNO O DOS GOLPES DE PICOTA).	MALA (MODERADAMENTE RESIT. MODERADAM. ALTERADA) SUPERFICIES PULIDAS O CON ESTRICACIONES, MUY ALTERADAS, RELLENO COMPACTO O CON FRAGMENTOS DE ROCA. (Rc 25 A 50 MPa). (SE INDENTA SUPERFICIALMENTE).	MUY MALA (BLANDA, MUY ALTERADA) SUPERFICIES PULIDAS Y ESTRIADAS, MUY ABIERTAS CON RELLENO DE ARCILLAS BLANDAS. (Rc < 25 MPa). (SE DISGREGA O INDENTA PROFUNDAMENTE).	
ESTRUCTURA		LF/MB	LF/B	LF/R	LF/M	LF/MM	
	LEVEMENTE FRACTURADA. TRES A MENOS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES MUY ESPACIADAS ENTRE SI. (RQD 75 - 90%) (2 A 6 FRACT. POR METRO)						
	MODERADAMENTE FRACTURADA. MUY BIEN TRABADA, NO DISTURBADA, BLOQUES CÚBICOS FORMADOS POR TRES SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES ORTOGONALES. (RQD 50 - 75%) (6 A 12 FRACT. POR METRO)	F/MB	F/B	F/R	F/M	F/MM	
	MUY FRACTURADA. MODERADAMENTE TRABADA, PARCIALMENTE DISTURBADA, BLOQUES ANGULOSOS FORMADOS POR CUATRO O MÁS SISTEMAS DE DISCONTINUIDADES. (RQD 25 - 50%) (12 A 20 FRACT. POR METRO)	MF/MB	MF/B	MF/R	MF/M	MF/MM	
	INTENSAMENTE FRACTURADA. PLEGAMIENTO Y FALLAMIENTO, CON MUCHAS DISCONTINUIDADES INTERCEPTADAS FORMANDO BLOQUES ANGULOSOS O IRREGULARES. (RQD 0 - 25%) (MÁS DE 20 FRACT. POR METRO)	IF/MB	IF/B	IF/R	IF/M	IF/MM	
	TRITURADA O BRECHADA. LIGERAMENTE TRABADA, MASA ROCOSA EXTREMADAMENTE ROTA CON UNA MEZCLA DE FRAGMENTOS FACILMENTE DISGREGABLES, ANGULOSOS Y REDONDEADOS. (SIN RQD)	T/MB	T/B	T/R	T/M	T/MM	

Nota: Clasificación tomada de Mapeo Geo mecánico de la Universidad de Caldas basado en el Manual Geo mecánica aplicada a la prevención de accidentes por caídas de rocas en minería subterránea.

7. Geomorfología

El desarrollo geomorfológico de la zona se ve influenciado por la concurrencia del Sistema de Fallas de Romeral.

En este estudio se incluye las variables morfológicas, morfogenéticas, morfodinámicas y se desarrolla un análisis basado en la propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia, Carvajal (2002) en Servicio Geológico Colombiano y la guía metodológica para la elaboración de mapas geomorfológicos a escala 1:100.000 del IDEAM (2013).

7.1 Morfogénesis

El origen de las formas del terreno identificadas corresponde a ambientes estructurales y denudacionales los cuales abarcan no solo la erosión sino también los procesos que contribuyen a la degradación como la meteorización y los movimientos en masa actuando como dos sub-ambientes de este.

7.1.1 Ambiente estructural. La zona se caracteriza como activa al relacionarse con la dinámica endógena de la tierra en este caso con tectonismo fallado, y como resultado se origina: Laderas erosiónales activas, desplazamientos, silleta de falla (ilustración 10), levantamientos y hundimientos creando la disposición básica del relieve.



Ilustración 10. Panorámica en la que observa algunas casas del sector Salón Rojo sobre una silleta de falla.

7.1.2 Ambiente denudacional. El cambio que se origina en el paisaje por procesos exógenos se manifiesta por procesos de erosión hídrica y gravitacional. Las geoformas que representan este ambiente en la zona de estudio son: laderas coluviales y laderas erosionales con escarpes estrechos.

7.2 Clasificación de las unidades geomorfológicas para la zona de estudio.

Esta clasificación se hace con base en la Guía metodológica para la elaboración de mapas geomorfológicos a escala 1:100.000 propuesta por el IDEAM (2013) con el fin de estandarizar la información referida a los aspectos geomorfológicos.

En la siguiente tabla se presentan las unidades geomorfológicas representativas del sector Salón Rojo.

Tabla 5

Tabla de clasificación unidades geomorfológicas, tomada de la Guía metodológica para la elaboración de mapas geomorfológicos IDEAM (2013) y modificado para la zona de estudio.

Ambiente	Subambiente (procesos morfogenéticos secundarios)	Unidad (edad relativa por morfo-dinámica o disección)	Génesis	Atributos (características descriptivas morfológicas y dinámicas (pendiente, depósitos superficiales, litología, pat. drenaje, disección procesos actuales))
Denudacional	De – Ladera denudacional	De2 - Ladera denudacional activa	Laderas afectadas por erosión y coluviación	Moderada a Fuerte, Variable con coluviones, Dentrítico a paralelo, Variable, Moderada, Remoción en masa
Denudacional	Di – Superficie erial		Zonas afectadas por erosión hídrica intensa con predominio de surcos y cárcavas	Variable, Variable, Dentrítico, suelos y sedimentos no consolidados, Leve a moderada, erosión hídrica con surcos y cárcavas
Estructural	Ss - Escarpes Tectónicos	Ss1 - Escarpes activos	Escarpes asociados con movimientos corticales	Fuerte a muy Fuerte, Roca en situ a coluvial, Materiales heterométricos, enrejado, areniscas y conglomerados, NA, Derrumbes

A partir de esta clasificación se reconoce para la zona de estudio tres tipos de unidades, dos unidades que se relacionan en la parte central del área de estudio (De2 y Ss1) y la otra unidad (Di) hacia los lados de esta, como se muestra en la ilustración 11 (Mapa de unidades geomorfológicas).

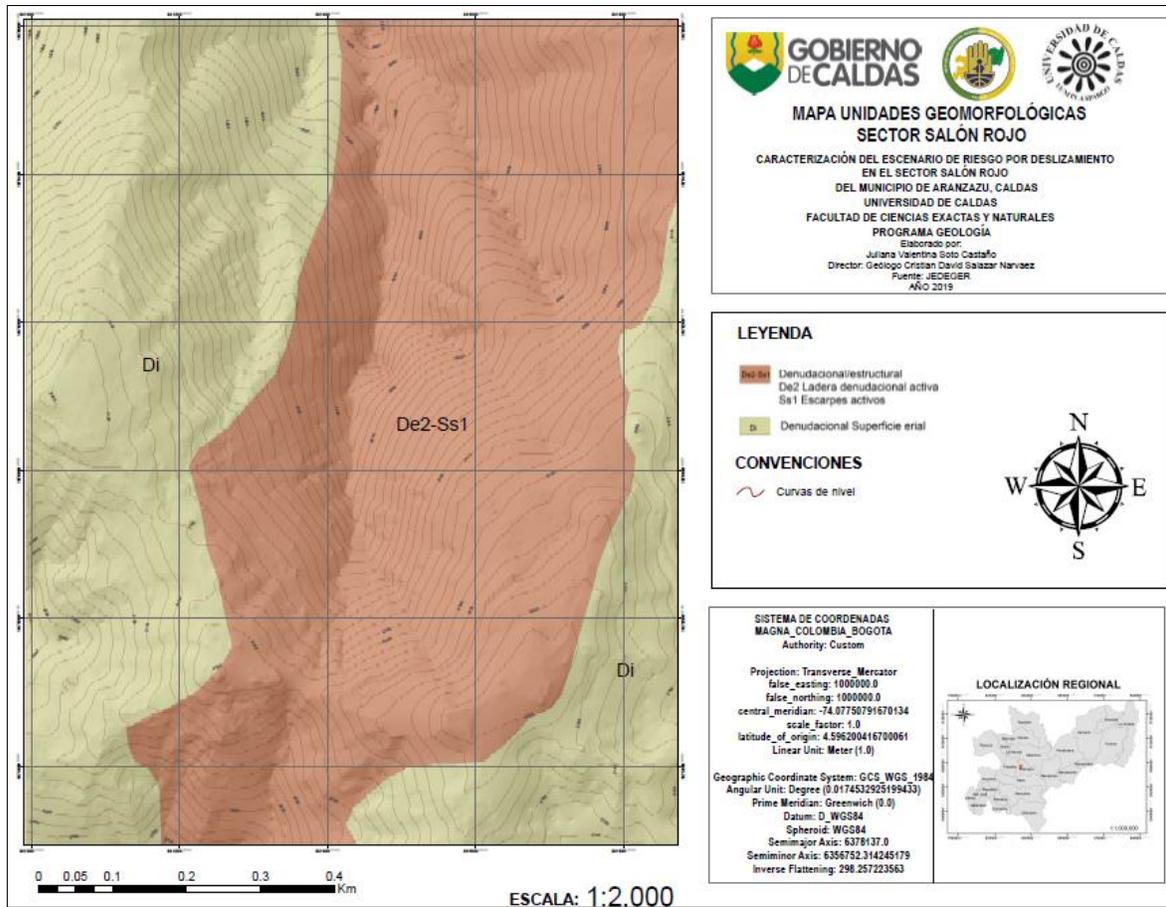


Ilustración 11. Mapa unidades geomorfológicas en el sector Salón Rojo.

7.3 Morfología

La morfología de la zona está conformada por pendientes fuertes y valles en V profundos, tipo de relieve montañoso > 500 m de elevación, laderas escarpadas entre 31-45° de inclinación, longitud de ladera larga 501-1000 m.

La pendiente se puede considerar como un factor importante en la ocurrencia de movimientos en masa en la medida en que se relaciona directamente con las tensiones de corte tangencial y normal en los materiales superficiales, e influye también en la distribución de agua en las laderas, (Santacana 2001). A partir del modelo digital del terreno se obtuvo el mapa de pendientes el cual fue clasificado según la tabla de rangos de pendientes utilizados con el propósito de análisis y zonificación de amenazas por movimiento en masa de Van Zuidam (1986).

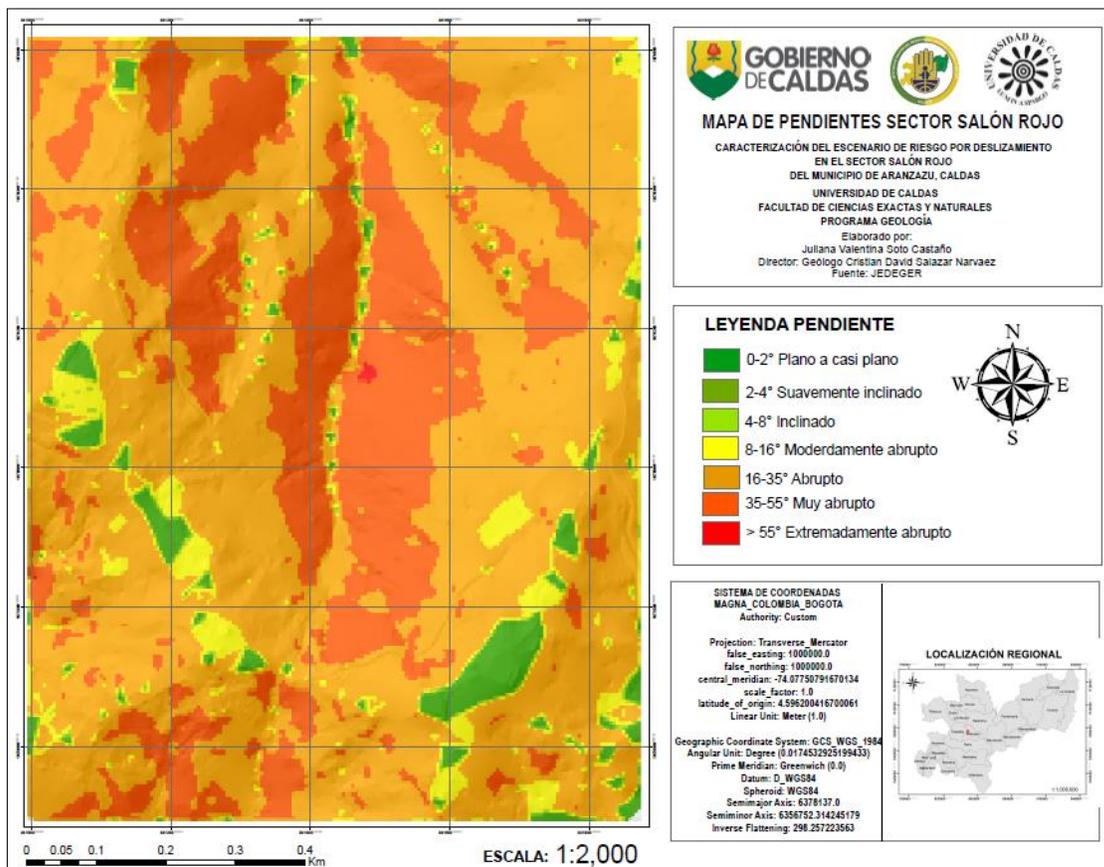


Ilustración 12. Mapa de pendientes en el sector Salón Rojo.

Las pendientes predominantes en la zona de estudio se encuentran en un rango entre 16 y 55° indicando pendientes abruptas a muy abruptas y comprenden un área de 710.000 m².

7.4 Morfodinámica

La morfodinámica es uno de los factores más importantes que se estudia en la zona debido a que muestra procesos activos en el presente o aquellos que se pueden activar en el futuro, y este a su vez al referirse a la dinámica exógena a causa de agentes como agua que modifica las geoformas preexistentes lo hace un buen análisis de la ocurrencia de fenómenos de movimientos en masa.

Con el fin de revisar los procesos que están activos actualmente y los que podrían reactivarse, más los cambios que ha tenido la zona a lo largo del tiempo se hace un análisis multitemporal apoyado con imágenes satelitales de google earth, del cual se obtiene imágenes para los años 1969, 2004 y 2014; las cuales se comparan con la imagen del presente año obtenida con dron. Este multitemporal se representa en el siguiente catálogo de imágenes (ilustración 13).

