

**DETERMINACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR FENÓMENOS  
DE REMOCIÓN EN MASA EN GRAMALOTE NORTE DE  
SANTANDER**

**TRABAJO DE GRADO**

**JUAN DAVID CHINCHILLA VALLEJO**

**ADRIANA CARDENAS**

**Tutora**

**UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL**

**Bogotá D.C., Diciembre de 2015**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>1 OBJETIVOS.....</b>	<b>5</b>
<b>2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>5</b>
<b>3 JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>6</b>
<b>4 ANTECEDENTES.....</b>	<b>6</b>
<b>5 REFERENTE TEORICO.....</b>	<b>8</b>
5.1 CONTEXTO TERRITORIAL DE GRAMALOTE.....	8
5.1.1 Ubicación y localización.....	8
5.1.2 Extensión y límites.....	9
5.2 FACTORES CONDICIONANTES.....	9
5.2.1 ASPECTOS DE GEOLOGIA REGIONAL.....	9
5.2.2 GEOLOGÍA SUPERFICIAL.....	15
5.2.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL.....	24
5.2.4 FASES DEFORMATIVAS.....	28
5.2.5 ESTRUCTURAS.....	31
5.2.6 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL.....	33
5.3 FACTORES DESENCADENANTES.....	35
5.3.1 PRECIPITACIÓN.....	35
5.3.2 SISMICIDAD HISTORICA.....	36
5.3.3 HIDROLOGÍA.....	37
<b>6 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA.....</b>	<b>39</b>
6.1 TIPOS DE DATOS.....	39
6.1.1 RASTER.....	39
6.1.2 VECTOR.....	40
6.1.3 TIN (Triangular Irregular Network).....	41
6.1.4 DEM (Digital Elevation Model).....	41
6.2 MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD.....	42
<b>7 METODOLOGIA.....</b>	<b>43</b>

<b>8</b>	<b>PROCESAMIENTO DE LOS FACTORES.....</b>	<b>44</b>
8.1	PENDIENTES (Rr).....	44
8.2	HUMEDAD (H).....	46
8.3	LITOLOGIA (L) .....	49
8.4	INTENSIDAD SISMICA (S).....	52
8.5	PRECIPITACIONES (P) .....	54
8.6	MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD .....	56
<b>9</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>60</b>
<b>10</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>62</b>

## INTRODUCCIÓN

*Chinchilla J.*

*Universidad Militar Nueva Granada*

La susceptibilidad de deslizamientos depende de las condiciones topográficas y geológicas de un área específica y de los eventos ocurridos en el pasado. La gravedad puede mover los materiales térreos sólo cuando es capaz de vencer la resistencia del material que le impide moverse. Es claro, entonces, que cualquier factor que reduzca esta resistencia hasta el punto donde la gravedad pueda intervenir, contribuye al movimiento de masa (recursos naturales, 2004). Para el desarrollo del proyecto se analizaron los siguientes factores; Los detonantes tales como las lluvias, la erosión, la actividad sísmica y antrópica; y los intrínsecos como la morfología, geología, humedad.

El municipio de Gramalote, Norte de Santander en el año 2010, fue destruido casi en su totalidad por un fenómeno de remoción en masa detonado por el incremento en las precipitaciones. No obstante, realizando un análisis más profundo de éste fenómeno, se evidenció que existen otros factores como la geología del sector, la presencia de fallas activas, además de los malos manejos de las aguas residuales, que tuvieron influencia en éste hecho y que deben ser objeto de estudio para entender la dinámica de éste tipo de eventos, es por esto que los mapas de susceptibilidad a los movimientos de ladera expresan la mayor o menor probabilidad o posibilidad de que suceda un movimiento de ladera en

función de la correlación de los factores condicionantes de la inestabilidad con la distribución de los movimientos pasados.

## **1 OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Determinar la susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa del municipio de Gramalote mediante el uso de imágenes satelitales y herramientas SIG.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Conocer las características geológicas-estructurales y morfológicas del área de estudio.
- Conocer las características geotécnicas para ver su influencia en el desarrollo de fenómenos de remoción en masa de la zona.
- Implementar una metodología practica para evaluar la susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa.
- Generar el mapa de susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa para el municipio de Gramalote.

## **2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En Colombia han ocurrido varios eventos naturales con consecuencias negativas para la población y la economía del país, la mayoría de las cuales pudieron evitarse de haber contado con estudios previos para determinar la seguridad del sitio de ubicación de la población.

Actualmente se han identificado poblaciones vulnerables a la afectación de eventos naturales por sus condiciones geológicas, sísmicas, además de la influencia de actividades antrópicas;

uno de estos casos es el Municipio de Gramalote que a raíz de la temporada invernal (Fenómeno de La Niña) de finales del año 2010, asentado sobre un antiguo coluvión o depósito de vertientes, sufrió un deslizamiento debido a la saturación de los suelos por las altas precipitaciones.

En este proyecto se plantea realizar el análisis de susceptibilidad y los factores que intervinieron en el evento.

### **3 JUSTIFICACIÓN**

Este proyecto pretende analizar la susceptibilidad en cuanto a la inestabilidad que ha experimentado el municipio de Gramalote, a partir de su composición litológica, geomorfológica, actividad sísmica y altas precipitaciones evidenciadas en este sector, que traen como consecuencia fuertes deslizamientos de tierra que llevan consigo daño de infraestructura, áreas incomunicadas, pérdida de cosechas presentes y futuras, pérdidas económicas y en especial pérdida de vidas humanas; sin embargo existen acontecimientos previos que anuncian una futura catástrofe que pueden ser evitada y controlada si el problema se identifica con anterioridad y se toman medidas de prevención o control.

Es por ello, que debe simultáneamente pensarse e investigarse sobre factores de origen y efectos del desastre, diagnósticos actuales y formulación de proyectos que tiendan a prevenir o mitigar nuevas tragedias en estas zonas u otras del país, donde las características de los fenómenos naturales son similares.

### **4 ANTECEDENTES**

Los fenómenos de la naturaleza que crean situaciones de riesgo para la población colombiana se pueden agrupar en fenómenos geológicos, tales como los terremotos, erupciones

volcánicas y deslizamientos; fenómenos hidrometeorológicos, como las inundaciones, sequías, heladas, ciclones tropicales, huracanes y los incendios.

En Colombia han ocurrido distintos desastres naturales como:

### **DESASTRE DE ARMERO**

La catástrofe ocurrió el 13 de noviembre de 1985, producto de varias erupciones de la reactivación del Volcán Nevado del Ruiz acompañadas de numerosos sismos a los cuales se sumaron lluvias torrenciales que causaron rápidos deshielos, el resultado de esto llevo a la conjunción de dos flujos casi simultáneos que descendieron por los cauces de los Ríos Azufrado y Lagunilla.

Esta catástrofe causó entre 22.800 y 25.000 muertos, de 4.500 a 5.000 heridos y unos 7.100 a 9.000 sobrevivientes ilesos pero sin vivienda

### **TERREMOTO DE POPAYÁN**

Popayán se encuentra en una zona de riesgo sísmico alto. El 31 de marzo de 1983. La ciudad sufrió un sismo de magnitud 5,5 en la escala de Richter; su epicentro fue localizado a 46 km al suroeste y el hipocentro a unos 4 kilómetros de profundidad y su duración fue de 18 segundos.

En total, murieron 380 personas, unas 2.000 quedaron heridas y más de 10.000 sin techo

### **AVALANCHA DEL RIO PÁEZ**

El 6 de junio de 1994 ocurrió un sismo de magnitud 6.3 en la escala de Richter, con epicentro en las faldas del Nevado del Huila, el cual produjo la desestabilización de los terrenos de las zonas aledañas caracterizadas por su formación volcánica, y los suelos saturados de agua de

lluvias se desprendieron generando cientos de derrumbes, formando una gran avalancha la cual descendió por el cañón del río Páez.

El sismo afectó a toda la región circundante del Nevado del Huila, principalmente a los indígenas nasa, además de causar un saldo de aproximadamente 1000 víctimas mortales.

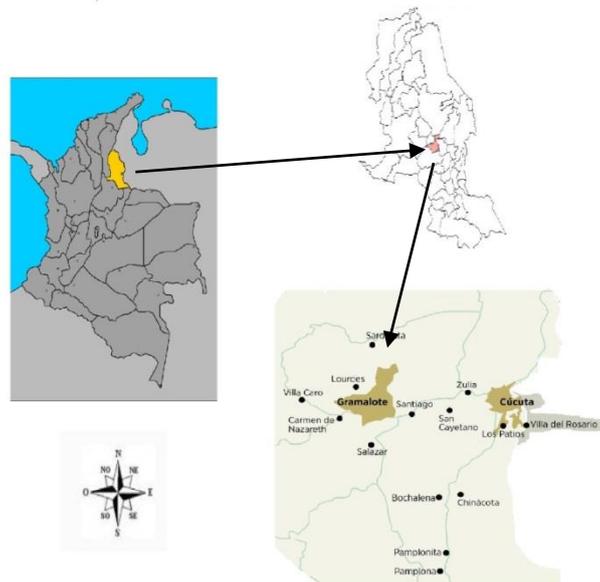
## **5 REFERENTE TEORICO**

### **5.1 CONTEXTO TERRITORIAL DE GRAMALOTE**

#### **5.1.1 Ubicación y localización**

El municipio de Gramalote pertenece a la Subregión Centro del Departamento Norte de Santander. Su cabecera municipal está localizada al noreste de Colombia, en el departamento de Norte de Santander, provincia Centro, en el marco de la microcuenca del río Peralonso, a 45 km aproximadamente en línea recta al occidente de la ciudad de Cúcuta.

El sitio está ubicado a 1040 m.s.n.m, tiene una temperatura media de 23 °C y contaba en el momento del desastre geológico con una población de 5.928 habitantes de los cuales cerca de 3000 personas residían en el casco urbano. (Gramalote A. , 2015)



**Figura 1.** Localización del municipio de Gramalote. Fuente. Adaptación propia.

### 5.1.2 Extensión y límites

El municipio de Gramalote tiene una superficie cercana a los 151 Km<sup>2</sup>, que equivale al 0.69% de la extensión del departamento, al referenciar como superficie departamental 21.679 Km<sup>2</sup>.

Limita al norte con los municipios de El Zulia, Sardinata, y Lourdes; al sur con el Municipio de Salazar; al oriente con el municipio de Santiago y al occidente con los municipios de Lourdes y Villacarro.