7.4.1 Catalogo multitemporal de imágenes del sector salón rojo de los años 1969, 2004, 2014 y 2019.



Ilustración 13. Multitemporal de imágenes para el sector Salón Rojo. Fuente: JEDEGER y google earth.

Teniendo como base el catalogo multitemporal del sector Salón Rojo fue posible realizar la superposición de los procesos morfodinámicos de la zona para estos años como se representa en la ilustración 14.

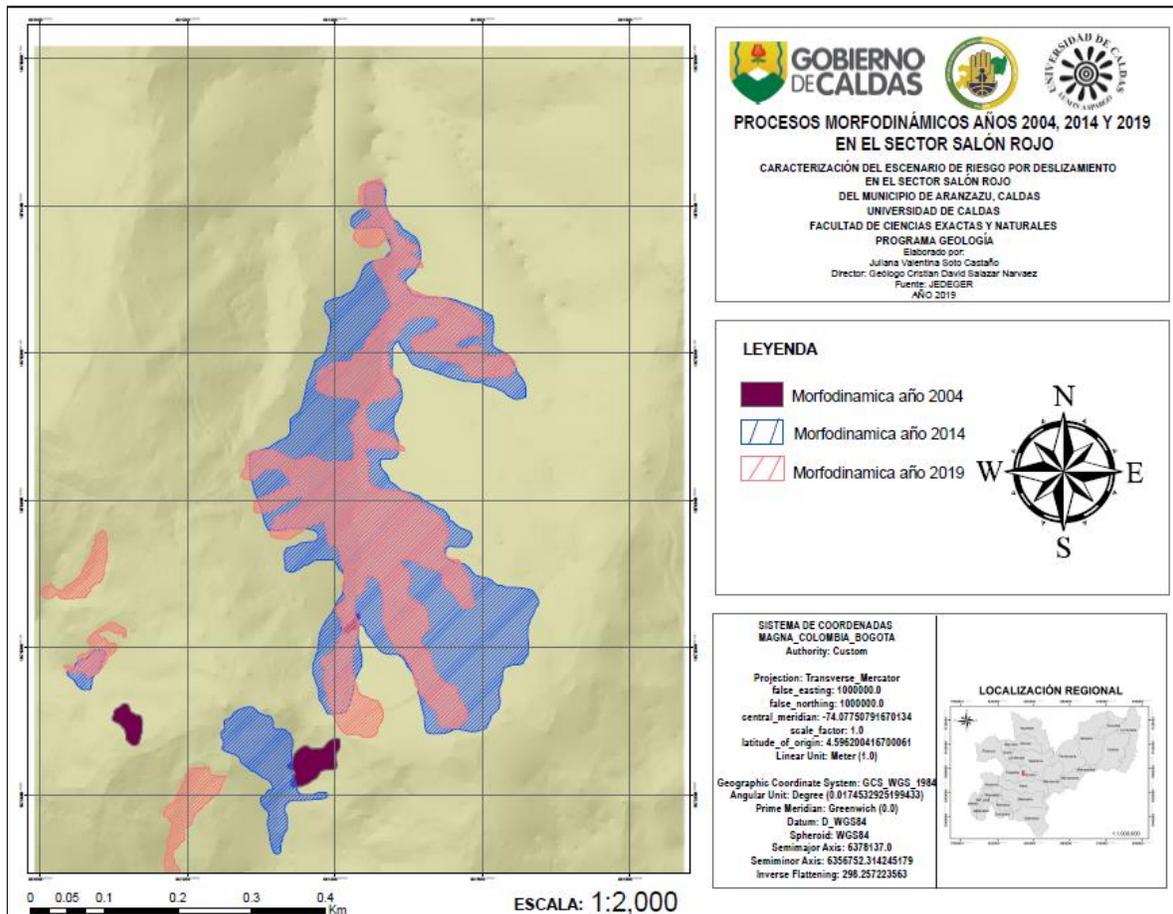


Ilustración 14. Mapa multitemporal de procesos morfodinámicos en el sector Salón Rojo.

El análisis multitemporal y la superposición de los procesos morfodinámicos indican que entre el año 1969 y 2004 los procesos morfodinámicos son incipientes y ocupan apenas un área de $4.318 m^2$, también se evidencia que para esta época se llevó a cabo la construcción de la vía y empieza aumentar la población en la zona, siendo la cobertura más importante

para este tiempo los pastizales ocupando un 60% del área al que posiblemente se le dio como uso la ganadería.

Entre los años 2004 y 2014 se evidencia el peor escenario para la zona ocasionado por procesos morfodinámicos, dejando un 14% del área con tierras desnudas degradadas.

También se presenta para estos años disminución de la población, mayor porcentaje de bosque 30% y el inicio de algunos cultivos. Para el año 2014 los procesos morfodinámicos se ven representados en un área de tierras desnudas degradadas de $137.275 m^2$.

Para los años comprendidos entre el 2014 y el 2019 indica un periodo de recuperación, mayor regeneración natural y reforestación, no obstante se da el inicio a nuevos procesos morfodinámicos, y aumento en el uso del suelo para ganadería, cultivos e incremento en la población.

El área de tierras desnudas degradadas para el año 2019 es de $77.472 m^2$, indicando un menor valor que para el año 2014 y una recuperación de $59.803 m^2$.

8. Caracterización de los movimientos en masa en el Sector Salón Rojo.

La principal manifestación de los movimientos en masa en el Sector Salón Rojo son los deslizamientos de los cuales a continuación se describe e identifica los cuerpos que están en movimientos relativo.

8.1 Movimientos en masa tipo deslizamientos

Un deslizamiento comprende una variedad de procesos que dan como resultado movimiento hacia abajo o hacia afuera de una masa, roca o detritos que conforman la ladera a lo largo de una superficie de ruptura bajo la influencia de la gravedad, y pueden ser detonados por lluvias o sismos.

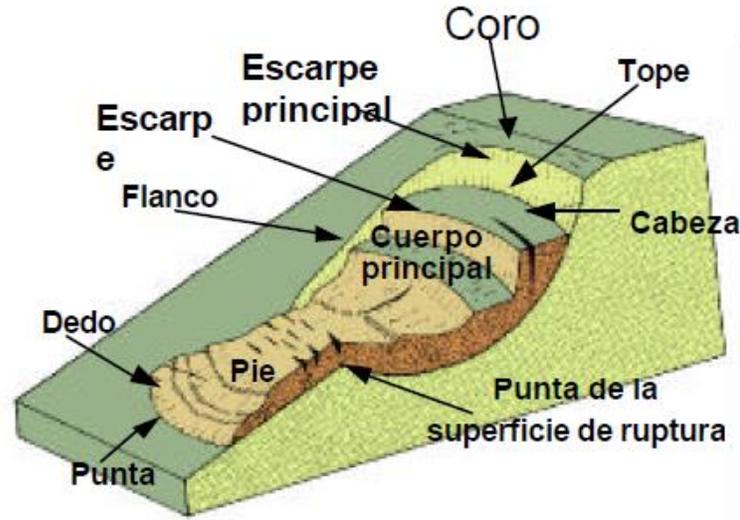


Ilustración 15. Partes de un deslizamiento (Varnes, 1978).

La clasificación para estos deslizamientos es esencialmente geomorfológica, describe el tipo de movimiento, tipo de material involucrado, y velocidad del desplazamiento basado en lo descrito por los autores Cruden y Varnes (1996), Skinner y Porter (1992). El tipo de deslizamiento que representa la zona de estudio es traslacional el cual se describe a continuación.

8.2 Deslizamiento traslacional.

Es un desplazamiento a lo largo de una superficie de ruptura planar, que puede ser escalonada y está controlada estructuralmente. En la corona, la masa puede estar separada del terreno estable por una enorme grieta de tensión. Hay movimientos traslacionales de roca, de bloques de roca, de detritos y bloques de tierra, los cuales suelen ser extremadamente rápidos, sobre todo si la superficie de falla posee un alta pendiente Cruden y Varnes (1996). Las ilustraciones 16 y 17 representan este tipo de deslizamiento y algunas de sus partes.

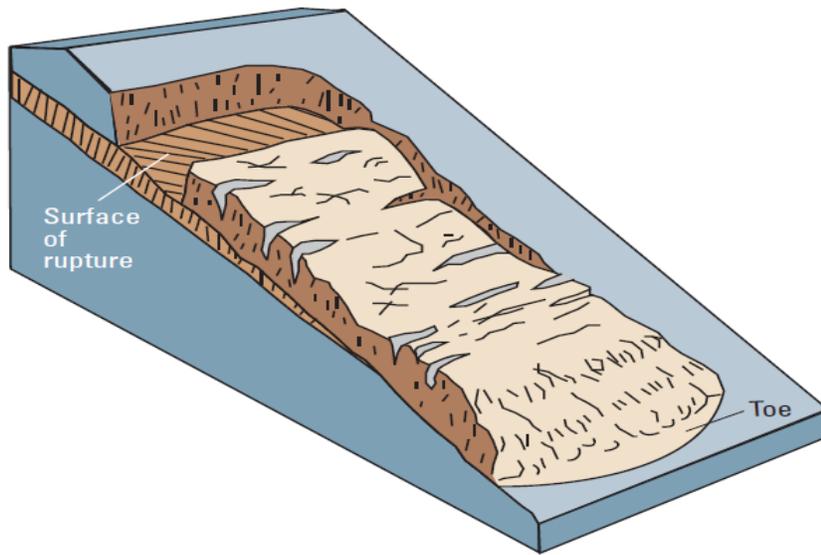


Ilustración 16. Esquema de un deslizamiento traslacional tomado de Cruden, D.M, and Varnes, D.J., 1996, 9. Landslide types and processes en USGS.

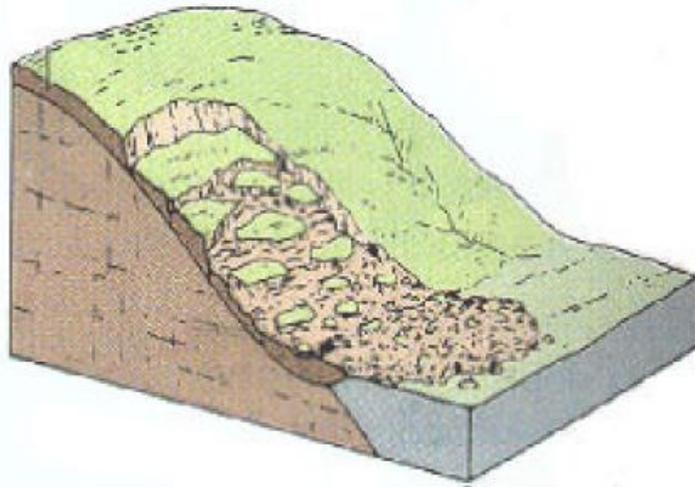


Ilustración 17. Deslizamiento traslacional (Skinner y Porter 1992).

8.3 Descripción de los deslizamientos de la zona

La zona de estudio está constituida por una serie o enjambre de deslizamientos de tipo traslacional, desarrollados sobre suelos residuales producto de la meteorización del miembro sedimentario del Complejo Quebradagrande, donde la superficie de ruptura es totalmente plana en las laderas más inclinadas de la zona; algunos de éstos se deslizan sobre el plano de contacto entre el suelo residual y el saprolito a manera de desprendimientos de suelo, alcanzando metros de ancho, afectando gran parte del área, la vía y algunas viviendas, constituyendo la mayor amenaza.

Las rocas de los alrededores se encuentran altamente fracturadas creando una zona susceptible a fenómenos de remoción en masa principalmente cuando interactúan agentes externos como la lluvia.

En términos de como la ruptura se propaga en relación con la dirección del movimiento, se caracteriza por ser de tipo: ruptura progresiva, donde la ampliación del deslizamiento se da tanto en la dirección del movimiento, y en la dirección opuesta al movimiento.

Las ilustraciones número 18 y 19 muestran la serie de deslizamientos de tipo traslacional en el sector Salón Rojo, algunas de sus partes y la afectación por pérdida de cobertura a causa de la erosión en la zona.



Ilustración 18. Panorámica deslizamientos traslacionales, desprendimiento del suelo y evidencia de la profundidad del Carcavamiento en el sector Salón Rojo.



Ilustración 19. Deslizamientos traslacionales, desprendimiento de suelo y cárcavas en el sector Salón Rojo.

Algunos de los deslizamientos generados en los suelos residuales en la zona generan depósitos en forma de coluviones en partes de la vía principalmente hacia la parte oriental de la zona (ilustración 20).

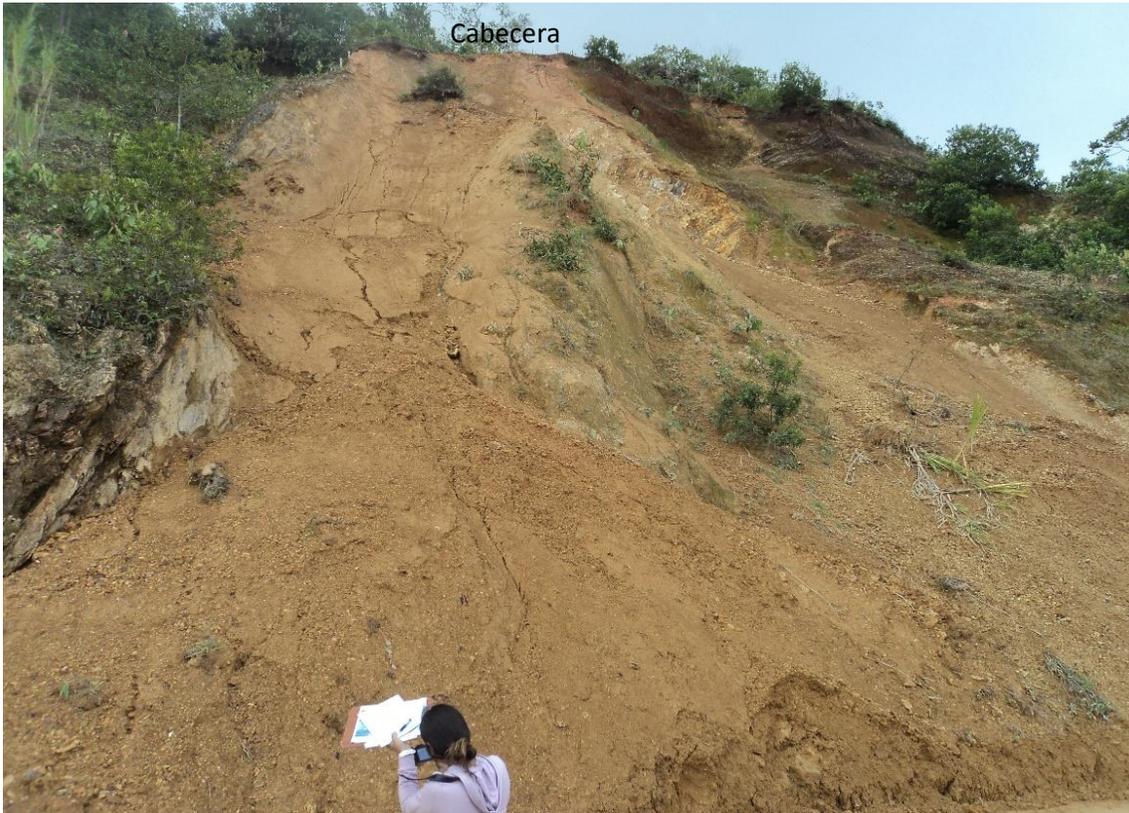


Ilustración 20. Desprendimiento de suelo formando coluvión en el sector Salón Rojo.

Las grietas en la corona del deslizamiento (ilustraciones 21 y 22) alcanzan valores de ancho de 25 cm, lo que a lo largo se podría convertir en el escarpe principal de un deslizamiento y que en la actualidad se han convertido en otro tipo de peligro para las personas y animales del sector.



Ilustración 21. Fotografía que muestra las grietas en la parte superior del deslizamiento.



Ilustración 22. Fotografía de las grietas siendo niveladas por personas de la comunidad para evitar accidentes del ganado.

Las dimensiones de los deslizamientos en este sector debido a su gran tamaño se obtuvieron con base en la ortofoto y la escala de ésta (ilustración 23), haciendo uso de algunas de las dimensiones para movimientos en masa recomendadas por la Asociación Internacional de Ingeniería Geológica (IAEG) las cuales son:

- 1. Ancho de la superficie de falla W_r :** Ancho máximo entre los flancos del deslizamiento perpendicularmente a la longitud.
- 2. Longitud total L :** Distancia mínima desde la punta a la corona del deslizamiento.

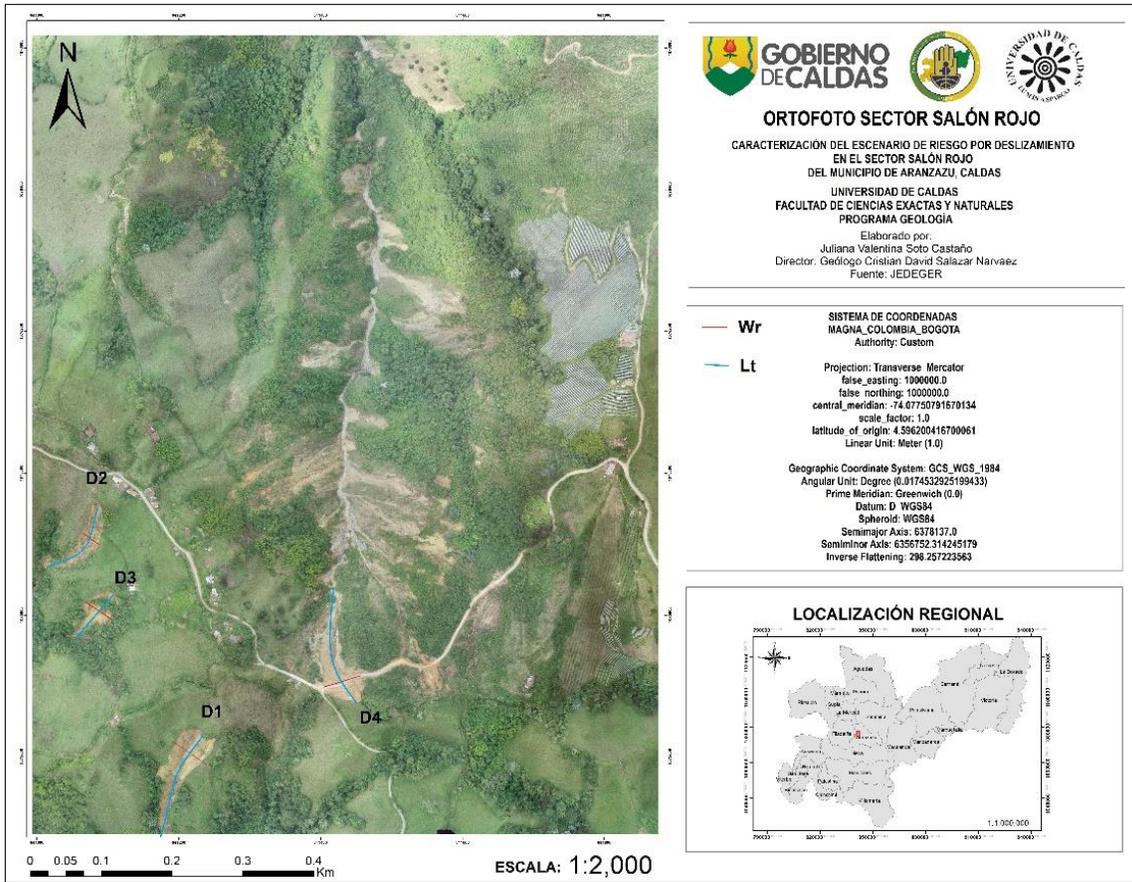


Ilustración 23. Ortofoto del sector Salón Rojo donde se analiza algunas de las dimensiones de los deslizamientos.

La tabla a continuación presenta las dimensiones de tres deslizamientos bien definidos en la zona y del enjambre de deslizamientos que se propaga por el drenaje en la parte central de área de estudio.

Tabla 6

Dimensiones W_r y L_t de algunos de los deslizamientos en el sector Salón Rojo

Deslizamiento (D)	Ancho de la superficie de falla (W_r)	Longitud total (L_t)
1	51.76 m	169.41 m
2	28.24 m	127.06 m
3	47.06 m	94.12 m
4	75.29 m	211.76 m

En cuanto la humedad en los deslizamientos se puede caracterizar como húmedos, conteniendo algo de agua pero no agua libre y el comportamiento en algunos lugares se presenta de forma sólido plástico.

8.4 Erosión en el sector Salón Rojo.

Es importante definir también como etapa de deterioro de estos deslizamientos y como proceso principal de la pérdida de cobertura en la zona el tipo de erosión presente, el cual es definido como el desprendimiento, transporte y depositación de partículas pequeñas de suelo o roca por acción de las aguas lluvia y de escorrentía que se generan durante aguaceros. En este sector la erosión actúa continuamente alcanzando grandes profundidades y es común en los suelos residuales poco cementados y principalmente donde la cobertura vegetal no está presente como en el caso de los deslizamientos. Los tipos de erosión presentes son:

Erosión laminar: se presenta como un lavado de la superficie a causa de las gotas de lluvia y la fuerza de escorrentía produciendo desprendimiento de las partículas y repartiéndolas por toda la superficie.

Erosión en surcos: los surcos se forman por la concentración del flujo de agua en direcciones preferenciales, movilizandolas partículas y formando canales de poca profundidad.

Erosión en cárcavas: esta erosión se da cuando los surcos al profundizarse capturan surcos vecinos, los cuales a su vez profundizan o se amplían formando cárcavas en forma de V o U, constituyendo el estado más avanzado de erosión presente.

9. Cobertura y uso del suelo

De acuerdo al IDEAM (2012) la cobertura de la tierra describe la vegetación, los elementos antrópicos existentes y otras superficies terrestres como afloramientos rocosos y cuerpos de agua; y define el uso de suelo como la utilidad que presta la cobertura de la tierra al ser humano, las funciones económicas de una porción específica de la tierra (como el uso urbano o industrial, de reserva natural, entre otros).

El uso del suelo en la zona se caracteriza por tener una propensión al sector agrícola y ganadero. En el sector agrícola la producción de plátano y aguacate son la principal actividad económica en la región.

9.1 Clasificación de la cobertura y uso de suelo para el área de estudio.

Para llevar a cabo esta clasificación se hizo una zonificación a partir del trabajo de campo y la ortofoto generando el mapa de cobertura y uso del suelo (ilustración 24).

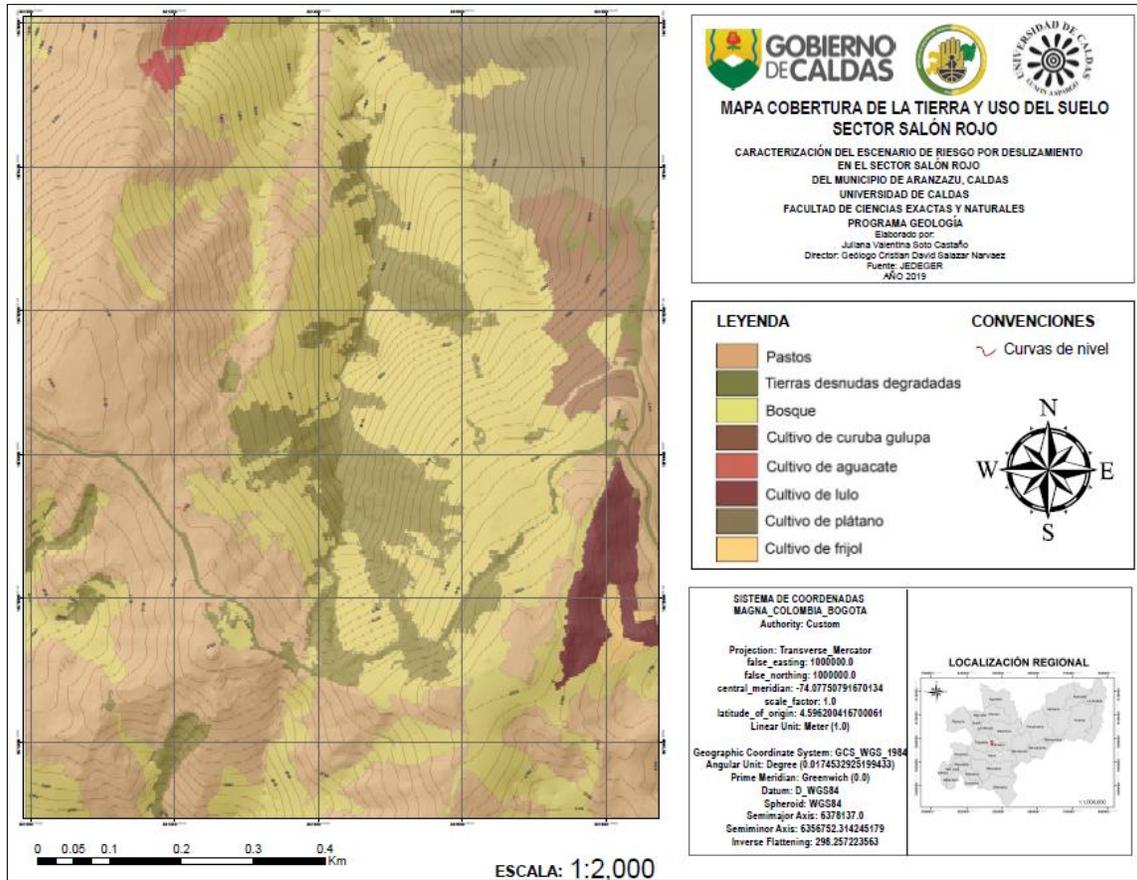


Ilustración 24. Mapa cobertura y uso del suelo en el sector Salón Rojo

En el mapa de la ilustración 24 se identifican las siguientes coberturas de la tierra y los diferentes usos que se le da al suelo en el sector Salón Rojo:

Bosque natural: esta zona se constituye por ser bosque de especies nativas y bosque de especies nativas introducidas con funciones de protección. A estos pertenecen la especie yarumo blanco, helechos.

Tierras desnudas degradadas: estas zonas en el área de estudio representan las partes en las que los suelos están expuestas al medio ambiente y se caracterizan por ser de color rojizo naranja.

Pastos: estos terrenos son destinados para la ganadería extensiva, los tipos de pasto utilizados para este fin son estrella, imperial y King grass. La zona de pastos abarca el espacio más grande dentro del área de estudio.

Cultivo curuba gulupa: este tipo de cultivo es transitorio en la zona debido a que su vida útil esta entre los 24 y 36 meses, este tipo de curuba presenta una raíz poco profunda con muchas raíces secundarias, el tipo de suelo adecuado para estos cultivos son suelos sueltos franco-arenosos o franco- arcillosos, con buen drenaje, precipitaciones anuales bien distribuidas entre 2.000 - 2.5000mm y buen sistema de riego que asegure el buen desarrollo del cultivo (Angulo 2009).

Cultivo plátano: esta zona ocupa la parte nor-este del área de estudio, este tipo de cultivo se caracteriza por presentar un sistema radicular profundo llegando alcanzar hasta 1,5 m de profundidad, el poder de penetración de las raíces es débil, por lo que la distribución radicular está relacionada con la textura y estructura del suelo, el tipo de suelo apto para el desarrollo debe presentar textura franco-arenosa o franco arcillosa. Este tipo de cultivo requiere cantidades abundantes de agua para su buen desarrollo, precipitaciones entre 120 a 150 mm mensuales y 1.800 a 2.500 mm distribuidos en todo el año, (tomado de la guía técnica del cultivo del plátano).

Cultivo de frijol: este tipo de cultivo no abarca gran parte de la zona y también se considera como transitorio. Requiere de suelos con textura franco limosa o franco arcillosa, con buen drenaje, no se utiliza riego en este tipo de cultivo por lo tanto la siembra se hace en los ciclos de lluvia en el año.

Cultivo de aguacate: esta zona se ubica en la parte nor-oeste del área de estudio y se caracteriza por presentar aguacates de tipo Hass; para este tipo de cultivo los suelos más recomendados son los de textura ligera, arcillosos o franco arcillosos, bien drenados que requieren de riego en épocas secas.

Cultivo de lulo: esta zona se encuentra en la parte este del área de estudio, se caracteriza por requerir precipitaciones entre 1500 a 2500 mm anuales, el tipo de suelo adecuado para este es de tipo arenoso o franco arenoso con buen drenaje y rico en materia orgánica.