El perímetro del municipio es de 72,53 Km. (Gramalote A. , 2015)

## 5.2 FACTORES CONDICIONANTES

### 5.2.1 ASPECTOS DE GEOLOGIA REGIONAL

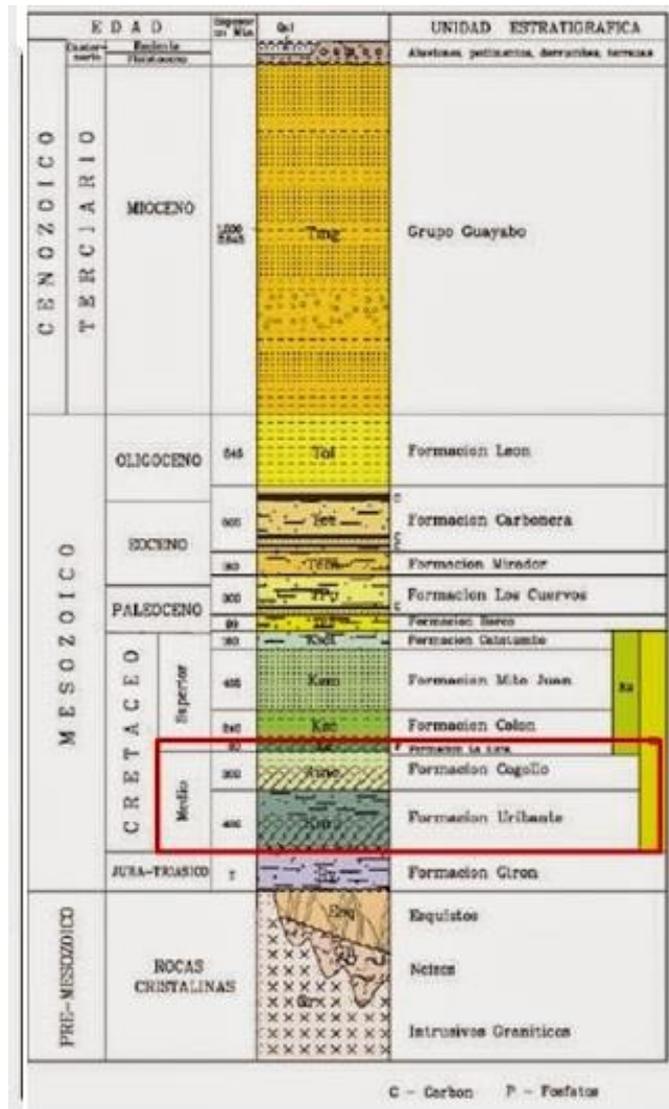
La geología aporta conocimientos acerca de la estructura y la dinámica terrestre, de la litología, la localización y explotación de yacimientos minerales

En el sector afloran rocas ígneas y metamórficas del basamento y una secuencia sedimentaria cuyas edades van desde pre-Mesozoico hasta el Cretáceo Superior y también sedimentos recientes de origen estructural, denudacional y aluvial. La zona urbana está ubicada sobre una serie de arcillas pizarrosas negras a gris oscuras y limolitas de la Formación Cogollo (Kmc). Las estructuras tipo falla que cruzan el departamento y al municipio, también afectan al casco urbano. (SGC, 2012)

#### **5.2.1.1 Condiciones Litológicas**

La secuencia estratigráfica aflorante dentro del área del municipio comprende rocas ígneas y metamórficas del basamento y una secuencia sedimentaria cuyas edades van desde el Cretáceo Medio hasta el Cretáceo Superior.

Las rocas del Cretáceo, están representadas por las Formaciones, Uribante, Cogollo, La Luna, que son las más representativas en el área de estudio.



**Figura 2.** Columna estratigráfica. Fuente. Servicio geológico colombiano

La secuencia cretácica perteneciente a la Cuenca de Maracaibo está afectada por tectónica de tipo compresiva la cual genera un tren estructural controlado por la litología y fallas de tipo regional, que presentan una dirección general norte-sur. De hecho, los sistemas de fallas Las Mercedes y Gramalote, las cuales son a su vez trazas satelitales de la falla Santa Marta-Bucaramanga, conforman un corredor con dirección general norte-sur, en cuyo marco se

encuentran las denominadas poblaciones de occidente del Departamento Norte de Santander, dentro de las cuales se encuentra el municipio de Gramalote.

La dinámica evolutiva de la cordillera oriental ha generado procesos geológicos que han afectado las diferentes litologías presentes en el área de Gramalote, cuyo desaparecido casco urbano estaba localizado sobre el área de rumbo de la Falla de igual nombre, en una zona de tectónica compresiva, constituidos por rocas sedimentarias cretácicas. (SGC, 2012)

#### 5.2.1.1.1 *Formaciones del Basamento Granitos (Gr), Gneis (Gn) y Esquistos (Esq).*

Hacia el Noroccidente del municipio, aflora un conjunto de rocas ígneas y metamórficas (Pre-Cretácicas). Este conjunto está formado por rocas gnéisicas bandeadas, de composición granítica a esquistos altamente plegados y deformados, de grado metamórfico intermedio y de filitas. La edad de las masas graníticas que intruyen las rocas metamórficas es desconocida, pero se presume que tanto las rocas graníticas como las rocas metamórficas son de edad Pre-Mesozoico y posiblemente Devoniano o pre-Devoniano.

- **Distribución y Edad:** Aflora principalmente a lo largo de la vertiente oriental de la Cordillera Oriental. En la Sierra de Perijá se han encontrado sedimentos levemente metamorfoseados del Devónico y esquistos más antiguos Precámbricos; la edad de los cuerpos graníticos que intruyen las rocas metamórficas no está definida aunque se presume que tanto las rocas graníticas como las metamórficas son de edad Pre mesozoico, En sedimentos Cretáceos o Terciarios no se han identificado intrusiones. (SGC., 2012)

#### 5.2.1.1.2 *Formación Uribante (Kmu)*

Consta de arenitas de cuarzo, glauconíticas, gris claras, con estratificación cruzada, e intercalaciones delgadas de lodolitas grises. Edad Aptiano Superior - Albiano Inferior y Medio.

Esta formación se encuentra dividida en tres miembros:

- **El miembro Inferior Tibú** tiene un espesor de 107 a 166 m, y consta de 5 a 12 metros de areniscas basales de grano grueso con guijarros de cuarzo y ortoclasa, seguidas de una serie de calizas densas, fosilíferas, que alcanza espesores de 95 hasta 160 m.
- **El miembro Mercedes** consta de calizas intercaladas con arcillas pizarrosas (shales) negras, micáceas y carbonáceas, areniscas en estratos de 3 a 20 m de espesor. Las calizas son generalmente arenáceas; las arcillas pizarrosas son a veces muy calcáreas; las areniscas son grises, de grano fino a medio, calcáreas y glauconíticas, y abundan hacia la parte alta del miembro. El espesor total oscila entre 149 y 201 m.
- **El miembro superior Aguardiente** consta exclusivamente de areniscas glauconíticas de grano fino y grueso, de color gris a verde claro, muy duras, intercaladas con algunas pocas láminas de arcilla pizarrosas negras, y delgados lechos de caliza en la parte inferior. El espesor varía entre 148 y 275 m. La formación Uribante tiene un espesor total entre 418 y 503 m, habiéndose reportado un espesor de 825 m en el río Peralonso.

Ocupa una extensión equivalente al 50.88 % del total del territorio. Los suelos producto de la descomposición de estas rocas son aptos para el desarrollo de actividades

agronómicas, cultivos y cría de ganado, se pueden dar buenos pastizales. Esta unidad es importante, así mismo, por el potencial minero que puede representar la explotación de las calizas que contiene. (SGC, 2012)

#### 5.2.1.1.3 **Formación Cogollo (Kmc).**

Se caracteriza por ser una secuencia fino granular constituida por shales oscuros con intercalaciones de calizas macizas fosilíferas y delgadas capas de chert. Hacia la base se encuentran intercalaciones con delgadas capas de areniscas de grano fino y areniscas calcáreas. En el área petrolera, Concesión Barco puede dividirse en tres miembros: Cogollo Inferior constituido por shales bituminosos, margas y calizas oscuras fosilíferas; el Cogollo Medio constituido por shales oscuros no calcáreos y capas gruesas de caliza arcillosa fosilífera; el Miembro Guayacán al tope está constituido por interestratificaciones de calizas fosilíferas con limos y lutitas oscuras. El espesor de la Formación se estima entre 250 y 273 m, en contacto transicional con la Formación Uribante a la base y en contacto neto con la Formación Luna al tope.

En la zona de estudio cubre parte de la ladera occidental de la Quebrada La Calderera y al suroeste del río Peralonso, ocupando el 10.41 % del área municipal. Los suelos producto de la descomposición de estas rocas son aptos para el desarrollo de actividades agropecuarias. (SGC, 2012)

#### 5.2.1.1.4 **Formación La Luna (Ksl).**

Esta formación consta de calizas ricas en foraminíferas, duras, de color gris oscura con nódulos de pedernal hacia la parte superior y arcillosas pizarrosas negras muy calcáreas, bituminosas; la. Edad Coniaciano - Santoniano.

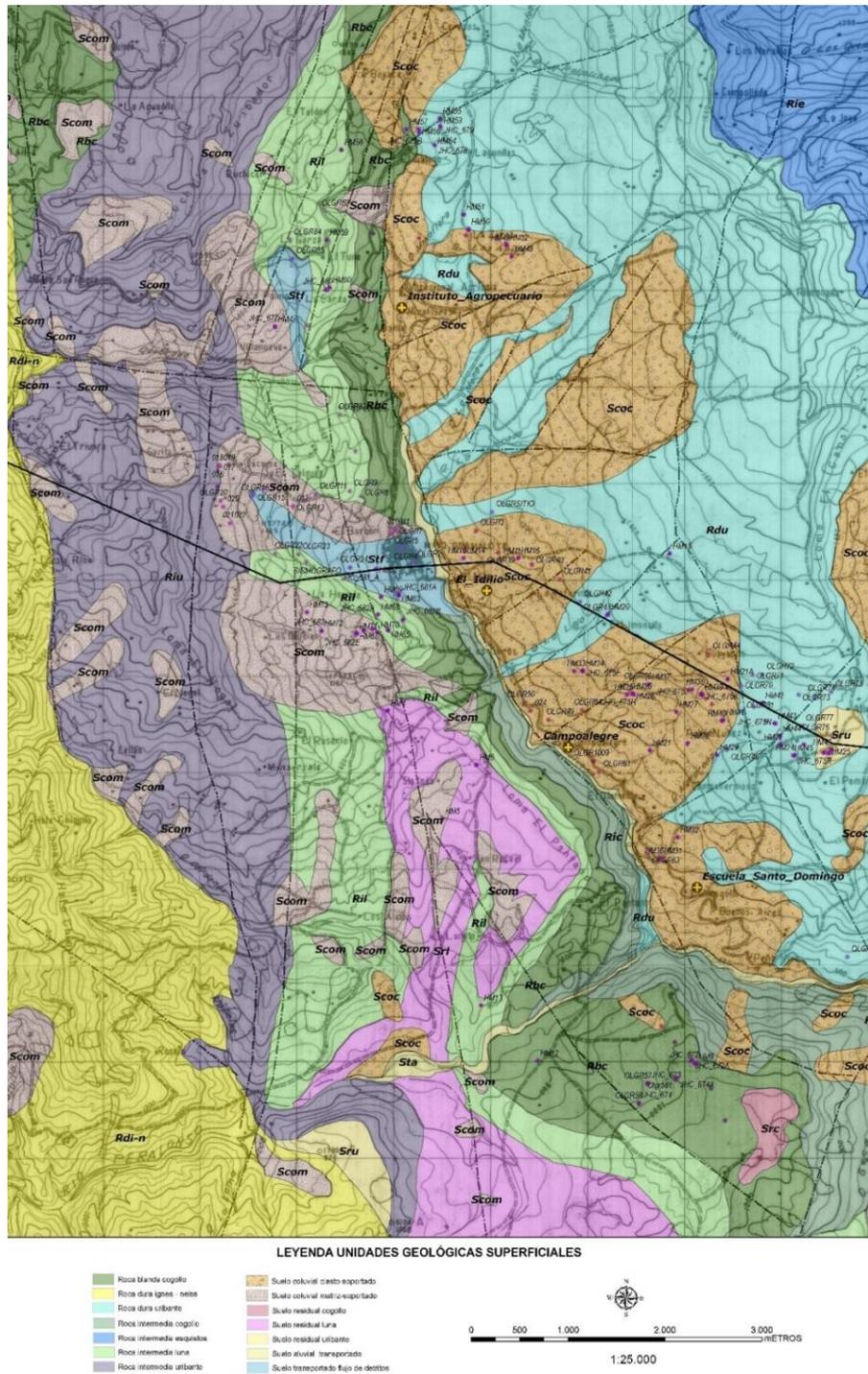
La importancia de esta unidad litológica radica en su contenido de roca fosfórica, en la parte superior de la formación, cuyo yacimiento es importante y reconocido a nivel departamental, principalmente en el municipio Sardinata. (SGC., 2012)

#### 5.2.1.1.5 *Formación Colón (Ksc).*

Constituida por lodolitas ligeramente calcáreas, piritosas, con foraminíferos y nódulos ferruginosos. Edad Campaniano - Maestrichtiano. Ocupa el 0.77 % de la extensión territorial. Por lo general, los suelos producto de esta formación se utilizan para potreros y pastizales.