Según el tipo de los cultivos, los suelos con textura franco-arenosa y franco-arcillosa son representativos de la zona, los cuales se caracterizan por ser suelos de elevada productividad agrícola y por ser los mejores para el crecimiento de la mayoría de las plantas. Estos suelos son permeables con mediana capacidad de retención de agua.

10. Hidrología

La hidrología del sector Salón Rojo en este estudio se centra en las precipitaciones, en especial de las lluvias, al ser estas una parte importante de ciclo hidrológico y una de las mayores causas por la que ocurren deslizamientos en el mundo; para esto se analiza los registros de precipitaciones obtenidos para las estaciones meteorológicas más cercanas a la zona de estudio, presentadas en las páginas del IDEAM y el IDEA (CDIAC).

A partir de estos datos se pudo asumir que las épocas de mayor precipitación para la zona se presentan con un régimen de distribución bimodal, dos estaciones de lluvia de abril a junio y de octubre a noviembre (ver tablas 7 y 8), y dos periodos secos julio – agosto y enero –febrero.

La precipitación promedio anual varía entre 2000 y 3000 mm y los valores promedio de lluvia mensuales están entre 160 y 180 mm, siendo los meses más lluviosos abril y octubre.

El promedio de días de lluvia al año es de 242, es decir, en un 66% del año se presentan precipitaciones.

Estos promedios altos de lluvia originan perfiles muy profundos de meteorización que generalmente se encuentran en estado húmedo no saturado, causando un grave problema de estabilidad y jugando un papel importante en la causa de los deslizamientos en la zona.

Tabla 7

Graficas de tres estaciones meteorológicas cercanas a la zona de estudio que ayudan a determinar las épocas más húmedas para el año 2012.

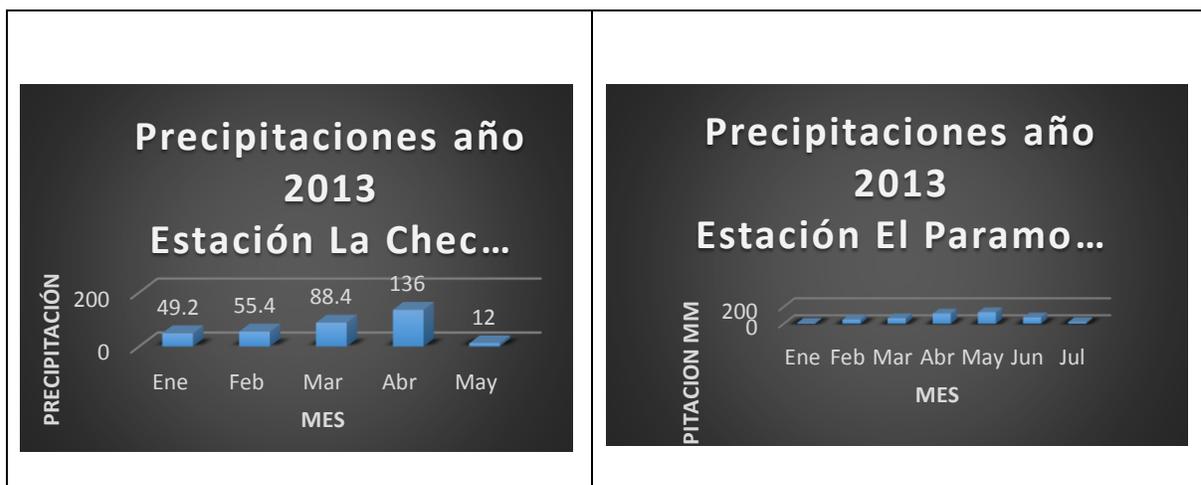




Nota: Datos para la elaboración de las gráficas tomados del IDEA (CDIAC)

Tabla 8

Graficas de precipitación de estaciones cercanas al área de estudio para el año 2013. Datos tomados del IDEA (CDIAC)



A partir de las siguientes graficas definidas por el IDEAM se puede precisar que las precipitaciones han venido aumentando al paso de los años y en el que la media mensual comprende entre los 100 y 400 mm para los años 2000 a 2010, lo que se relacionaría con la aparición de los deslizamientos en el sector Salón Rojo comprendidos entre los años 2004 a 2014.

Tabla 9

Grafica de las precipitaciones reportadas en la estación Neira para diferentes años, fuente IDEAM

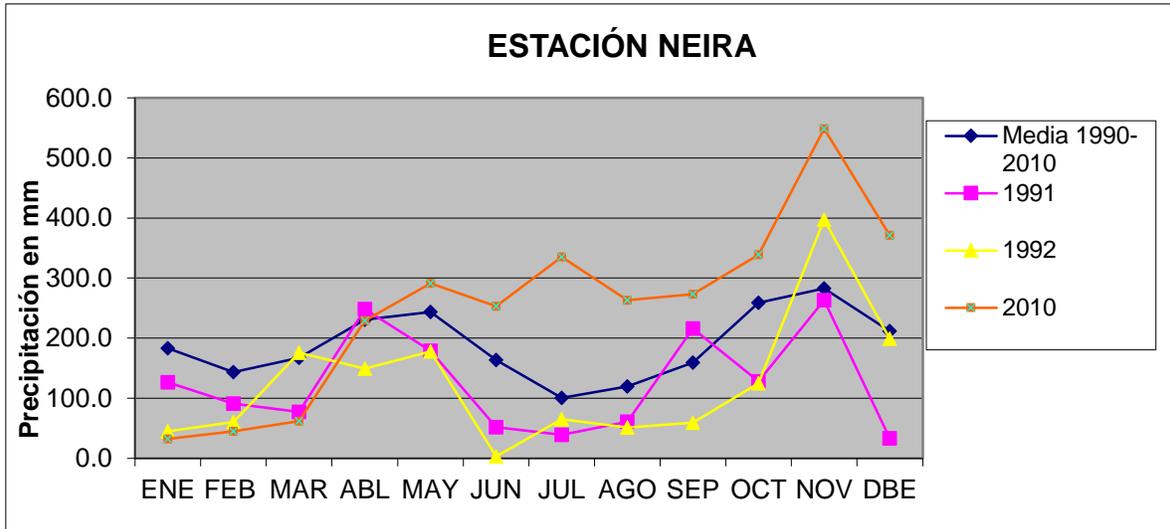


Tabla 10

Grafica de las precipitaciones reportadas en la estación Salamina para diferentes años, fuente IDEAM

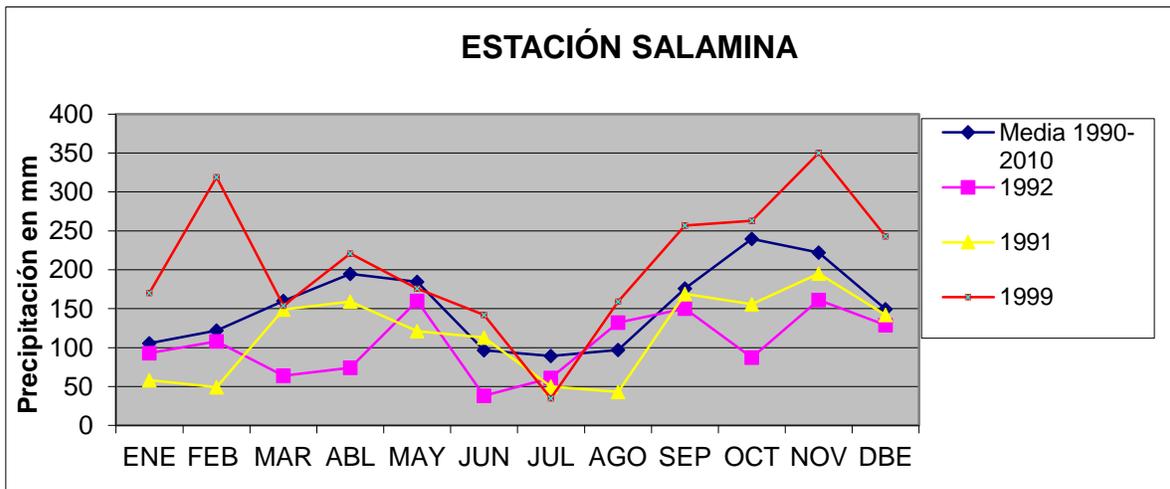
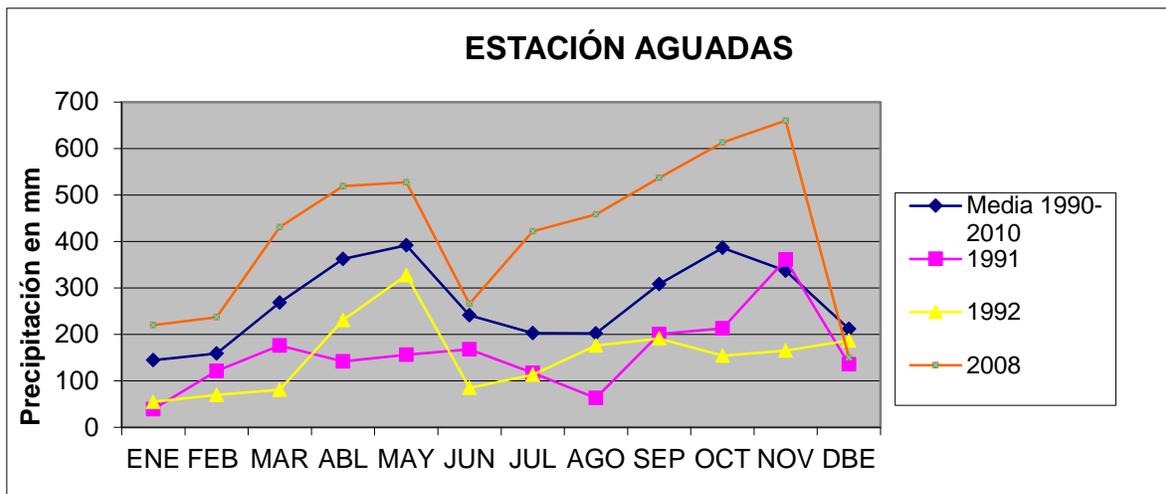


Tabla 11

Grafica de las precipitaciones reportadas en la estación Aguadas para diferentes años, fuente IDEAM



11. Sismicidad

El territorio colombiano se encuentra ubicado al nor-occidente de Suramérica, ocupando una posición dentro del denominado Cinturón de Fuego del Pacífico donde las placas interactúan mediante procesos de expansión y de colisión generando, fallas, sismos y vulcanismo. Lo que hace a Colombia y al departamento de Caldas estar en una de las zonas de alto riesgo sísmico.

La sismicidad en el departamento de Caldas se asocia principalmente con el sistema de fallas Romeral el cual afecta gran parte del departamento.

Para la zona de estudio la sismicidad se evaluó a partir de los datos obtenidos del Servicio Geológico Colombiano de sismos en el municipio de Aranzazu, Caldas entre los años 1995 a 2018. En estos se reportan sismos para todo el municipio no mayores de magnitud 3 y para la zona más cercana al área de estudio sismos no mayores de magnitud 1.75, barras color rosa (Ilustración 25).



Ilustración 25. Gráfico distribución de sismos para el municipio de Aranzazu entre los años 1995-2018, resaltando en color rosa los más cercanos a la zona de estudio. Fuente de los datos Servicio Geológico Colombiano.

12. Susceptibilidad

Para comprender el grado de afectación debido a los movimientos en masa es conveniente evaluar la susceptibilidad de la zona, dicha susceptibilidad es conocida como el grado de predisposición que tiene un sitio a que en él se genere un evento dado, debido a la evolución propia de la amenaza y a sus condiciones intrínsecas, a la presencia de al menos un fenómeno detonante y de factores contribuyentes.

Características como la pendiente, geología, geomorfología y uso del suelo se convierten en el insumo principal para el análisis debido a que la interacción de estos factores constituye la causa de la inestabilidad y determinan la susceptibilidad de la zona a la acción de los factores detonantes.

Esta susceptibilidad se ha visto intervenida también por procesos antrópicos que han generado un deterioro acelerado; estos procesos han sido los cambios de cultivos, la deforestación, el sobrepastoreo en laderas pendientes, el deficiente manejo de las aguas y la construcción de la vía la cual generó una relajación de los esfuerzos de confinamiento y a su vez exposición al medio ambiente, propiciando un espacio favorecedor para que la meteorización actué, lo que para Godard *et al*, 2001, es un factor relevante en la formación de las superficies de erosión.

Todos estos procesos o condicionantes han hecho que la susceptibilidad sea mayor ante cualquier detonante, por lo tanto es importante analizar la susceptibilidad en toda el área de estudio por medio de una zonificación.

12.1 Zonificación de la susceptibilidad

Para la zonificación de la susceptibilidad se empleó el método heurístico, el cual se fundamenta en jerarquizar y dar peso a los factores causantes de inestabilidad según la influencia esperada de estos en la generación de los deslizamientos, en el cual se emplearon estrategias heurísticas que son las que contribuyen a determinar la solución del problema abordado, examinando primero lo que se busca, y apoyándose de los conocimientos que se tienen u opiniones de expertos, analizando posibles resultados hasta llegar a lo buscado.

Este tipo de método requiere un análisis exhaustivo de los factores causales y su relación en el área de estudio (Castellanos et al, 2008) y los resultados dependen principalmente del conocimiento del investigador.

Entre las estrategias se dio una calificación cualitativa del medio físico, fijando cinco grados de susceptibilidad dependiendo de las características de cada una de las unidades de

las variables condicionantes: geología, geomorfología, pendiente, uso del suelo; siendo cinco el valor de susceptibilidad más alto, es decir las unidades que son más susceptibles a que en ellas se genere movimientos en masa (12, 13, 14, 15 y 16).

Tabla 12

Calificación de la susceptibilidad

Susceptibilidad	Calificación
Muy baja	1
Baja	2
Moderada	3
Alta	4
Muy alta	5

Tabla 13

Susceptibilidad para las unidades de cobertura y uso del suelo

Cobertura y uso del suelo	Calificación
Bosque natural	1
Cultivo de plátano	2
Cultivo de curuva	3
Cultivo de aguacate	3
Cultivo frijol	3
Cultivo lulo	3
Pastos (ganadería)	5
Tierras desnudas degradadas	5

Tabla 14

Susceptibilidad para las unidades de la geología

Geología	Calificación
Unidad sedimentaria	4

Tabla 15

Susceptibilidad para las unidades de la pendiente

Pendiente	Calificación
0-2°	1
2-4°	2
4-8°	2
8-16°	3
16-35°	4
35-55°	4
>55°	5

Tabla 16.