### **5.2.2 GEOLOGÍA SUPERFICIAL**

Para la descripción y caracterización de las unidades geológicas superficiales se tienen en cuenta cinco parámetros fundamentales: litología (composición y textura), dureza o resistencia, condición de las discontinuidades, grado de meteorización y rasgos estructurales.



**Figura 3.** Mapa de unidades Geológicas superficiales del área de estudio. Fuente. Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2012)

### **5.2.2.1 Unidades de Roca**

El macizo rocoso que constituye la zona de estudio está conformado por rocas afectadas por tectonismo acentuado, donde predomina el fracturamiento sobre el plegamiento. Las rocas aflorantes se encuentran asociadas a los conjuntos ígneos y metamórficos, localizados al oeste del municipio de Gramalote, y a la secuencia sedimentaria de las formaciones La Luna, Cogollo y Uribante hacia el centro y este del municipio.

#### **5.2.2.1.1 Unidades de Roca dura (Rd)**

Incluye los macizos rocosos formados por roca fresca débilmente meteorizada.

Características:

- Resistencias altas a muy altas, bien cementadas.
- Estratificación gruesa (estratos > 300-100 cm).
- Son rocas poco fracturadas a masivas (espaciamiento > 200-50 cm)
- Índice de fracturamiento bajo ( $JV < 3 \text{ fr/m}^3$ ).
- Índice de resistencia geológico bueno a muy bueno ( $GSI > 60\%$ ).
- Grado de meteorización de Roca Meteorizada a Roca débilmente meteorizada. Ver Tabla 1)

Dentro de esta unidad se incluyen cuarzoarenitas, calizas líticas, rocas metamórficas de alto grado (cuarzitas, neis, anfibolitas) e ígneas intrusivas y extrusivas, que ocupan zonas muy escarpadas y laderas de pendiente alta, resistentes a la erosión y meteorización. (SGC, 2012)

#### **5.2.2.1.1.1 Rocas duras ígneo-Neis (Rdi-n)**

Consiste en un conjunto de rocas ígneas y metamórficas que enmarcan el borde occidental del municipio de Gramalote y el extremo nororiental del mismo. La secuencia ígneo-metamórfica se encuentra compuesta por rocas competentes con macizos graníticos y néisicos con alto

fracturamiento por efecto de la falla de Las Mercedes al occidente de la municipalidad (SGC, 2012)

#### **5.2.2.1.1.2 Rocas duras Formación Uribante (Rdu)**

Consisten en areniscas cuarzosas y areniscas calcáreas de grano fino a grueso, bien cementadas, en capas tabulares gruesas a muy gruesas masivas, con delgadas intercalaciones de arcillolitas físis. Los macizos se presentan débilmente meteorizados, presentan coloraciones pardos a rojizos y aureolas de oxidación y las estructuras (planos de estratificación, diaclasas y fallas) se mantienen. En general las discontinuidades se encuentran abiertas, ocasionalmente presentan relleno areno-arcilloso y bordes oxidados, presenta espaciamientos entre 10 y 30 cm, persistencia de las diaclasas hasta de 8 m, superficies onduladas y moderadamente rugosas. (Gramalote A. , 2002)

#### **5.2.2.1.2 Unidades de Roca Intermedia (Ri).**

Incluye secuencias interestratificadas de rocas duras y blandas de lutitas, margas, calizas areniscas poco cementadas y materiales heterogéneos (conglomerados) y rocas metamórficas foliadas. (SGC, 2012)

Características:

- Dureza media a blanda.
- Estratificación delgada a media (estratos de 10-30 cm).
- Son rocas fracturadas a moderadamente fracturadas (espaciamiento 20-60 cm).
- Índice de fracturamiento moderado (JV= 4-30 fr/m<sup>3</sup>).
- Índice geológico de resistencia regular a bueno (GSI=30-60%).
- Grado de meteorización de Roca moderadamente Meteorizada a Roca altamente meteorizada.(Ver Tabla 1).

#### **5.2.2.1.2.1 Rocas intermedias Formación Uribante (Riu)**

Consisten en areniscas cuarzosas de grano medio a grueso, cementadas con cemento silíceo y cemento calcáreo. Las capas son tabulares en espesores entre 20 y 50 cm que se intercalan con limolitas y arcillolitas fosilíferas que desarrollan estados avanzados de meteorización. Los macizos presentan grado moderado a alto de fracturamiento. El porcentaje de roca fresca es menor al 5%.

#### **5.2.2.1.2.2 Rocas intermedias Formación Cogollo (Ric)**

Macizos constituidos por capas delgadas de shales oscuros no calcáreos con intercalaciones de capas medias a gruesas de calizas grises arcillosas fosilíferas y delgadas capas de arenisca calcárea. El porcentaje de roca fresca varía entre el 10 y 15%. Los macizos se encuentran parcialmente alterados y con índice de fracturamiento moderado.

#### **5.2.2.1.2.3 Rocas intermedias Formación Luna (Ril)**

Calizas finas fosilíferas en capas medias a delgadas con interstratificaciones de chert negro y arcillolitas fisiles. Comprende macizos rocosos con dureza media a blanda, con meteorización moderada a alta. El índice de fracturamiento es moderado y en zonas afectadas por la falla de Gramalote y los sistemas de fallas NW-SE asociadas, el fracturamiento se hace alto a muy alto, las fracturas son ortogonales generalmente cerradas o con aperturas entre 1 y 3 mm sin relleno, el espaciamiento es de 15 y 30 cm, la persistencia varía entre 30 y 60 cm. Los contactos entre capas son planos y poco rugosos. (SGC, 2012)

#### **5.2.2.1.2.4 Rocas intermedias Esquistos (Rie)**

Consisten en macizos moderadamente foliados, (la foliación incluye esquistosidad y bandeamiento, la intensidad de foliación me permite diferenciar la roca metamórfica en pizarra, filita y esquisto, y al decrecer el tamaño de grano hablaríamos de clivaje pizarroso),

parcialmente fracturados constituidos por neises bandeados, esquistos y filitas fracturadas con moderada meteorización. (Gramalote A. , 2002)

#### **5.2.2.1.3 Unidades de Roca Blanda (Rb)**

Incluye arcillolitas, lodolitas, limolitas, lutitas, areniscas friables y macizos rocosos afectados por alto tectonismo. (SGC, 2012)

Características:

- Dureza blanda a muy blanda.
- Poco cementadas, frágiles.
- Índice de fracturamiento ato a muy alto (JV: 30 fr/m<sup>3</sup>)
- Índice geológico de resistencia pobre a muy pobre (GSI: 0-30%).
- Altamente meteorizada. (Ver Tabla 1).

#### **5.2.2.1.3.1 Rocas Blandas Formación cogollo (Rbc)**

Shales blandos calcáreos en capas delgadas a medias con limolitas arcillosas y calizas limo arenosas interstratificadas. Los macizos se encuentran altamente meteorizados, todos los materiales de roca se convirtieron en suelo, es una roca completamente descompuesta, pero aún aparece textura de roca ligeramente reconocible. La resistencia de esta unidad de roca está condicionado por la fisibilidad del material arcilloso y al intenso fracturamiento de los macizos. (SGC, 2012)

Grado	Descomposicion	Detalles de diagnostico de la muestra
VI	Suelo Residual	Todos los materiales de roca se convirtieron en suelo. La estructura y la textura de la roca fueron totalmente destruidas. No aparece textura reconocible de roca. El material generalmente es limoso o arcilloso y muestra un color relativamente homogéneo. Las capas superficiales pueden contener materia orgánica y raíces.
v	Roca Completamente Meteorizada	Todos los materiales de roca se convirtieron en suelo. Roca completamente descompuesta, pero aún aparece textura de roca ligeramente reconocible. Los materiales son arenosos y friables si se sumergen en agua o se presionan con la mano.
IV	Roca Altamente Meteorizada	El material de roca se encuentra en una etapa de transición para formar suelo. En sectores aparece roca y suelo. El material se encuentra totalmente decolorado, pero la fábrica se conserva y la estructura del macizo rocoso se mantiene parcialmente. Pedazos grandes
III	Roca Moderadamente Meteorizada	Los materiales de roca muestran decoloración parcial. La estructura y la fábrica de la roca se conservan completamente. Las discontinuidades comúnmente están rellenas de materiales ricos en hierro. Pedazos grandes que no pueden ser descompuestos por las
II	Roca Debilmente Meteorizada	Hay decoloración a lo largo de las discontinuidades y parcialmente, en la masa de roca. La estructura y la textura se conservan completamente. Aparece como roca sana pero tiene manchas con muestras de descomposición. Los ángulos de los fragmentos no pueden ser
I	Roca Meteorizada	No hay signos visibles de meteorización, aunque puede haber alguna decoloración en las superficies de las discontinuidades más importantes.

**Tabla 1.** Clasificación del perfil de meteorización. Fuente. (Suarez, 2015)

### 5.2.2.2 Unidades de suelo

Los principales factores geológicos que se analizan y sirven para caracterizar y evaluar los materiales tipo suelo son: Composición litológica y mineralógica, color, tamaño y forma de los granos (textura), dureza de los granos, consistencia, densidad relativa y estructuras.

#### 5.2.2.2.1 Unidades de Suelo Residual (SR)

Un suelo residual es un suelo derivado de la meteorización y descomposición de la roca in situ, el cual no ha sido transportado de su localización original (Suarez, 2015)

##### 5.2.2.2.1.1 Suelo residual F. Uribante (Sru)

Son suelos de textura areno arcillosa cuyo material parental corresponde a los niveles arenosos de la Formación Uribante, que en general son:

- Moderadamente plásticos, de consistencia poco firme.
- Humedad natural baja
- Permeabilidad moderada a baja.

- Coloración parda a rojiza, con costras de oxidación en los relictos de estratificación de las capas superficiales y ocasionalmente suelos grises producto de la alteración de las capas de arcillolitas que intercalan la sucesión arenosa.
- El espesor varía entre 0,5 y 1,2 m en el sector del Pomarroso, y de 1,5 m en la parte media-alta de la vereda Miraflores.