Susceptibilidad para las unidades según el origen de la geomorfología y procesos morfodinámicos

Geomorfología	calificación
Denudativo	4
Denudativo/estructural	3
Procesos morfodinámicos	5

Después de asignados los valores de susceptibilidad se llevó a cabo la superposición de las capas asignado a cada una un valor porcentual de incidencia hasta llegar al modelo más representativo de la zona (tabla 17).

Tabla 17

Valor porcentual de cada condicionante

Condicionante	Valor porcentual
Geología	20%
Geomorfología	25%
Cobertura y uso del suelo	30%
Pendiente	25%

El modelo representativo de la susceptibilidad a movimientos en masa en el sector Salón Rojo (ilustración 26) se ve reflejado por la influencia de la cobertura y el uso del suelo interpretado por el valor porcentual más alto.

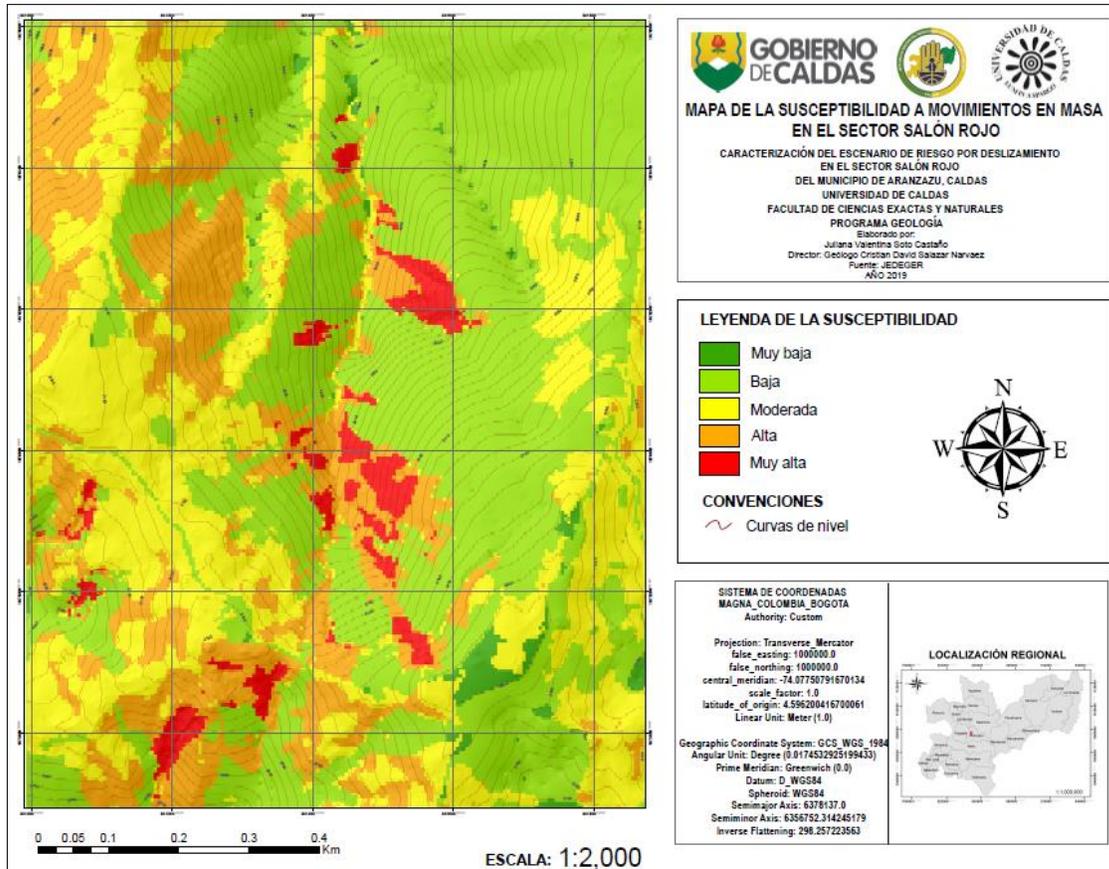


Ilustración 26. Mapa de susceptibilidad a movimientos en masa, en el sector Salón Rojo.

12.2 Zona de muy alta susceptibilidad.

Corresponde a las zonas que no poseen cobertura vegetal ocasionando una mayor exposición al ambiente y por ende mayor meteorización. Las pendientes en esta zona son muy abruptas entre $35-55^\circ$ y se encuentra dominada por geformas típicas de ambientes denudacionales y estructurales: escarpes de deslizamientos y ladera erosional activa. Estas zonas se deben mantener como áreas de protección.

12.3 Zona de alta susceptibilidad.

Esta zona está representada por pastos donde su mayor uso es la ganadería, donde las pendientes son abruptas entre 16 a 35°. En estas zonas se deben realizar estudios de detalle y medidas correctivas que aseguren la estabilidad o mantenerse como áreas de protección.

12.4 Zona de moderada susceptibilidad.

A esta zona corresponden pastos a los que se les da como uso la ganadería, los cultivos de curuba y lulo, con pendientes inclinadas a abruptas, son zonas que están siendo modificadas por acción antrópica. Zona que requiere de medidas correctivas que aseguren la estabilidad.

12.5 Zona de baja susceptibilidad.

Para esta zona corresponden bosques y el cultivo de plátano. Son zonas que no están siendo muy intervenidas por acción antrópica. Estas zonas son sectores estables que requieren de medidas de corrección menores, aunque se debe considerar la influencia de los sectores aledaños.

12.6 Zona de muy baja susceptibilidad.

Zona representada por bosques muy densos y pendientes inclinadas entre 4 y 8°, donde no se presenta ningún indicio de acción antrópica. Zonas estables, no requieren de medidas correctivas pero se debe tener en cuenta la influencia de las zonas aledañas.

13. Detonante

Un detonante es un estímulo externo como la lluvia intensa, un sismo, erupción volcánica, acción antrópica, entre otros cuya respuesta casi inmediata es un movimiento en masa como consecuencia del cambio en los esfuerzos o en la resistencia del material que conforma la ladera (Servicio Geológico Colombiano).

Partiendo del análisis de la información base específicamente de la hidrología y sismicidad, para este estudio se toma como factor detonante la precipitación, sin embargo, esto no lo convierte en el único detonante de los deslizamientos en este sector pero si el más influyente debido a que la saturación del material geológico por agua es la causa inmediata que desencadena los deslizamientos y la erosión en el área; el agua llega a la ladera por diferentes vías: por lluvias extremas, lluvias prolongadas, riego y fuga de tuberías, parte de esta es tomado por las plantas otro se infiltra en el suelo y en las discontinuidades más profundas, aumentando el nivel freático e incrementando la presión interna, causando disminución de la resistencia al esfuerzo cortante, alcanzando la mayor inestabilidad que dispara el movimiento de la ladera.

Siendo el detonante en la zona la lluvia, se tomaron los valores medios anuales y mensuales de precipitación de 18 estaciones cercanas a la zona (tabla 18 y 19), con los que se obtuvo mediante interpolación geo estadística los valores de precipitaciones para la zona de estudio (ilustración 27).

Tabla 18

Datos de precipitaciones en las estaciones meteorológicas utilizadas para la interpolación. Fuente

IDEAM

Estación	Máxima Mensual (mm)	Máxima Año (mm)
221_1138	204.8	2457.7
222_1138	220.1	2640.7
Aguadas 26180190	274.4	3620.0
Arauca 26150060	171.6	2058.8
Bellavista	172.5	2069.9
Caramanta 26170180	210.1	2521.4
Conc Barc 26160080	151.7	1820.4
Cuatro esquinas 26180040	158.1	1897.5
Granja Luker	191.8	2301.7
Guerrerito 26170260	152.6	1830.9
La Cristalina 26160120	162	1943.9
La Maria	237.3	2847.1
La Pelada 26185010	163.3	1958.9

Neira 26160100	194.8	2401.9
Pacora plaza feria	235.7	2828
Riosucio 26170290	205.4	2464.7
San Felix	137.2	1646.1
Valle Alto	171.4	2056.7

Tabla 19

Datos de precipitaciones en las estaciones meteorológicas Salamina, Neira, Aguadas. Fuente IDEAM

ESTACIÓN	PERIODO	MEDIA	MIN	MAX	SUMA
Salamina	1980-1989	164.8	73.8	289.5	1978.1
	1990-1999	150.3	58.0	250.8	1803.7
	2000-2010	155.6	59.3	272.5	1866.7
Neira	1980-1989	173.6	70.4	295.2	2082.9
	1990-1999	176.1	56.9	370.8	2112.8
	2000-2010	200.2	73.3	378.3	2401.9
Aguadas	1980-1989	186.7	61.9	346.0	2239.9
	1990-1999	230.6	90.5	467.6	2767.6
	2000-2010	301.7	116.8	522.7	3620.0

Nota: Fuente IDEAM

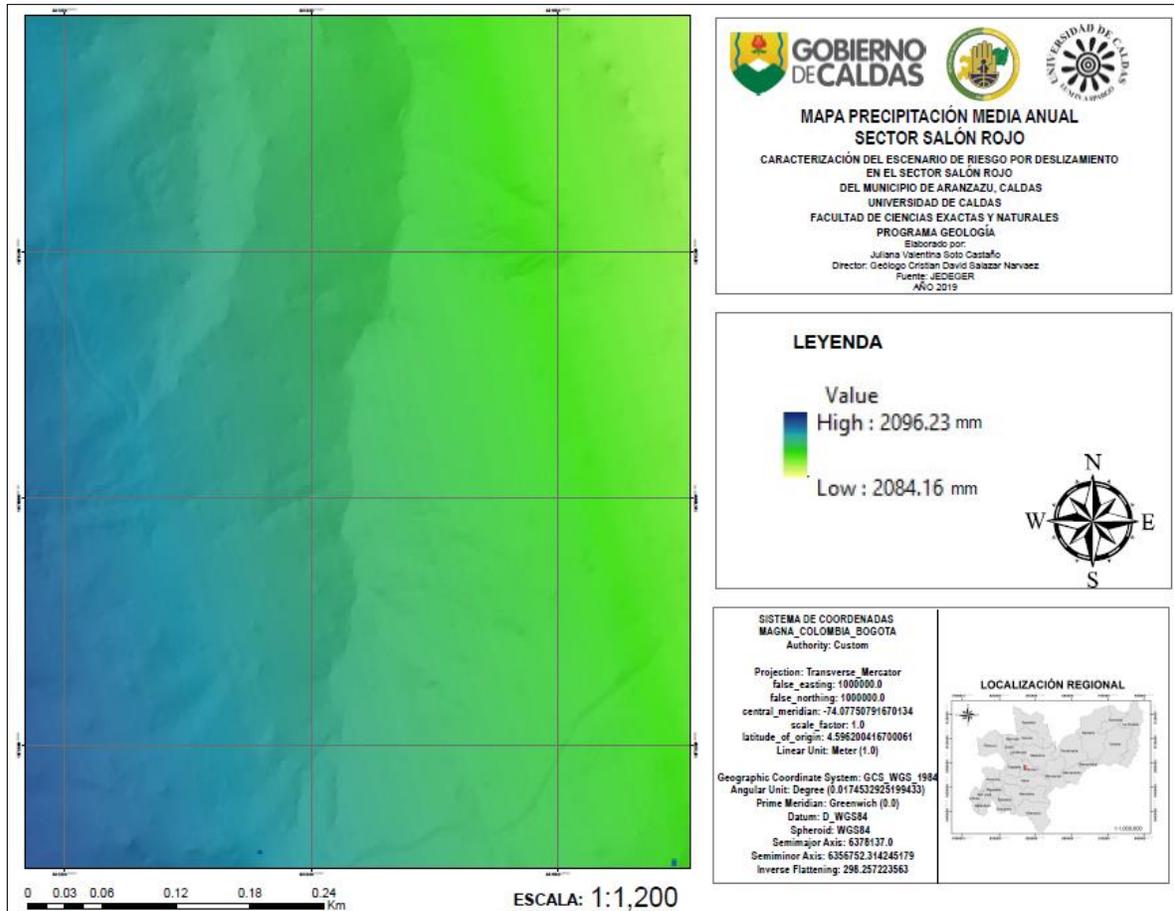


Ilustración 27. Mapa precipitación media anual sector Salón Rojo.

A partir del resultado de la interpolación anterior, se clasificaron los valores de precipitación del área de estudio en cinco categorías y a cada una se le asignó un peso de uno a cinco, siendo uno el peso dado al valor de la precipitación media anual menor y cinco el valor de la precipitación media anual mayor (tabla 20).

Tabla 20

Peso para la precipitación en el sector Salón Rojo

Categoría	Variable (mm)	Peso
Muy baja	2084.155 - 2087.087	1
Baja	2087.087 - 2089.114	2
Moderada	2089.114 - 2091.122	3
Alta	2091.122 - 2093.128	4
Muy alta	2093.128 – 2096.225	5

14. Análisis de la amenaza

La amenaza para el sector Salón Rojo se relaciona con la geodinámica externa de la tierra y está determinada por los movimientos en masa de tipo deslizamiento; esta amenaza se presenta después de que interviene el factor detonante ocasionando pérdidas importantes.