#### **5.2.2.2.1.2 Suelo Residual F. Cogollo (Scr)**

Son suelos grises de textura arcillosa resultado de la descomposición de las secuencia lutítica y de los niveles calcáreos que conforman la formación

Cogollo, que en general son:

- Poco permeables, muy plásticos.
- Consistencia poco firme y con moteamientos blancos a manera de parches arcillosos.
- En zonas no tectonizadas la fisibilidad de las láminas de arcilla se mantiene entre las cuales se identifica pirita y micas negras (biotita).
- El espesor aproximado se estima entre 70 cm y 1,5 m.

Se desarrollan a lo largo de la ladera estructural y se encuentran en zonas alomadas y sobre rocas muy fracturadas.

#### **5.2.2.2.1.3 Suelo residual F. Luna (Srl)**

Son suelos de textura arcillosa producto de la alteración de calizas y chert. La ftanita es un chert con contenido calcáreo.

En general en la formación la Luna, el principal agente de meteorización es el agua infiltrada entre las fracturas presentes entre las capas de calizas y chert, generando suelos arcillosos.

- Coloración gris a pardo oscuro.
- Consistencia muy poco firme.
- Medianamente permeables y muy plásticos.

- Humedad natural moderada a baja en condiciones naturales.
- Muy inestables en condiciones de saturación del suelo.
- Espesores variables según la posición en la ladera.

#### 5.2.2.2.2 *Unidades de Suelos Transportados (S)*

##### 5.2.2.2.2.1 *Suelos coluviales matriz soportados (Scm)*

Coluvión matriz soportado, en una matriz limo arenosa de color gris, consistencia poco firme en condiciones de humedad actual, la humedad natural es baja a media y la plasticidad baja. La fracción pétreo se encuentra conformada por fragmentos de lodolitas calcáreas y silíceas, chert y guijos angulares de areniscas de grano medio. La selección de los clastos es moderada aunque se identifican bloques angulares de hasta 1 m de diámetro.

##### 5.2.2.2.3 *Suelos coluviales clasto soportados (Scoc)*

Consiste en depósitos clastosoportados, en una matriz areno arcillosa de color pardo claro a café, de moderada consistencia en condiciones de humedad actual, plasticidad baja aunque ocasionalmente se presentan acumulaciones arcillosas grises en menor proporción. La fracción pétreo se encuentra compuesta por bloques y guijos angulares de areniscas cuarzosas cementadas de grano fino a medio, con moderada alteración y pátinas de óxidos que sugieren antigüedad del depósito, el rango de tamaños varía entre los 10 cm y 3 m de arista. (SGC, 2012)

##### 5.2.2.2.4 *Suelos transportados flujo detritos (Stf)*

Son material producto de movimientos en masa antiguos y recientes que involucran suelos transportados, suelos insitu y macizos rocoso afectado por dichos movimientos. Consiste en material de deslizamiento heterométrico de génesis variada, matriz soportado con matriz arcillosa de color pardo oscuro a gris, muy poco firme de consistencia, humedad natural muy

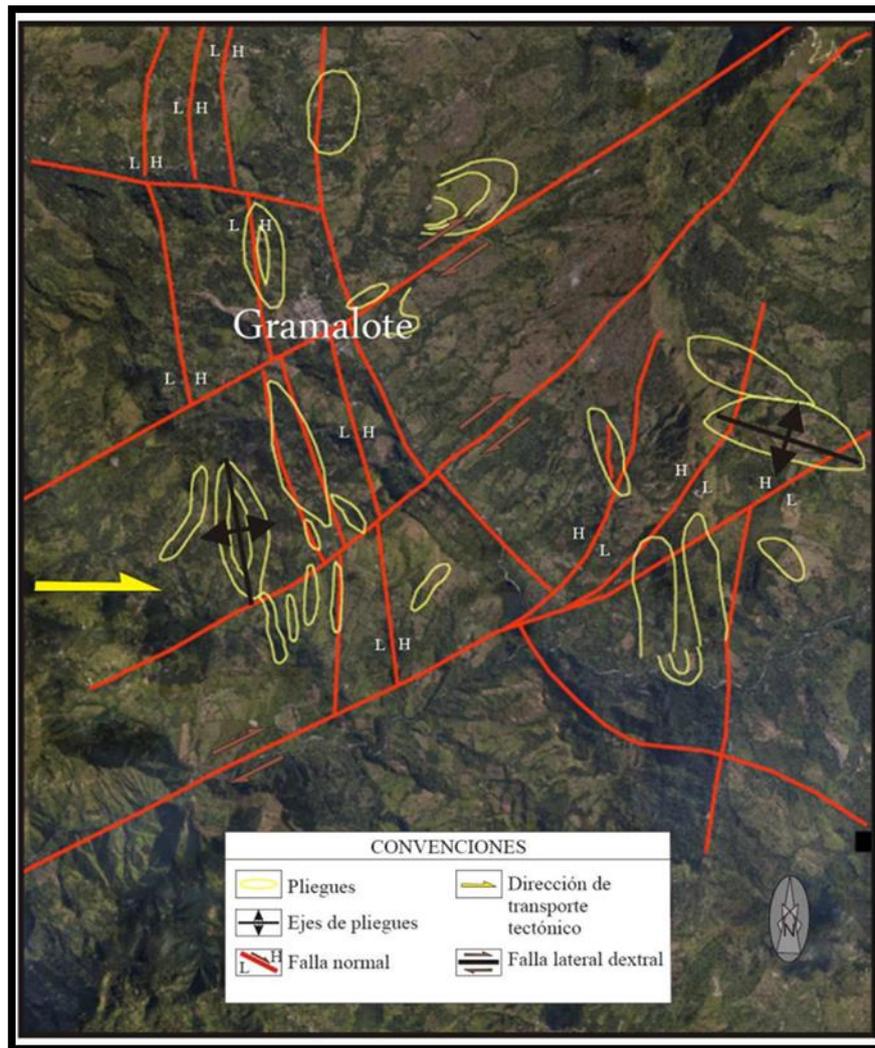
alta, permeabilidad media alta. Los tamaños varían de clastos y bloques angulares de calizas y de areniscas de grano fino con dimensiones promedio entre 10 y 60 cm, presenta fragmentos centimétricos de lutitas negras y restos de materia orgánica y suelo negros.

#### **5.2.2.2.5 *Suelos transportados aluviales (Sta)***

Son sedimentos recientes que han sido transportados y depositados por los ríos y quebradas en los cauces activos y abandonados. Están conformados por bloques, cantos, grava, arena y finos, compuestos por cuarzo, chert, cuarcitas y líticos de composición variada, con forma sub-redondeada a redondeada, por lo general clastosoportados, con tamaños y granulometría heterogénea, en condición suelta, localmente embebidos en matriz areno-limosa. Con espesor promedio entre 0.5 y 1.0 m. (SGC., 2012)

### **5.2.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL**

El modelo estructural de la zona de estudio se caracteriza por la presencia de estructuras como, fallas de tipo normal (tendencia NW-SE y NNE-SSW). Plegamientos con tendencia general N-S en las secuencias de origen sedimentario, Cuerpos coluviales de origen tectónico de espesor variable. Fallas de tipo lateral dextral con tendencia NE y generación de zonas extensionales (fallas normales) y zonas compresivas (cabalgamientos).



**Figura 4.** Interpretación geológica estructural. Fuente. Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2012)

### 5.2.3.1 FALLAS DE TIPO NORMAL (TENDENCIA NW-SE Y NNE-SSW).

Este tipo de estructura con tendencia general Noroeste-Sureste y Nor-noreste -Sur-suroeste desarrolla escalonamiento en estructuras en flor negativa, caracterizadas al occidente del área de estudio por colocar en contacto rocas del basamento (unidades ígneas y metamórficas) con secuencias sedimentarias estratificadas.

Las estructuras desarrollan la división en bloques en amplios y continuos escarpes con cara libre hacia el oriente a través de la zona de estudio, donde se han depositado flujos y cuerpos coluviales de espesor variable. (SGC, 2012)

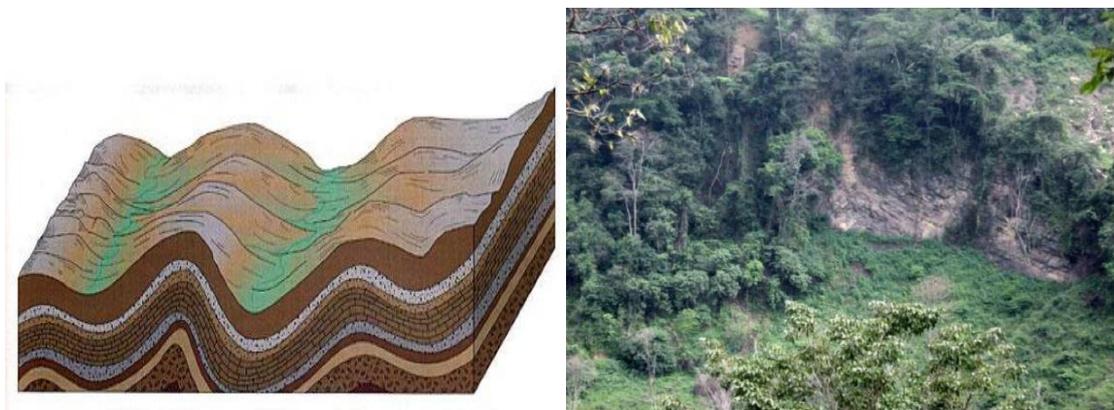


**Figura 5.** Fallas tipo normal con desarrollo de estructuras en escalonamiento y escarpes

Fuente. Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2012)

### 5.2.3.2 PLEGAMIENTOS CON TENDENCIA GENERAL N-S EN LAS SECUENCIAS DE ORIGEN SEDIMENTARIO.

En el área de estudio se identificó plegamiento abierto continuo que afecta toda la secuencia sedimentaria con tendencia general N-S hasta NW-SE, que en conjunto y por su repetición destacan el abovedamiento de la región central y que ha sido interpretado como una estructura anticlinoria a través de esta. (SGC, 2012)



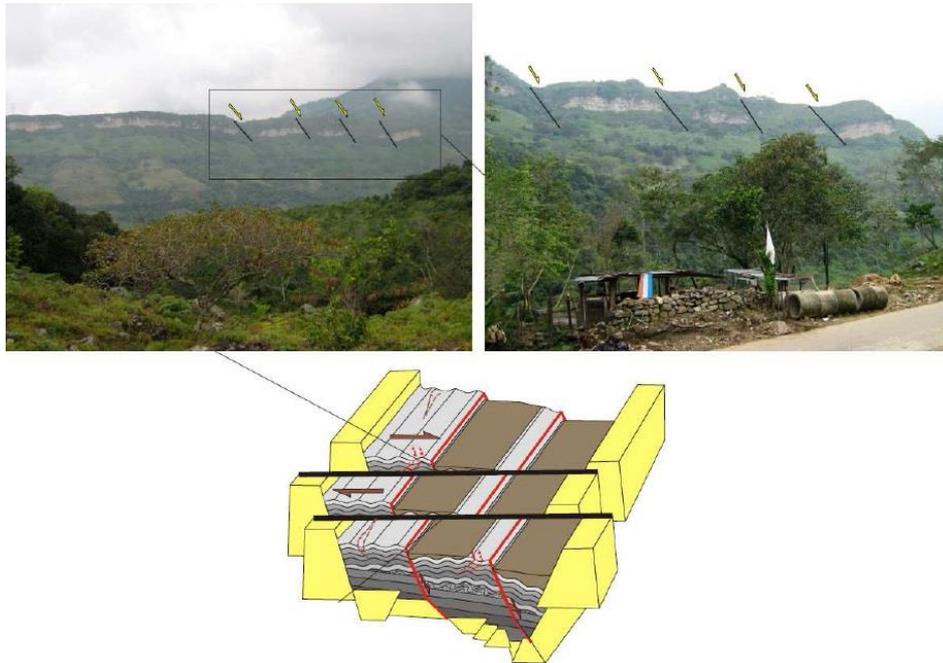
**Figura 6.** Plegamiento abierto continuo que afecta toda la secuencia sedimentaria con tendencia general N-S hasta NW-SE. Fuente. Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2012)

### **5.2.3.3 CUERPOS COLUVIALES DE ORIGEN TECTÓNICO DE ESPESOR VARIABLE.**

Estos depósitos, aflorantes en gran parte de la zona de estudio, presentan una mayor continuidad en la margen izquierda aguas debajo de la quebrada La Volcana. Dado sus características de las unidades fuente se plantea que gran parte de estos, presentan un origen de tipo tectónico, por localizarse cerca a la fuente.

### **5.2.3.4 FALLAS DE TIPO LATERAL DEXTRAL CON TENDENCIA NE Y GENERACIÓN DE ZONAS EXTENSIONALES (FALLAS NORMALES) Y ZONAS COMPRESIVAS (CABALGAMIENTOS).**

En el área de estudio se identificaron ornamentaciones de fallas laterales dextrales, con una orientación general Noreste y el desarrollo de estructuras en flor negativa bajo un régimen de deformación dúctil-frágil caracterizado por secuencias de brechas de falla. Indicadores cinemáticos de movimiento asociadas a plegamiento de tipo arrastre revelan el transporte tectónico generalmente dextral con la generación de zonas de tipo extensional (fallas normales) y zonas de tipo compresivas (cabalgamientos).



**Figura 7.** Fallas laterales, estructuras en flor negativa y zonas con transporte tectónico, plegamiento de arrastre y deformación dúctil-frágil de la secuencia sedimentaria. Fuente.

Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2012)

#### **5.2.4 FASES DEFORMATIVAS**

Evolución geológica estructural del municipio de Gramalote Propuesta por el Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2012). (Ver figura 8)

**5.2.4.1 Depositación de secuencias sedimentarias en un régimen extensivo.** Durante esta fase y dentro de un marco de tipo extensional, en la subcuenca, se depositaron

secuencias sedimentarias en un ambiente marino con variaciones faciales desde profundo a somero (Figura 8a).

**5.2.4.2 Basculamiento de la secuencia.** Bajo una fase continua extensional, el hundimiento diferencial de los bloques de basamento, permite que la secuencia estratificada se bascule (Figura 8b).

**5.2.4.3 Plegamiento gravitacional abierto por despegues internos en la secuencia.** Bajo una fase continua extensional, al bascularse la secuencia, por la competencia de los materiales se presenta el desarrollo de despegues internos en las diferentes capas, lo que propicia el inicio de una fase de plegamiento gravitacional en los estratos (Figura 8c).

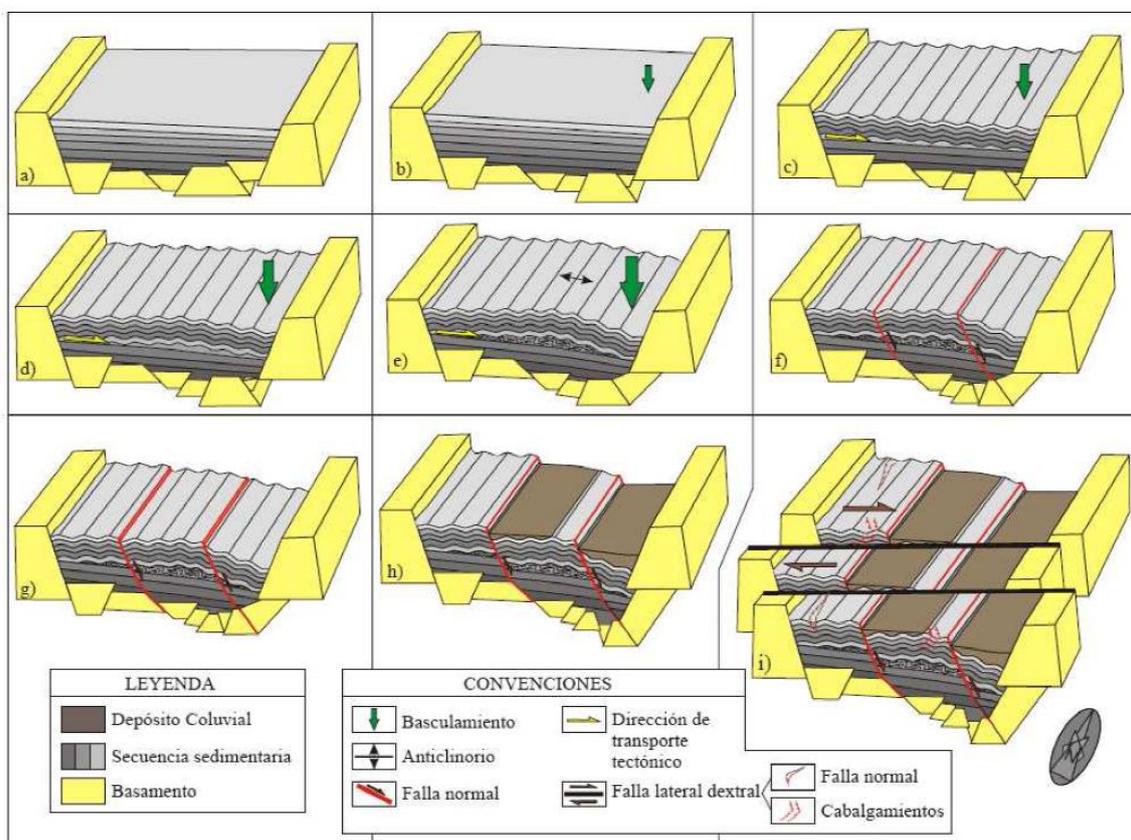
**5.2.4.4 Fases de mayor basculamiento con desarrollo de plegamiento de la secuencia sedimentaria en una estructura tipo anticlinorio.** Bajo un mayor basculamiento, el plegamiento abierto continuo que afecta toda la secuencia sedimentaria propicia el crecimiento de una estructura abovedada de tipo anticlinorio dentro de la subcuenca (Figura 8 d y e).

**5.2.4.5 Fallamiento normal transmitido a la estructura (anticlinorio) desde el basamento yacente.** Bajo este marco geológico, la transmisión del fallamiento de tipo normal desde el basamento yacente a las secuencias sedimentarias ahora

plegadas en una estructura (anticlinorio), permite el escalonamiento, la división en bloques y el desarrollo de escarpes de cara libre al oriente (Figura 8 f y g).

**5.2.4.6 Deposición de cuerpos coluviales.** En los escarpes generados por fallamiento de tipo normal, se depositaron diversos pulsos de flujos y cuerpos coluviales de espesor variable con un origen principalmente tectónico (Figura 8 h).

**5.2.4.7 Fallamiento lateral dextral.** Durante esta fase tectónica de fallamiento, el área de estudio es segmenta en bloques. El transporte tectónico dextral, revela el replegamiento de las estructuras de tipo abierto generado en la secuencia sedimentaria durante fases previas, el desarrollo de zonas de tipo extensional (fallas normales) y zonas de tipo compresivas (cabalgamientos) en la zona (Figura 8 i). (SGC, 2012)



**Figura 8.** Fases deformativas sugeridas para el área de estudio. Fuente. Servicio Geológico Colombiano

### 5.2.5 ESTRUCTURAS

Los eventos tectónicos compresivos que originaron grandes estructuras, a nivel regional, dieron a su vez origen a estructuras plegadas como el Anticlinal Espartillo, al Norte del Casco Urbano y el Anticlinal Gramalote, hacia el Este. Como estructuras principales se presentan la Falla de Las Mercedes, al Occidente del Casco Urbano y la Falla de Gramalote, al Oriente del mismo.

La Falla de Las Mercedes presenta rumbo N-S y un desplazamiento superior a los 2400 m.; la Falla Gramalote, satélite de la anterior tiene rumbo Noreste y posterior Norte, pone en contacto rocas de edad Jura-Triásico con rocas de edad Cretáceo y Terciario. ( Pedroza Rojas, 2015)



**Figura 9.** Trazos del sistema de fallas estructurales de Gramalote y área des movimiento en masa. Fuente. ( Pedroza Rojas, 2015)



**Figura 10.** Vision integral del problema. Fuente. ( Pedroza Rojas, 2015)

En amarillo se ha bordeado un área aproximada del coluvial comprometido. La población hace parte integral de ese complejo coluvial producto de denudaciones y de actividad tectónica e integrado por clastos de arenisca embebidos en matriz areno limo arcilloso. En azul se han dibujado trazos gruesos de las quebradas Lagunetas y El Palo, las cuales desembocan en la quebrada Calderero, al pie de la población, la cual a su vez entrega sus aguas al río Peralonso. Estas quebradas demarcaron y orientaron el movimiento en masa. En blanco han sido trazadas las áreas dinamizadas por el movimiento en masa. En rojo, se han

identificado los lineamientos del sistema de fallas ge estructurales de Gramalote. ( Pedroza Rojas, 2015)

### **5.2.6 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL**

Los indicadores geomorfológicos denotan aspectos relacionados con la forma y morfometría del paisaje que permiten deducir el origen, su evolución y posibles amenazas que lo modifiquen. Formas del paisaje tales como depresiones, lagos de falla, abertura de grietas y prominentes escarpes, sugieren reciente desplazamiento de las fallas y constituyen contundentes indicadores de trazos activos de estas. Colinas residuales, escarpes denudacionales, cuerpos de deslizamiento, cárcavas, tierras malas, terracetas, entre otros, representan ciclos de denudación del paisaje. Cauces actuales, planicies de inundación, terrazas, barras puntuales, meandros y otras geofomas relacionadas con la actividad aluvial, demuestran el poder erosivo y de depositación de las corrientes fluviales. (INGEOMINAS I. D., 2012)

El municipio hace parte del sistema montañoso de la Cordillera Oriental, ubicándose en una de sus interdigitaciones; en un tipo de relieve de vertiente de montaña. A nivel general, las vertientes se extienden desde la parte superior de la montaña, con relieve fuertemente quebrado a escarpado, sectores con afloramiento rocosos, en cuya parte media se encuentra el cinturón cafetero que se caracteriza por pendientes complejas y procesos geomorfológicos marcados de erosión, movimientos en masa tipo flujos de detritos, traslacionales, rotacionales, hundimientos, escurrimientos difusos, fenómenos de soliflucción, terracetas (o pisadas de vaca) y reptación. (Gramalote A. , 2002)

En el área de estudio se encontraron principalmente unidades geomorfológicas de relieve montañoso, constituida esencialmente por una secuencia de arcillas pizarrosas negras a grises oscuras y limolitas., que incluyen geformas de origen morfoestructural y denudacional, principalmente. Tales relictos corresponden a material coluvial clasto soportado (especialmente bloques de arenisca), embebido en matriz arcillo limo arenosa, que reposan sobre sedimentos de las formaciones cretácicas aflorantes.