Este análisis se hizo mediante la aplicación del software Arcmap, considerando la amenaza como el factor resultante entre la susceptibilidad y el detonante, con el fin de establecer su intensidad y el área de impacto. Y se calculó mediante la misma metodología aplicada para la susceptibilidad, asignándoles un peso porcentaje a la susceptibilidad de 80% y al detonante de 20%, utilizando la expresión:

$$\text{Amenaza} = (\text{susceptibilidad} * 0.8) + (\text{detonante} * 0.2)$$

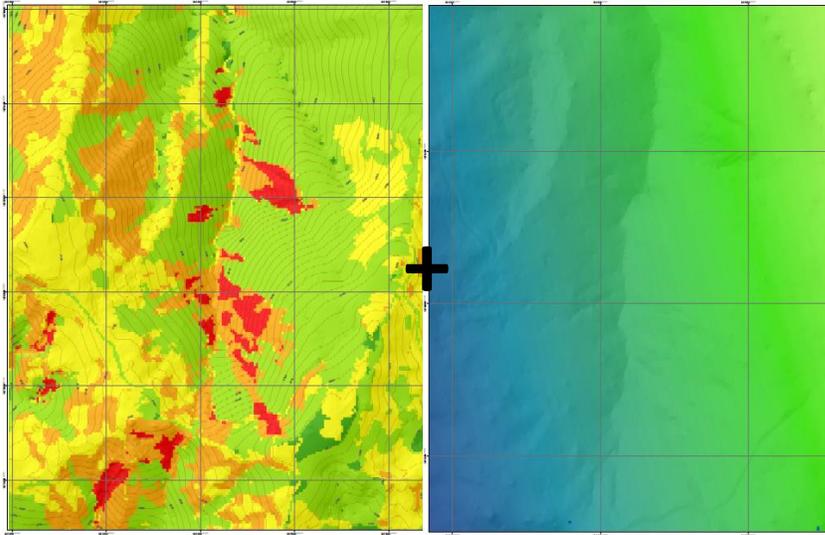


Ilustración 28. Mapas para determinar la amenaza (mapa susceptibilidad + mapa de precipitación media multianual).

Quedando como resultado una zonificación de la amenaza que posteriormente fue reclasificada en tres valores como lo muestra la tabla y quedando como resultado el mapa de amenaza por movimientos en masa para el sector Salón Rojo (ilustración 29).

Tabla 12

Valores de la amenaza reclasificados

Amenaza	Valor	Reclasificación
Alta	3,39 - 5	3
Media	2,6 - 3,39	2
Baja	1 - 2,6	1

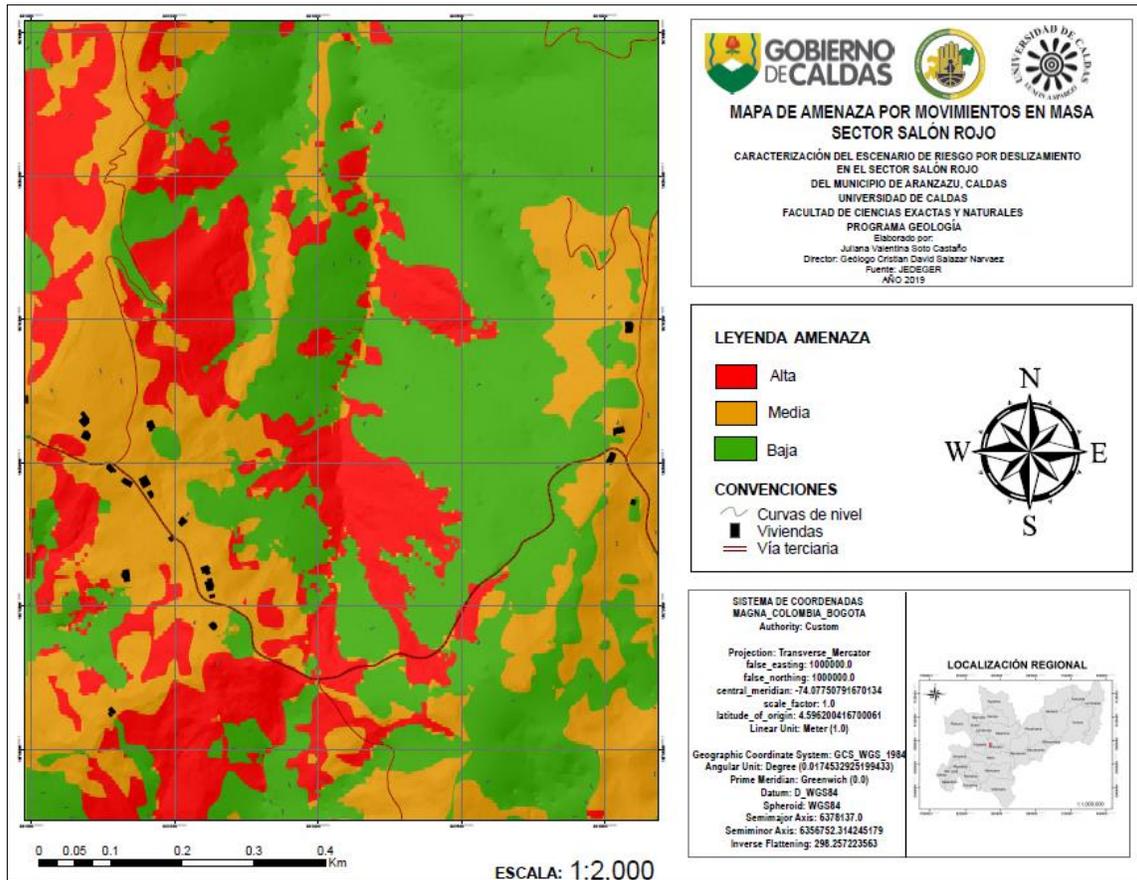


Ilustración 29. Mapa de amenaza por movimientos en masa en el sector Salón Rojo.

A partir del mapa de amenaza (ilustración 29) se identificaron las siguientes zonas:

14.1 Amenaza alta.

Corresponde a las zonas de mayor afectación por movimientos en masa e influye en un área de 322.000 m^2 , asociada a tierras desnudas degradadas y a pastos con uso ganadero en pendientes muy abruptas, principalmente donde están expuestos los suelos residuales y en los afloramientos de la unidad de roca blanda afectados por el alto grado de meteorización y el fracturamiento generado por el tectonismo en la zona.

14.2 Amenaza media.

Zonas que representan probabilidad de que ocurran movimientos en masa, pero en menor medida que en las zonas de alta amenaza. Está representada por pendientes moderadamente abruptas a muy abruptas con predominio de pastos con uso ganadero y cultivos de curuba, frijol y lulo. Dentro de esta amenaza media se encuentran ubicadas la mayoría de las viviendas del sector y gran parte de la vía.

14.3 Amenaza baja.

La amenaza baja está representada en zonas donde predominan bosques y cultivos de plátano, en pendientes inclinadas a abruptas.

15. Análisis de la vulnerabilidad

La vulnerabilidad es el factor interno de una comunidad o sistema y comprende las características de la sociedad acorde a su contexto que la hacen susceptibles de sufrir un daño o pérdida grave en caso que se concrete una amenaza (Manual para la elaboración de mapas de riesgo, 2017).

La vulnerabilidad ante un fenómeno natural, no solo depende de la susceptibilidad física del medio sino de la precariedad social y la falta de resiliencia o capacidad de recuperación de los elementos expuestos ante este tipo de amenazas.

En este estudio la vulnerabilidad de la zona se evaluó considerando la dimensión **exposición y susceptibilidad física** que corresponde a un daño potencial relacionado con la infraestructura física y en el ambiente. Incluye las viviendas y vía de la zona donde existe amenaza y por lo tanto están expuestos a tener pérdidas de gran magnitud.

15.1 Caracterización de los elementos expuestos

Para esta caracterización se identifica como elementos expuestos las 20 viviendas que se encuentran en la zona y la vía terciaria que comunica la cabecera municipal con cinco de sus veredas. Siendo la principal característica la cercanía que estos presentan a la amenaza.

15.2 Exposición a la amenaza.

La exposición en este análisis de vulnerabilidad corresponde a la cercanía de los elementos expuestos al área de amenaza y se convierte en el insumo principal.

Para esto se establecen tres zonas a evaluar dependiendo de la cercanía al área de amenaza las cuales se representan de acuerdo a la siguiente zonificación.

15.3 Zonificación de la vulnerabilidad

Esta zonificación se llevó a cabo con la ayuda de la herramienta proximity del software Arcmap 10.5 asignando valores de cercanía a los deslizamientos que son los principales constituyentes de la amenaza en la zona, teniendo en cuenta lo observado en campo y con base en la caracterización de los elementos expuestos se asignó tres valores de vulnerabilidad o exposición, quedando como resultado el mapa de vulnerabilidad por cercanía a la amenaza (ilustración 30).

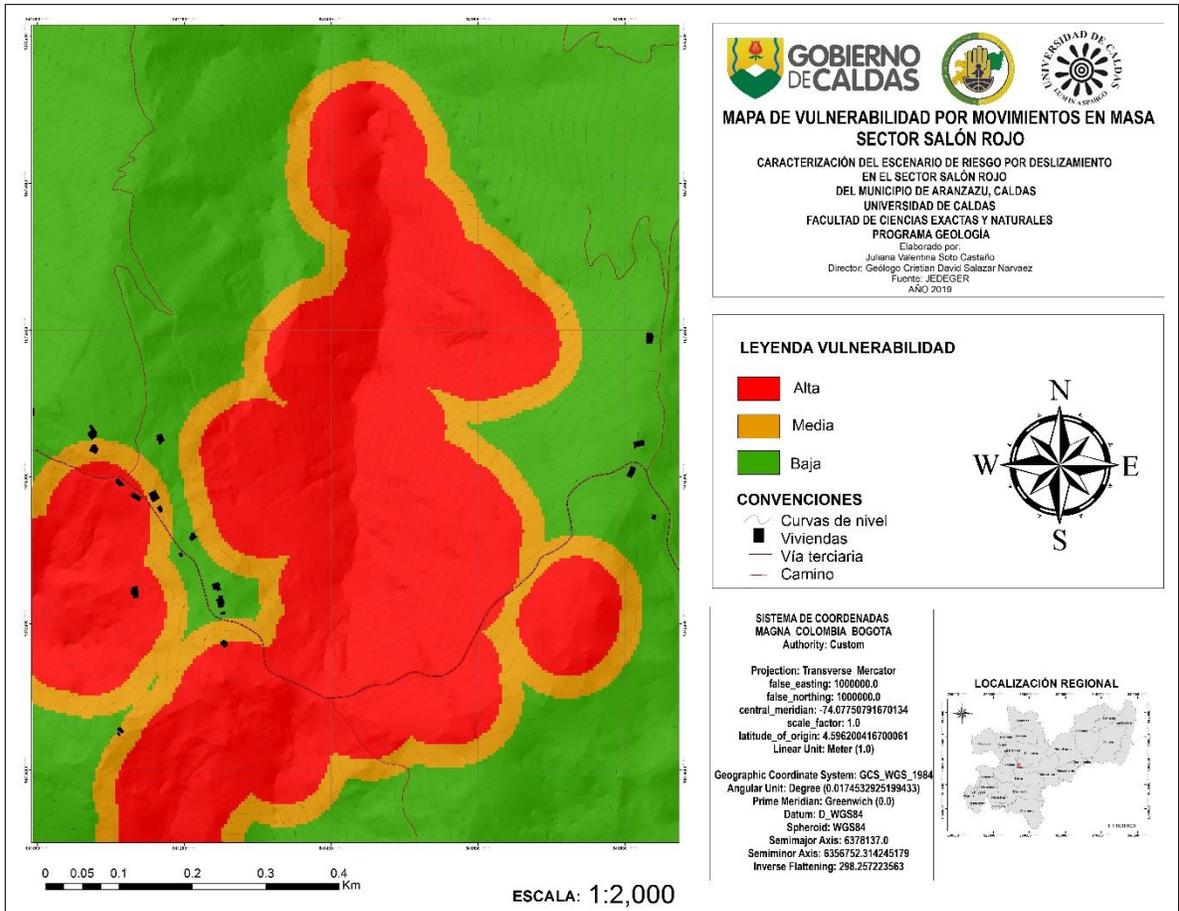


Ilustración 30. Mapa vulnerabilidad por movimientos en masa en el sector Salón Rojo.

El mapa de vulnerabilidad de acuerdo a la exposición deo como resultado la siguiente clasificación:

Tabla 20

Calificación de la vulnerabilidad

Vulnerabilidad	Calificación	Descripción
Alta	3	Corresponde a la zona comprendida entre los 0-60 m con respecto a los deslizamientos, a esta corresponde las zonas 2 y 3 del tipo de exposición, a la que pertenece cuatro viviendas con una tipología de edificación estructura ligera y gran parte de la vía aproximadamente 0.5 km.
Media	2	Corresponde a la zona comprendida entre los 60 y 90 m de distancia con respecto a los deslizamientos, en la que el tipo de exposición corresponde principalmente a la zona 1, con una mezcla de las tipologías de edificación estructura ligera y Estructuras con confinamiento deficiente y estructuras híbridas
Baja	1	Corresponde a la zona que se encuentra a distancia mayor de 90 m, en la que el tipo de exposición corresponde principalmente a la zona 4 y el tipo de edificación a estructura ligera y Estructuras con confinamiento deficiente y estructuras híbridas

15.4 Tipología de edificaciones.

Para obtener la tipología de las edificaciones se adopta la propuesta de Heinimann (1999) sobre la clasificación de los distintos diseños estructurales de las viviendas (tabla 21).

Tabla 21

Clasificación según tipología de las edificaciones, tomado de Heinimann 1999 en SGC.

Tipo de edificación	Descripción	Resistencia
Edificaciones con reforzamiento especial	Edificaciones de concreto y acero diseñadas y construidas con requerimiento superiores a los convencionales o con la exigencia máxima de los códigos de diseño.	Muy Alta
Edificaciones reforzadas	Edificaciones con estructura en concreto y acero, construidas con pórticos resistentes a momentos en acero, pórticos arriostrados en acero.	Alta
Mampostería reforzada	Edificaciones que tienen un sistema estructural de mampostería con elementos de refuerzo (barras, láminas, pernos, platinas, etc.)	Media
Estructuras con confinamiento deficiente y estructuras híbridas	Edificaciones con muros cargueros, pero sin confinamiento adecuado (mampostería no reforzada). Poseen elementos de otros materiales no competentes, por ejemplo mampostería no reforzada, adobe, bahareque, madera, tapia pisada, etc.	Baja
Estructuras ligeras	Edificaciones construidas con materiales tradicionales o de baja calidad, con un sistema estructural de muros cargueros.	Muy baja

	Se incluye edificaciones construidas con materiales como adobe, bahareque, madera bruta, tapia pisada y las prefabricadas.	
Construcciones simples	Edificaciones que no poseen una estructura definida, de carácter improvisado generalmente construido utilizando materiales precarios o de recuperación. Entre estas se incluyen las edificaciones en proceso de construcción y las construidas en materiales de recuperación, pódicos y paneles de madera, y pódicos de madera y paneles en otros materiales. Son ejemplo de este tipo de edificaciones tugurios, ranchos, campamentos, carpas, etc.	Extremadamente baja

De acuerdo a la clasificación anterior y la revisión de campo para la zona de estudio se tiene como resultado 17 viviendas de tipo estructuras ligeras, construidas con los siguientes materiales: adobe, bahareque y madera (Ilustración 31), representando un muy bajo grado de resistencia ante distintas amenazas. Las tres viviendas restantes presentan como tipo de edificación estructuras con confinamiento deficiente y estructuras híbridas, las cuales

presentan muros cargueros pero sin confinamiento adecuado y poseen elementos de otros materiales como adobe y madera, lo que indicaría una resistencia baja para estas.