El relieve es ondulado en las formaciones terciarias y de cerros altos subredondeados en las rocas pre-cretáceas de tipo metamórfico. El territorio es en su gran mayoría quebrado montañoso, sobresaliendo los páramos de Guerrero y Pringador; además de la Sierra de Salazar, grandemente cortante forma una unidad con la digitación de Gramalote. Presenta erosión local de tipo laminar (por la acción del agua lluvia, esorrentía) y de tipo eólico (por acción del viento) por la falta de protección del suelo debido a la escasa cobertura vegetal y al relieve fuertemente ondulado. (Gramalote A. , 2002)

El casco urbano de Gramalote está desarrollado sobre un pulso coluvial relíctico enmarcado por un sistema de montañas de alta pendiente.

Sobresalen, en el territorio municipal, las alturas del páramo El Espartillo, ubicado al extremo Occidental del municipio con una altitud de 3.290 m.s.n.m., compartido con los municipios de Lourdes, Villa caro y Salazar. Por el sector Oriental y Norte se ubican la cuchilla de Volcanes, que sirve de límite entre Gramalote y Lourdes, descendiendo del Espartillo en sentido Noreste; la cuchilla El Zumbador, en sentido Sur- Norte que sirve de limite a los municipios de Gramalote y Lourdes y presenta alturas de 2.025 m.s.n.m (La Esmeralda), en la parte más alta de la vereda Boyacá; un poco más al Norte la cordillera se

abre al Oriente reuniéndose con el filo La Canal y luego toma rumbo Norte hasta convertirse en la Cordillera del Aguardiente.

Al Oriente se encuentra la loma La Canal, en límites de Gramalote con los municipios de Santiago y El Zulia, con altura máxima en la montaña de Peña Negra de 2.175 m.s.n.m.

Al sur del municipio se localiza el río Peralonso; las alturas mínimas (600 m.s.n.m) se reseñan en los valles intermontanos de la quebrada La Calderera y su desembocadura al río Peralonso, en límites con los municipios de Salazar y Santiago.

RANGOS DE PENDIENTE	%	DESCRIPCION	AREA	
			HAS	%
7°-15°	13-30	PRONUNCIADO	5930	39,23
16°-35°	31-70	MUY PRONUNCIADO	6962	46,05
>35°	>70	ESCARPADO	2225	14,72
TOTAL			15117	100

**Tabla 2.** Rangos de Pendiente Fuente. Esquema de Ordenamiento Territorial

### 5.3 FACTORES DESENCADENANTES

#### 5.3.1 PRECIPITACIÓN

La intensidad de lluvias es baja, pues tan solo llega a un promedio de 1758.3 mm/año. Con máximos de 2.398 mm/año y mínimos de 1107 mm/año.

El ciclo anual de precipitación presenta dos periodos lluviosos y dos periodos secos, los periodos lluviosos comprenden los meses de abril a mayo y septiembre a noviembre, siendo este último el más intenso, con el mes más lluvioso en octubre con aproximadamente el 17% de la precipitación anual. Los periodos secos se presentan entre enero a marzo y junio a agosto. (Gramalote A. , 2002)

### **5.3.2 SISMICIDAD HISTORICA**

Los movimientos en masa, la ocurrencia de lluvias pico y la alta sismicidad del área, han determinado de manera combinada la generación de flujos y deslizamientos.

El exceso de agua no sólo saturó y sobrecargó la masa térrea en pendiente, sino que al apercollar a través del complejo coluvial y llegar a los geomateriales arcillosos y lutíticos propios de las formaciones Luna, Cogollo y Uribante, modificó la consistencia de estos, lubricó contactos, y detonó eventos de movimiento en masa en diferentes sitios de la parte alta, en las montañas occidentales que circunvalan la población de Gramalote, dando origen al movimiento de masa que terminó arrasando la población.

Por lo que se hace necesario establecer la incidencia de la sismicidad histórica en el Municipio.

Fecha	Hora UTC hh:mm:ss	Magnitud MI	Longitud Grados	Latitud Grados	Departamento	Municipio	Profundidad Km
29/09/1999	14:43:32	3.6	-72.835	7.865	NORTE DE SANTANDER	GRAMALOTE	144.5
18/07/2008	12:37:38	2.3	-72.812	7.881	NORTE DE SANTANDER	GRAMALOTE	166.5
04/04/2009	9:09:41	2	-72.764	7.917	NORTE DE SANTANDER	GRAMALOTE	26.9
13/06/2010	13:05:47	1.1	-72.814	7.892	NORTE DE SANTANDER	GRAMALOTE	1.2
26/10/2010	22:09:15	1	-72.837	7.868	NORTE DE SANTANDER	GRAMALOTE	0
16/11/2010	7:34:45	1.7	-72.796	7.859	NORTE DE SANTANDER	GRAMALOTE	0

**Tabla 3.** Sismicidad Histórica de Gramalote. Fuente. (INGEOMINAS, 2015)

### 5.3.3 HIDROLOGÍA.

La cabecera municipal de Gramalote se encuentra en la cuenca hidrográfica del río Peralonso, microcuenca Calderera parte baja ladera occidental, y es atravesada por dos pequeños drenajes La quebrada el palo al norte de la población que tiene un área aproximada de terreno en sus cabeceras de 200 has antes de atravesar el casco urbano y quebrada Laguneta al sur occidente que tiene un área de terreno en sus cabeceras de 30 has. Antes de tocar el casco urbano.

La oferta hídrica para el consumo se considera bastante buena tanto a corto como a largo plazo, sin embargo los costos de tratamiento, captación, distribución etc. encarecen el servicio, lo que merece una revisión o evaluación completa del sistema

Con respecto a La Quebrada La Calderera se observan periodos de sequías intensas, con caudales inferiores a 2 m<sup>3</sup>/s y niveles por debajo de los 60 mm, igualmente épocas de

tormentas de alta intensidad superando caudales de 25 m<sup>3</sup>/s hasta 80 m<sup>3</sup>/s, con períodos de retorno no muy largos.

La gran cloaca del Municipio es la Quebrada La Calderera y tiene su mayor carga en los vertimientos de la cabecera municipal; la parte norte es bañada de oeste a este por la quebrada el Palo tributaria de la Quebrada la Calderera y por la parte occidental de norte a sur pasa el afluente Quebrada Laguneta que también tributa a la quebrada la Calderera; en éste afluente algunos predios descargan sus aguas residuales.



**Figura 11.** Red Hídrica de Gramalote. Fuente (Gramalote A. , 2015)

## **6 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA**

Un SIG es un sistema de hardware, software y procedimientos elaborados para facilitar la obtención, gestión, manipulación, análisis, modelado, representación y salida de datos espacialmente referenciados, para resolver problemas complejos de planificación y gestión.

La razón fundamental para utilizar un SIG es la gestión de información espacial. El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas que se almacenan de forma independiente y se puede trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, donde se facilita la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos.

El uso de este tipo de sistemas facilita la visualización de los datos obtenidos en un mapa con el fin de reflejar y relacionar fenómenos geográficos de cualquier tipo, desde mapas de carreteras hasta sistemas de identificación de parcelas agrícolas o de densidad de población. (SIG, 2015)

### **6.1 TIPOS DE DATOS**

#### **6.1.1 RASTER.**

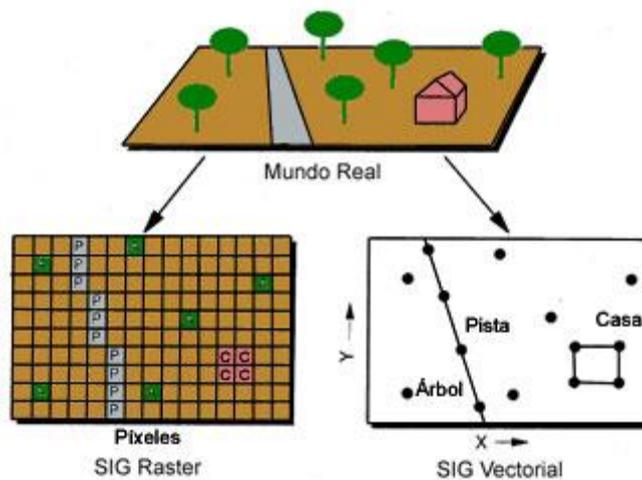
Un raster es una imagen digital representada en mallas, en donde esta malla contiene celdas con cierto tipo de valores. En este modelo, las entidades geográficas son representadas por medio de celdas y está organizada en forma de renglones y columnas, como una matriz. La posición de cada celda está definida por una columna y un renglón. El valor de cada celda indica el valor del atributo o características que representa, cuyo origen se sitúa en el extremo superior izquierdo, al contrario de lo que ocurre con el sistema de coordenadas cartesianas cuyo origen se encuentra en el punto inferior izquierdo. (SIG, 2015)



**Figura 12.** Representación de una imagen tipo raster

### 6.1.2 VECTOR

El modelo vectorial constituye una codificación de los datos geográficos en la que se representa una variable geográfica por su geometría, independientemente de su escala y son almacenados con un formato digital fácilmente convertible en un dibujo; las porciones del territorio y su representación digital suelen constituir una lista de coordenadas de puntos y vértices que definen la geometría de los elementos. Su codificación se realiza a través de una base de datos de tipo relacional asociada a la representación gráfica (SIG, 2015)



**Figura 13.** Representación modelo vectorial

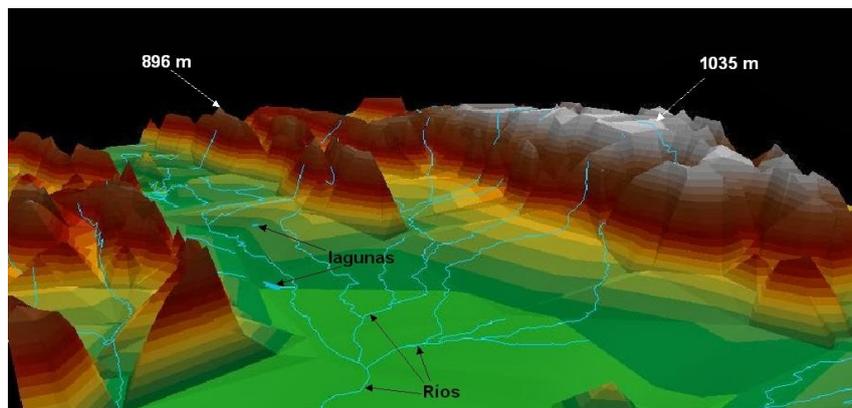
### 6.1.3 TIN (Triangular Irregular Network).

Un TIN es una red de triángulos, que varían en tamaño y en función de la rugosidad del terreno. En este modelo, los vértices del arreglo triangular, se posicionan en los puntos de mayor importancia, donde la elevación es conocida. En el modelo, las coordenadas x-y-z de todos los puntos, como también los atributos de inclinación y dirección, son almacenadas.

Los triángulos grandes son válidos en el caso de terrenos planos o pendientes muy suaves.

Los triángulos pequeños pueden modelar terrenos muy accidentados.

Entre sus ventajas se encuentra la posibilidad de describir la superficie a un nivel distinto de resolución y la eficiencia en el almacenamiento de datos. (Gis, 2015)

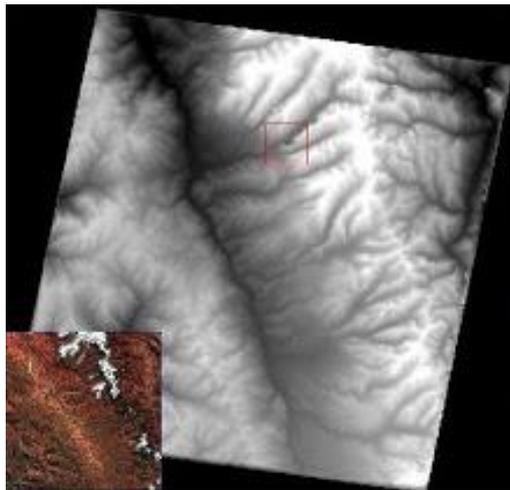


**Figura 14.** Representación de un TIN

### 6.1.4 DEM (Digital Elevation Model)

Es un archivo raster, es decir, está compuesto de píxeles, como las fotografías, que pueden ser de diferente tamaño, de tal manera que cada uno de los píxeles almacena un número que representa el valor de la altitud promedio del área representada por ese píxel.

A partir de un DEM, son innumerables las herramientas SIG que se pueden aplicar, para obtener valiosísimas superficies de información además de los tradicionales contornos vectoriales o curvas de elevación, como: mapas de pendiente, de orientación de laderas, sombreados, cuencas visuales, cálculo de volúmenes, entre otros. (Gis, 2015)



**Figura 15.** Representación de un DEM

## **6.2 MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD**

Es un mapa en el cual se zonifica las unidades de terreno que muestran una actividad de deslizamientos similar o de igual potencial de inestabilidad, la cual es obtenida de un análisis multivariable entre los factores que pueden producir deslizamientos y el mapa de inventario de deslizamientos. (Suarez, 2015)

### **Susceptibilidad**

Expresa la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno. La susceptibilidad es una propiedad del terreno que indica qué tan favorables o desfavorables son las condiciones de éste, para que puedan ocurrir deslizamientos. Es por ello, que el mapa de susceptibilidad clasifica la estabilidad relativa de

un área, en categorías que van de estable a inestable. El mapa de susceptibilidad muestra donde hay o no, condiciones para que puedan ocurrir deslizamientos. (Suarez Diaz , 1998)

## **7 METODOLOGIA**

La susceptibilidad de un relieve por fenómenos de remoción de masa es la atracción que presenta un talud o ladera a fallar debido a características geológicas. El análisis del sistema en riesgo se basa en identificación de diferentes parámetros técnicos que inciden en la remoción de masa, esos parámetros se clasifican según una metodología de zonificación.

Para la implementación de la metodología, se desarrolló el estudio en la zona del municipio de Gramalote el cual cuenta principalmente con unidades geomorfológicas de relieve montañoso.

El modelo estructural de la zona de estudio se caracteriza por la presencia de estructuras como, fallas de tipo normal (tendencia NW-SE y NNE-SSW). Plegamientos con tendencia general N-S en las secuencias de origen sedimentario, cuerpos coluviales de origen tectónico de espesor variable, fallas de tipo lateral dextral con tendencia NE y generación de zonas extensionales (fallas normales) y zonas compresivas (cabalgamientos).

En un orden de ideas para determinar la susceptibilidad de la zona se implementaron los siguientes ítems:

- a. Recopilación y análisis de documentación de orden geológico-geotécnico para caracterizar el material de la zona.
- b. Identificación de metodologías de susceptibilidad de la unidad geológica en estudio.
- c. Escogencia de los parámetros a utilizar y ordenarlos para su uso en el mapa y en el programa.

- d. Implementar el uso de la información como un medio de obtención de resultados.
- e. Generación del mapa de susceptibilidad por deslizamientos.

## 8 PROCESAMIENTO DE LOS FACTORES

Para determinar la susceptibilidad de deslizamientos de tierra en el Municipio de Gramalote, se utilizaron los indicadores Morfodinámicos, también conocido por método Mora-Vahrson. (recursos naturales, 2004)

El modelo evalúa cinco factores agrupados en dos categorías:

- **Factores Intrínsecos.** Son aquellos que intrínsecamente forman parte de las propiedades y comportamiento del medio. Estos factores son el Relieve relativo (Rr), la Litología (L) y Humedad (H).

- **Factores Externos.** Son los que inducen, desde el exterior, hacia un comportamiento activo de las masas de suelo. Estos factores son la Intensidad de los sismos (S) y la Intensidad de las lluvias (LL).

### 8.1 PENDIENTES (Rr)

La pendiente del terreno está condicionada por diversos factores, entre los que se puede mencionar: la litología y estructura geológica, la geometría de las vertientes y la intensidad y tipo de procesos modeladores del relieve. El análisis de pendientes tiene como objetivo caracterizar las formas del relieve en función del grado de inclinación y procesos erosivos que la modelan.

Este factor representa una medida del relieve o la topografía de un área determinada.

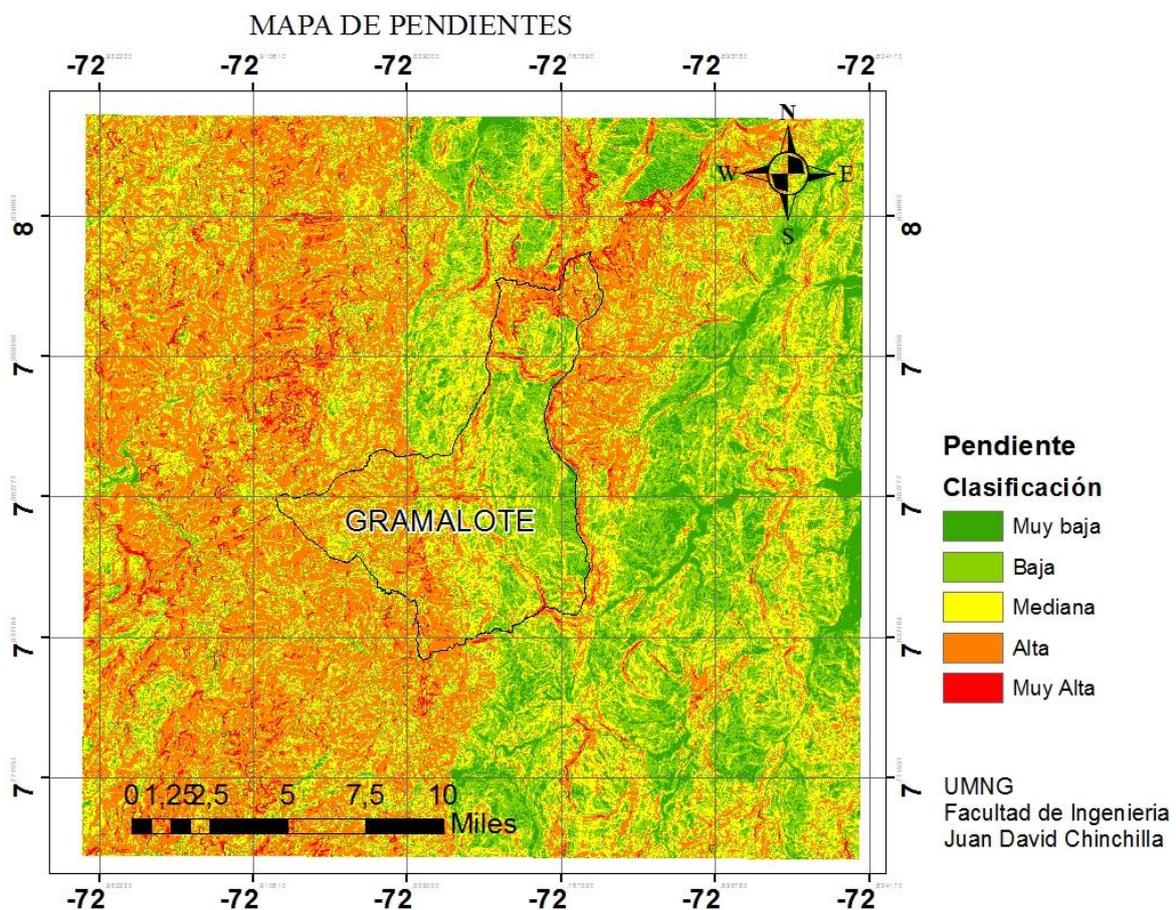
El mapa de pendientes nos ayuda a identificar las zonas donde hay deslizamientos, caídas libres o bien si nos encontramos en una planicie o valle. Para la metodología de este análisis se utilizó el SIG, ArcMap 10.1. Utilizando el Modelo de Elevación Digital de la zona de estudio descargado de la página Web “ASTER GDEM”, se generaron las curvas de nivel y una representación 3D llamada TIN. Usando este modelo de elevación digital, se generó un mapa de pendientes que luego se clasificó usando los valores de la tabla 4 en este caso para la

construcción de estos rangos se tomó en cuenta la clasificación propuesta por Suarez Díaz, 1998.

Clasificación	Susceptibilidad	Pendiente (Ángulo de Inclinación)
1	Muy baja	0 - 5% (0 - 8,5 grados)
2	Baja	15 - 30% (8,5 - 16,7 grados)
3	Mediana	30 - 50% (16,7 - 26,6 grados)
4	Alta	50 - 100% (26,6 - 45 grados)
5	Muy Alta	Más del 100% (> 45 grados)

**Tabla 4.** Clasificación rango de pendientes. Fuente (Suarez Diaz , 1998)

El resultado se muestra en el Mapa 1.



**Mapa 1.** Clasificación de pendiente Área de estudio

El resultado obtenido fue la clasificación de susceptibilidad de pendientes del área de estudio que va de “Muy baja” a “Muy alta”. Según el mapa 1, es una zona donde predomina una mediana y alta susceptibilidad debido a las altas pendientes que se encuentran allí, lo que indica mayor inestabilidad del terreno haciéndolo susceptible a fenómenos de remoción en masa.

Las porciones más bajas o menos pendientes son poco susceptibles a movimientos de masa pero son afectadas por los eventos que se originan en porciones más pendientes.

Laderas entre 8,5 y 16,7 grados de inclinación conforman relieves suaves poco susceptibles pero afectadas por los eventos que se originan en pendientes más inclinadas.

Laderas de 16,7 a 26,6 grados conforman relieves inclinados muy susceptibles a movimientos de masa en algunas regiones pero poco susceptibles en otras.

Laderas con inclinaciones entre 26,6 y 45 grados son muy susceptibles a movimientos masales.

## **8.2 HUMEDAD (H)**

El agua es uno de los principales agentes de erosión y el vehículo principal de transporte del material erosionado. La erosión puede ser analizada comenzando por el despegue de las partículas de suelo debido al impacto de la lluvia. En un terreno con pendientes altas habrá un transporte neto hacia lugares más bajos de la ladera y con una intensidad suficiente se puede generar un flujo superficial suficientemente fuertes responsables de socavaciones que pueden convertirse en cárcavas que eventualmente generarían movimientos de masa.