Ilustración 31. Fotografía de una de las viviendas en el sector Salón Rojo construida con bahareque y que está siendo afectada por procesos morfodinámicos en la zona.



Ilustración 32. Fotografía de viviendas en el sector Salón Rojo de tipo de edificación estructuras ligeras representadas por muy bajo grado de resistencia.

A partir de los resultados anteriores de la cercanía a la amenaza y el tipo de edificación los daños que se esperarían en estos, según la Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano son:

Tabla 22

Daños esperados para edificaciones y líneas vitales

Clasificación de la vulnerabilidad	Edificaciones	Red vial
Alta	Colapso parcial o total de la estructura. Rotura de muros. Destrucción total de acabados y accesorios.	Bloqueo total de la vía. Se afecta totalmente el tránsito de vehículos.

Media	Grietas anchas y profundas. Plastificación local de los elementos estructurales. Posible colapso de elementos no estructurales. Danos en los muros. Daño grave de acabados.	Parte del volumen deslizado reposa sobre la vía. Los vehículos pasan con dificultad.
Baja	Grietas grandes y profundas. Danos graves en elementos no estructurales. Quiebre de ventanas. Entrada de material a la edificación. Danos en pisos. Grietas pequeñas. Despegues de pequeños pedazos de pañete, despegue de algunos ladrillos.	No existe material sobre la vía o el material que alcanzo la vía es fácilmente evadible por los vehículos.

Nota: tomada de la Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo del SGC.

16. Análisis del riesgo

En este análisis se describe principalmente la categorización del riesgo de bienes físicos (viviendas y vía), y se asocia directamente con las personas que ocupan estas viviendas.

El grado de riesgo al que está expuesto el sector Salón Rojo se identifica por la combinación de los factores: amenaza y vulnerabilidad, mediante el software Arcmap 10.5 por medio de la ecuación:

Riesgo = Mapa de amenaza * Mapa de vulnerabilidad

Quedando como resultado el mapa de riesgo por movimientos en masa en el sector Salón Rojo del municipio de Aranzazu, Caldas (ilustración 33).

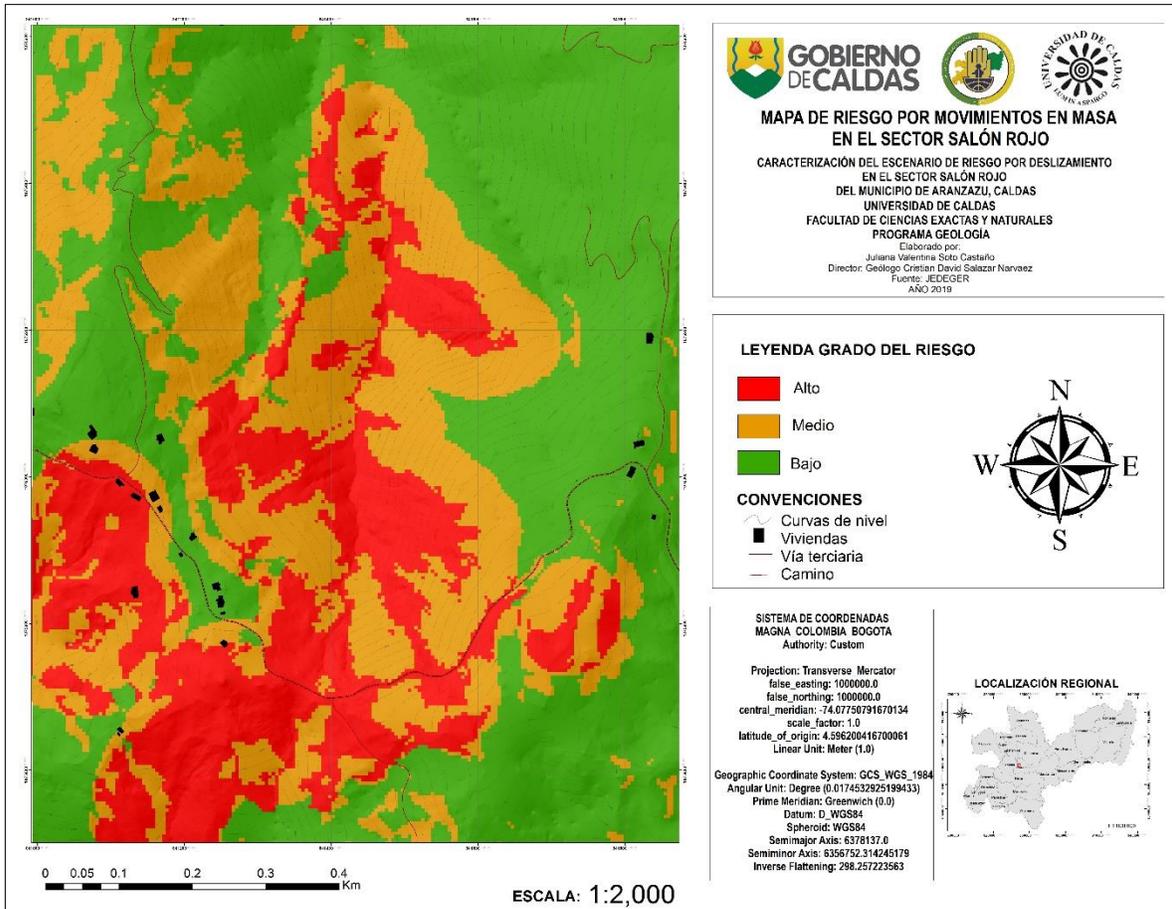


Ilustración 33. Mapa de riesgo por movimientos en masa en el sector Salón Rojo.

A partir del mapa del riesgo (ilustración 33) se determinó las viviendas y las partes de la vía que se encuentran en riesgo alto, medio y bajo, dejando como resultado cuatro viviendas y 600 m de la vía en riesgo alto (ilustración 34), cinco viviendas y 250 m de la vía en riesgo medio y por último, 11 viviendas y 550 m de la vía en riesgo bajo.

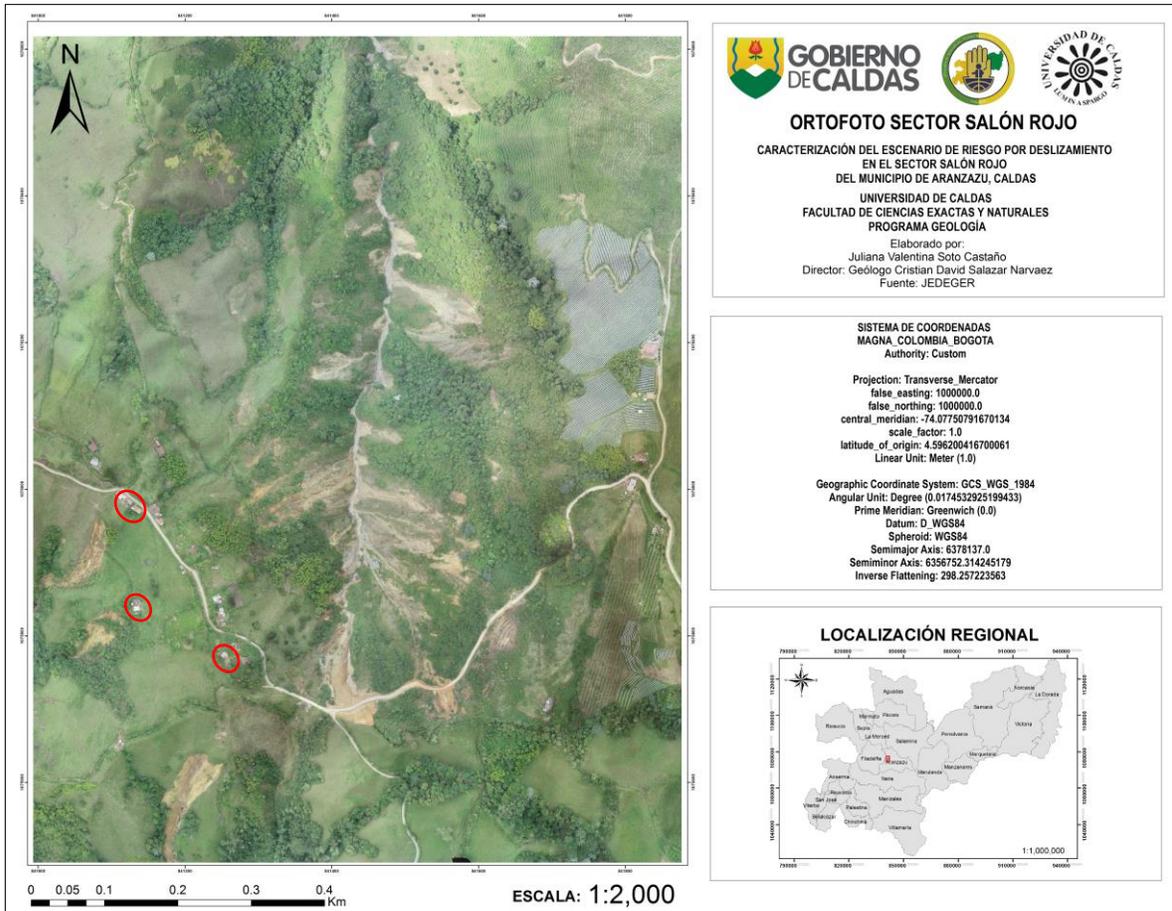


Ilustración 34. Orfoto del sector Salón Rojo donde se encuentran señaladas las cuatro viviendas que están en la categoría de riesgo alto.

En la siguiente tabla se define el riesgo para las tres categorías presentes en el área de estudio:

Tabla 13

Categorización del riesgo de bienes físicos. Tabla tomada de la Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo del SGC, modificada para la zona de estudio.

Categoría	Descripción
Alto	Riesgo inaceptable. Es necesaria la ejecución de investigaciones detalladas, planeación e implementación de medidas para reducir el riesgo. Las medidas de intervención estructural pueden ser dispendiosas y poco practicas; además, pueden ser más costosas que el valor mismo de la propiedad.
Medio	Puede tolerarse en ciertas circunstancias (de acuerdo con la regulación estatal), pero requiere investigación y planeación detallada para evitar que aumente. Las medidas para reducir el riesgo son viables económicamente.
Bajo	Usualmente aceptable para los tomadores de decisiones. Se requiere mantenimiento normal de taludes y laderas.

17. Conclusiones

- De acuerdo al análisis de la susceptibilidad se concluye que la variable o condicionante que influye de manera principal en los movimientos en masa en el sector Salón Rojo es la cobertura de tipo tierras desnudas degradadas y pastos, y el uso de suelo tipo ganadería.
- Se determinó que el macizo rocoso de la parte oriental del área de estudio posee características de calidad de roca mala determinada por el valor $RMR = 36$ y la clasificación GSI.
- Se concluyó que las pendientes predominantes en el área de estudio son abruptas a muy abruptas entre 16 y 55° de inclinación.
- Con respecto al análisis del riesgo por movimientos en masa para el sector Salón Rojo se identificó un 20% del área en categoría de riesgo alto, área en la que se encuentran 4 viviendas del sector y 600 m de la vía.
- Cabe destacar la importancia de la implementación de los SIG en este tipo de trabajos ya que facilitan la comprensión de este tipo de escenarios, sin embargo no serían útiles sin el conocimiento geológico y el trabajo de campo en la zona.
- La zonificación de la vulnerabilidad permitió identificar los elementos con mayor exposición a la amenaza, entre los que se encuentran cuatro viviendas y la vía que conduce a las veredas La Paila, La Meseta, Buena Vista.
- A partir del análisis multitemporal se concluye que los procesos denudativos en el sector Salón Rojo se vienen presentado a partir del año 2004, lo que le da una edad de 15 años al deslizamiento más antiguo en la zona.

18. Recomendaciones

- Generar cultura de protección en el gremio de ganaderos a cerca de la explotación excesiva del suelo a causa del sobrepastoreo y la tala de bosques para el establecimiento de ganadería, ya que este es uno de los principales motivos de la erosión de grandes extensiones de la zona. Es importante implementar el diseño de un sistema sostenible de rotación de potreros.
- Establecer programas de culturización y medidas de control para evitar que las zonas de ambientes frágiles sean deforestadas para la ampliación de cultivos.
- Establecer la delimitación de zonas de ronda hídrica, regulando las áreas forestales protectoras en una faja no inferior a 30 m de ancho paralela a los drenajes.
- Se recomienda socializar este trabajo con la alcaldía del municipio de Aranzazu, con el fin de analizar una posible reubicación de las infraestructuras que se encuentran en el área de la categoría de riesgo alto y la prohibición de asentamientos e infraestructuras en las áreas no ocupadas de esta misma categoría.
- Establecer sistemas de alerta temprana que incluyan activamente a la comunidad en riesgo, y que faciliten la educación y concientización del público sobre el riesgo por movimientos en masa.
- Monitorear la evolución de las grietas de tensión o escalonamientos que se presentan en el terreno ya que estos podrían marcar el desarrollo incipiente de un movimiento en masa o la evolución de un proceso preexistente.
- Aplicar medidas de drenaje que disminuyan e intercepten el agua en el talud mediante drenajes superficiales como: cunetas revestidas de capacidad suficiente para captar y conducir las aguas de escorrentía provenientes del talud y de la vía,

con el fin de garantizar la adecuada conducción de las aguas hacia un drenaje natural.

- Modificar la geometría del talud al lado de la vía en la parte oriental de la zona con la construcción gradas o terrazas que disminuyan la pendiente con el fin de aumentar su estabilidad, redistribuyendo las fuerzas debidas al peso de los materiales, y que garanticen también velocidades aceptables de las aguas de escorrentía sobre el talud y a su vez faciliten el establecimiento de la vegetación.

19. Referencias

- Angulo, R. (2009). "Gulupa" Cartilla técnica, Bayer Cropscience S.A. Bogotá.
- Ayala-Carcedo, F. J., & Cantos, J. O. (2002). *Riesgos naturales*. Ariel.
- Belalcazar, C. (1999). *El cultivo del plátano: guía práctica* (No. C014. 020).
CCQINIBAPICAPPICCR.
- Brabb, E. E., & Harrod, B. (Eds.). (1989). *Landslides: extent and economic significance* (p. 385). Rotterdam: Balkema.
- Colombiano, S. G. (2015). Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. *Bogotá, DC, Colombia*.
- Cruden, D.M, and Varnes, D.J., 1996, 9. Landslide types and processes, in Turner, A. Keith, and Schuster, Robert L. eds. *Landslides—Investigation and mitigation: Transportation Research Board, Special report no. 247, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C., p. 36–75.*
- Cruden, D.M., 1993, *The multilingual landslide glossary: Richmond., British Columbia, Canada, Bitech Publishers, for the UNESCO Working Party on World Landslide Inventory, 1993.*
- Deere, D.U., y Patton F.D. 1971. Slope stability in residual soils. En *Proc., Fourth Pan American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Puerto Rico. Vol. 1, Pág. 87-170*
- HEINIMANN, H.R. (1999). *Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren Fallbeispiele & Daten. Umwelt-Materialen NR. 107/II. Naturgefahren.*

- Hoek, E., & Diederichs, M. S. (2006). Empirical estimation of rock mass modulus. *International journal of rock mechanics and mining sciences*, 43(2), 203-215.
- Jiménez, Y., Carranza, C., & Rodríguez, M. (2009). Manejo integrado del cultivo de gulupa (*Passiflora edulis* Sims). *Cultivo, poscosecha y comercialización de las pasifloráceas en Colombia: maracuyá, granadilla, Gulupa y Curuba*. Bogotá: Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas, 159-189.
- Lavell, A. (2001). Sobre la gestión del riesgo: apuntes hacia una definición.
- Maya, M., & González, H. (1995). Unidades litodémicas en la Cordillera Central de Colombia. *Bol. Geol. INGEOMINAS*, 35(2), 3.
- Moreno Sánchez, M., Gómez Cruz, A. D. J., & Toro, L. M. (2008). Proveniencia del material clástico del Complejo Quebradagrande y su relación con los complejos estructurales adyacentes. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, (22).
- PALMSTROM, A ., 1975. Characterizing the degree of jointing and rock mass quality. Internal Report. Berdal, Oslo.
- Pettijohn F, Potter P y Siever R, 1987, Sand and sandstone, Springer – Verlag, New York, Segunda edición. Scasso R y Limarino C, 1997, Petrología y Diagénesis de Rocas Clásticas, Asociación Argentina de Sedimentología, Argentina.
- Robertson, K. G., Jaramillo, O., & Castiblanco, M. A. (2013). Guía metodológica para la elaboración de mapas geomorfológicos a escala 1: 100.000. *IDEAM, Bogotá*.

Servicio Geológico Colombiano (SGC). Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1: 25.000 (Colección guías y manuales), 2017. 218 p.

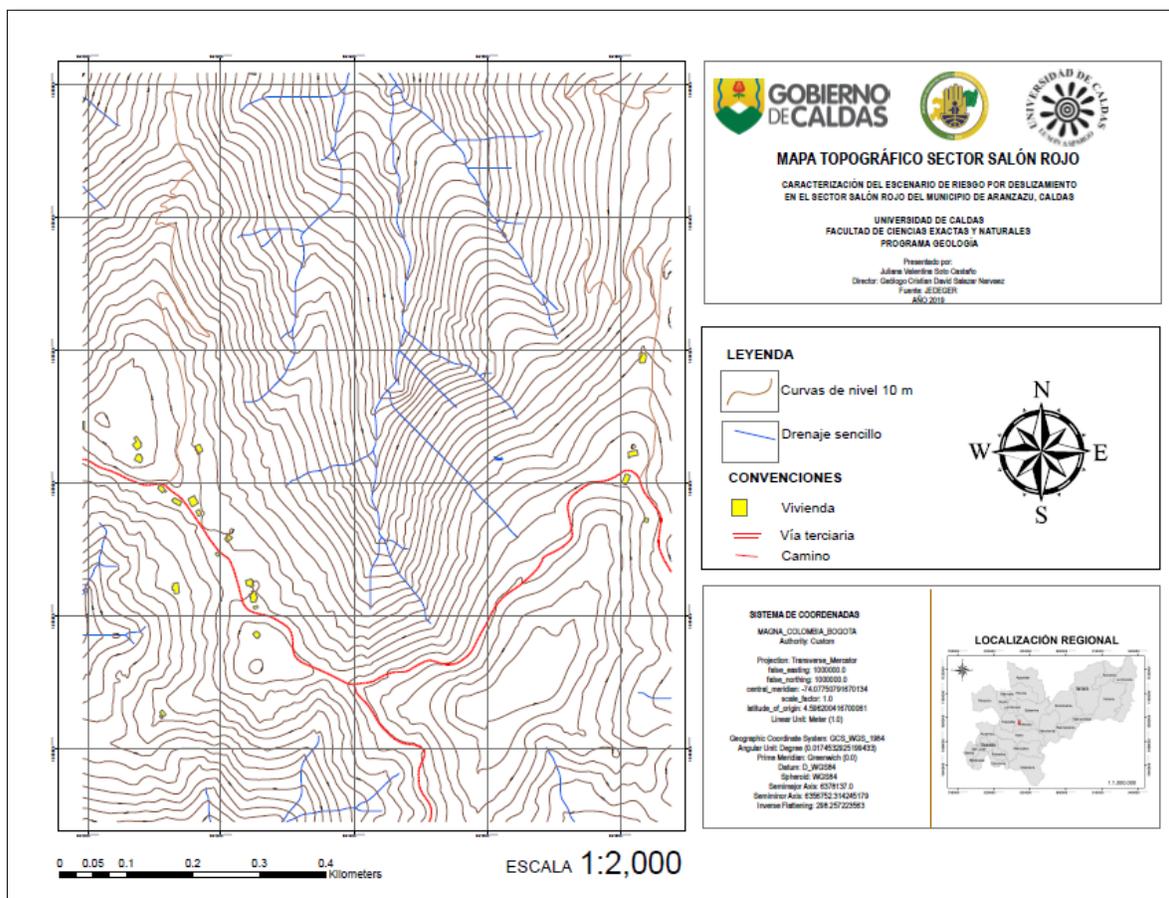
SIMMA - Servicio Geológico Colombiano 2011. Sistema de información de movimientos en masa.

Skinner, B.J. & Porter, S.C., 1992: The Dynamic Earth: an introduction to physical geology. II edition, John Wiley & Sons, Inc. New York. 570 p.p.

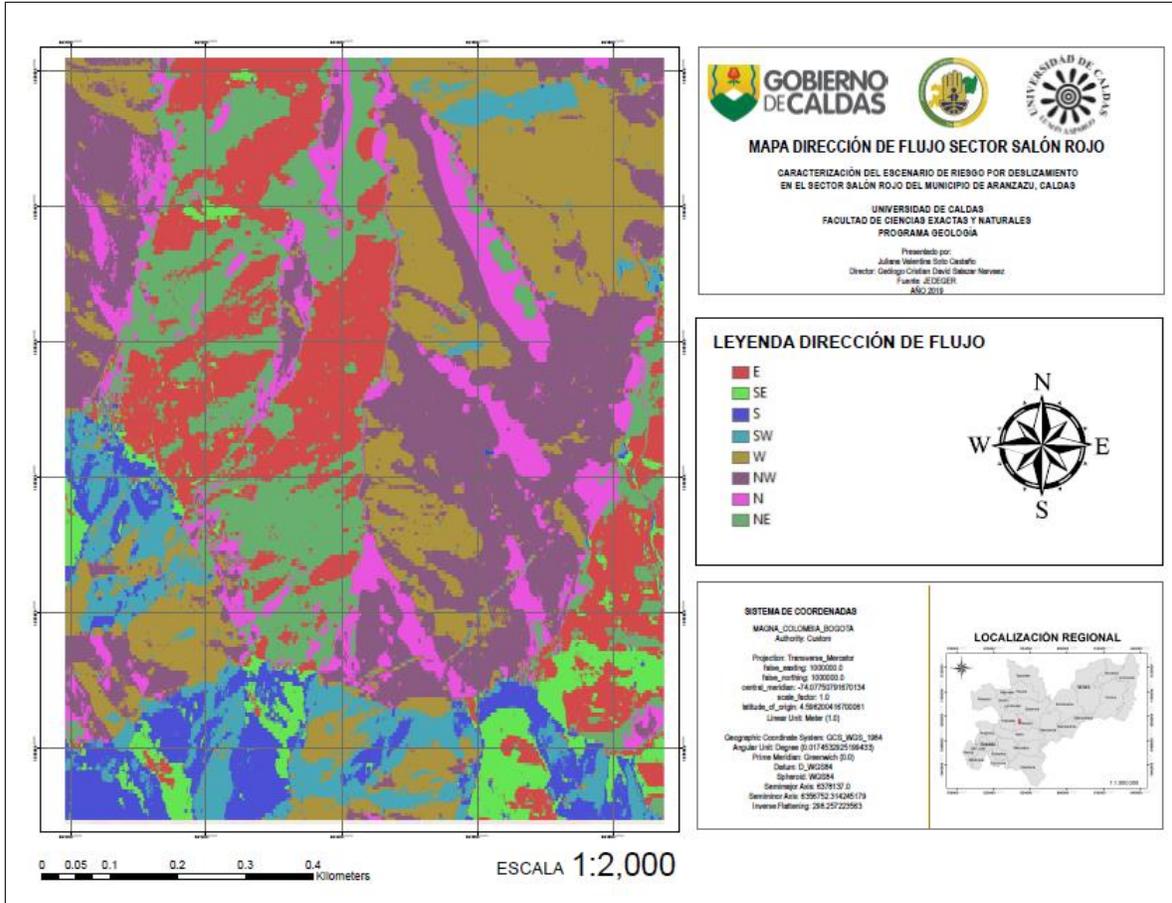
Suarez, J. Deslizamientos. Análisis Geotécnico. Capítulo 1: Nomenclatura y clasificación de movimientos, pp 8 – 36.

Varnes, D.J., 1978: Slope Movement: Types and Proceses. In Scuster & Krizek, 1978: Landslides: Analysis and Control. Special report 176. Transportation Research Board, Comisión on Sociotechnical Systems, National Research Council. National Academy of Sciences, Washungton, D.C. 234 p.p.

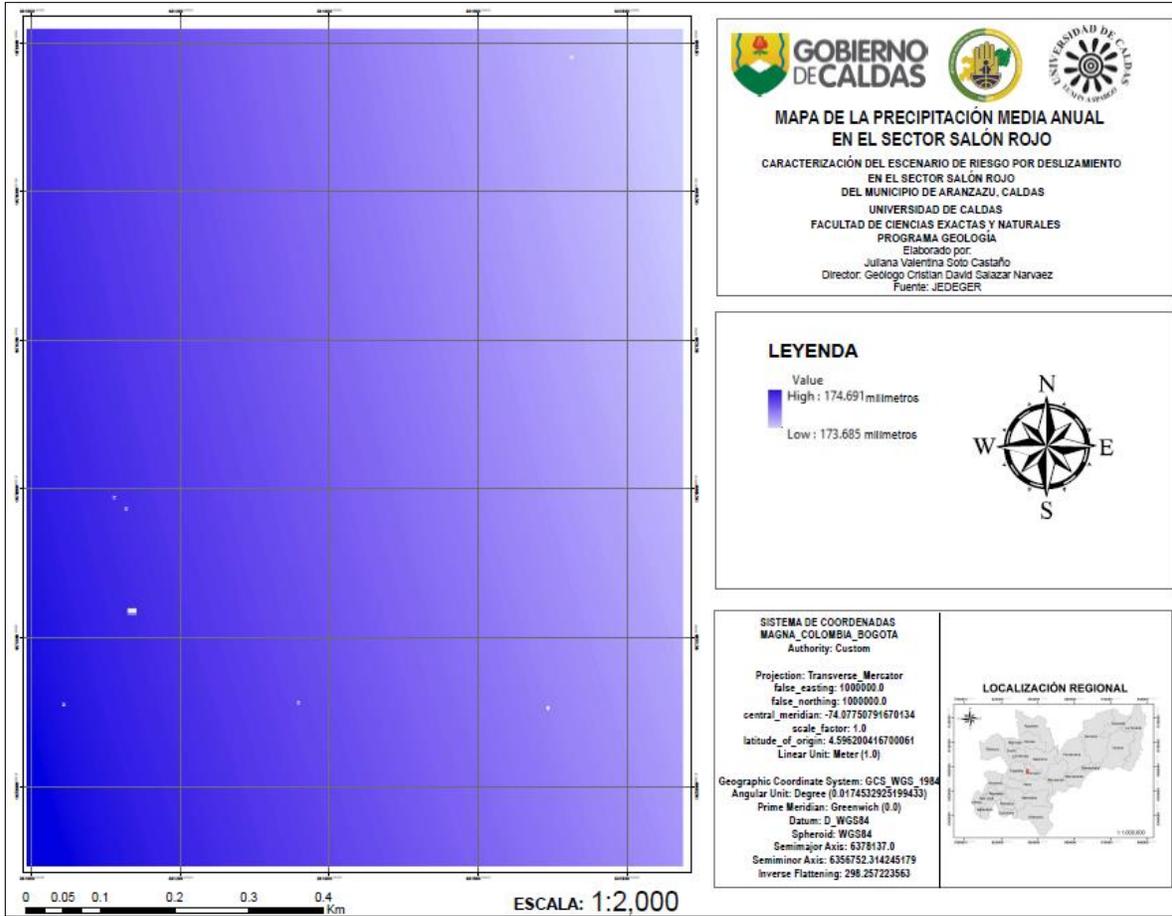
8. Anexos



Anexo 1. Mapa topográfico sector Salón Rojo



Anexo 2. Mapa de la dirección de flujo en el sector Salón Rojo



Anexo 3. Precipitación media mensual en el sector Salón Rojo.