La ponderación del factor humedad se realiza con el programa ArcMap 10.1 mediante los siguientes pasos:

1. Identificar una serie de estaciones pluviométricas distribuidas en el departamento de Norte de Santander..
2. Categorizar los promedios mensuales de cada estación, según la siguiente tabla:

Precipitación promedio mm/mes	Valor
< 125	1
125 - 250	2
> 250	3

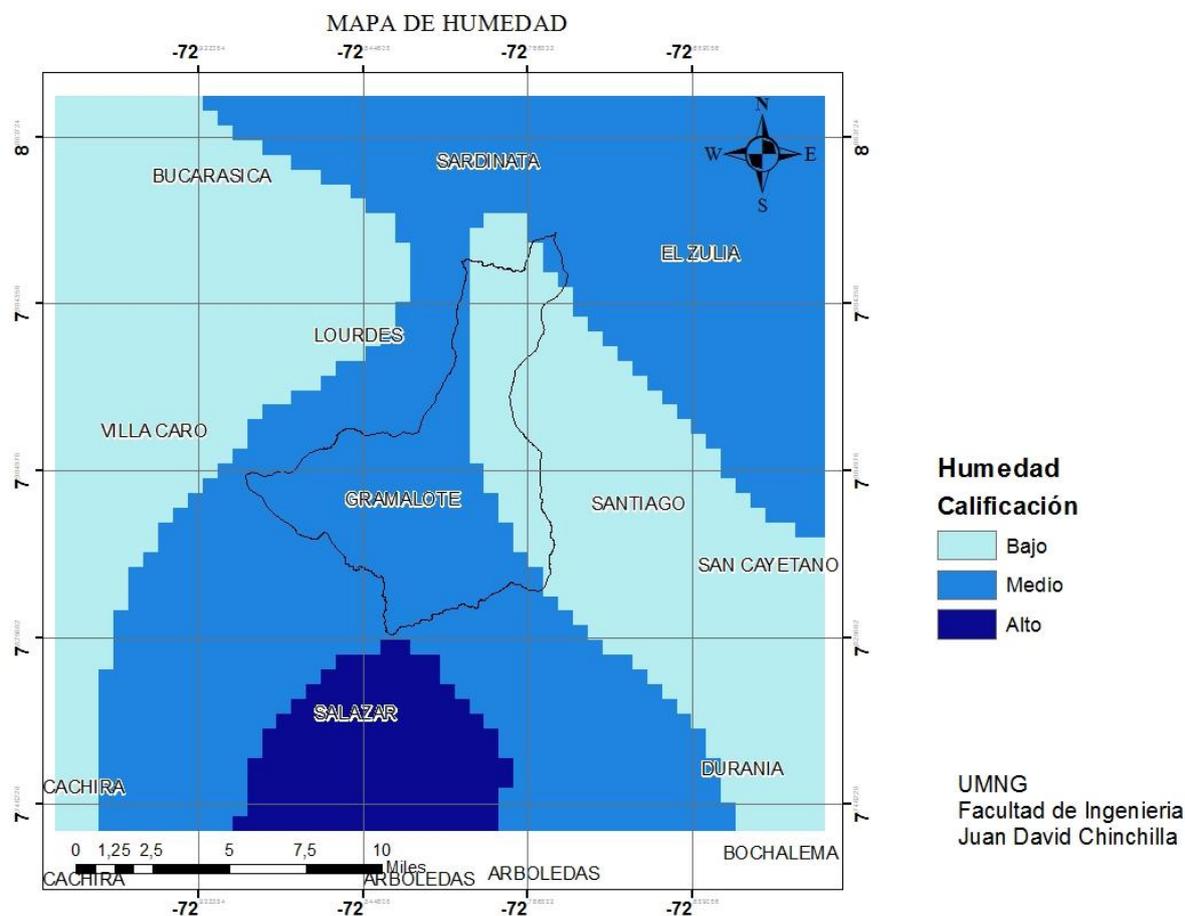
**Tabla 5.** Precipitación promedio mensual

3. Sumar los doce valores asignados a cada mes. Los valores oscilaran entre 0 y 24.
4. El valor obtenido de la suma se clasifica según la siguiente tabla:

Valor Acumulado	Calificativo	Valor Factor Humedad
0 - 4	Muy bajo	1
5 - 9	Bajo	2
10 - 14	Medio	3
15 - 19	Alto	4
20 - 24	Muy Alto	5

**Tabla 6.** Clasificación valor acumulado

El resultado del factor humedad se muestra en el Mapa 2.



**Mapa 2.** Clasificación de Humedad Área de Estudio

Mediante este mapa se puede observar clasificación de humedad del área de estudio que va de “Bajo” a “Alto”. Esta humedad se refiere a la cantidad de agua que queda en el suelo después de una precipitación y de procesos posteriores como evapotranspiración y escorrentía. Según el mapa 2, es una zona donde predomina la humedad media debido a que la composición del suelo es de baja permeabilidad, lo que hace que se retenga el agua y por ende se genera una mayor inestabilidad en el terreno haciéndolo susceptible a deslizamientos y caída libre.

### **8.3 LITOLOGIA (L)**

Se refiere a la identificación del tipo de material presente en la zona de estudio, sus características físicas y químicas, la composición mineral y la textura.

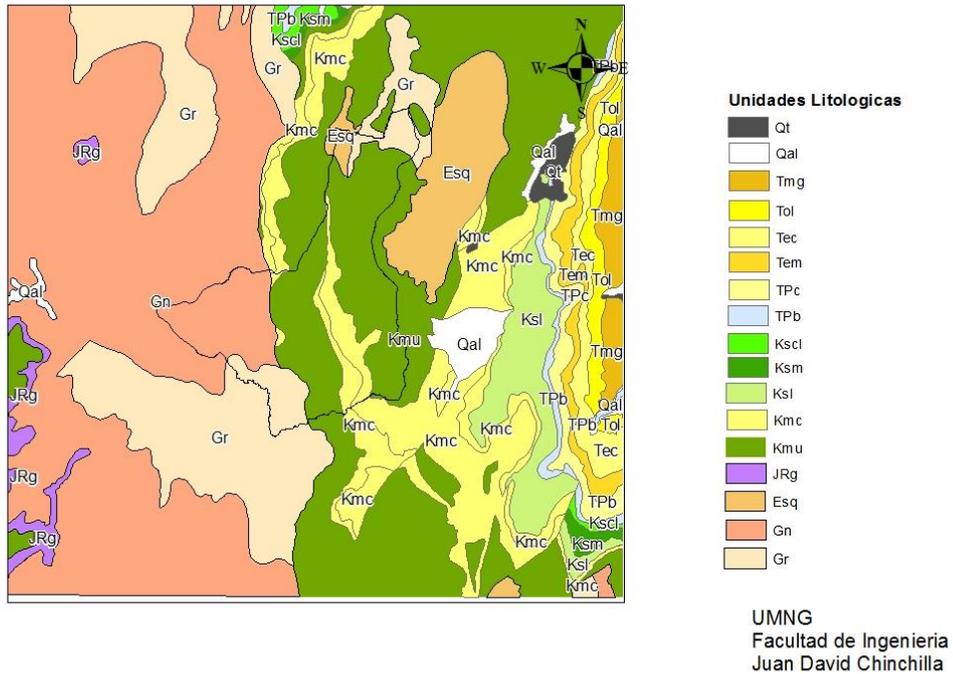
La litología es fundamental para entender cómo es el relieve, ya que dependiendo de la naturaleza de las rocas se comportarán de una manera concreta ante los empujes tectónicos, los agentes de erosión y transporte.

El conjunto de estas características definen el grado de susceptibilidad del material a los movimientos de masa.

Para este trabajo se digitalizó la plancha geológica a escala 1: 100 000 número 87 por medio del Sistema de Información geográfica (SIG) ArcGis 10.1, en donde se evidenció una secuencia estratigráfica aflorante dentro del área que comprende rocas con edades desde Pre-Cretáceo hasta finales del Cretáceo (Ver mapa 3).

Las unidades litológicas (18 tipos) fueron clasificadas en cuatro clases (Ver Tabla 7). A cada clase se le asignó un peso o importancia en una escala de uno a cuatro que representa su grado de inestabilidad potencial.

UNIDADES LITOLÓGICAS

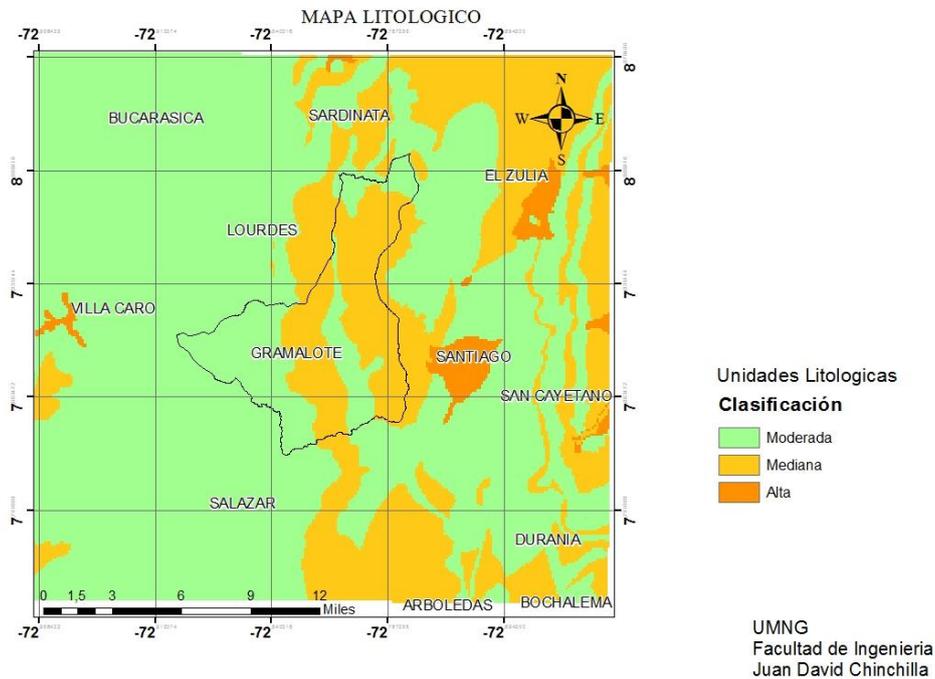


Mapa 3. Unidades litológicas Área De estudio

Unidad Litológica	Descripción	Grado de Susceptibilidad	Peso
	Aluvi3n grueso, permeable, compacto, nivel freático bajo. Calizas duras permeables. Rocas intrusivas poco fisuradas, bajo nivel freático. Basaltos, andesitas, ignimbritas y otras rocas efusivas sanas, permeables y poco fisuradas. Rocas metam3rficas, sanas, poco fisuradas, bajo nivel freático. Características físico Mecánicas CFM: materiales sanos con poca o ninguna meteorización, resistencia al corte elevada, fisuras sanas, sin relleno.	Baja	1
Tol, Tem, TPc, Ksct, Ksl, Kmc, JRg, Esq, Gn, Gr	Rocas sedimentarias no o muy poco alteradas, estratificación maciza, poco fisuradas, nivel freático bajo. Rocas intrusivas, calizas duras, lavas, ignimbritas, rocas metam3rficas medianamente alteradas y fisuradas. Aluviones con compactaciones leves, con proporciones considerables de finos, drenaje moderado, nivel freático a profundidades intermedias. CFM: Resistencia al corte media a elevada, fracturas cizallables.	Moderada	2
Tmg, Ksm, Ksc, Kmu	Rocas sedimentarias, intrusivas, lavas, ignimbritas, tobas poco soldadas, rocas metam3rficas mediana a fuertemente alteradas, coluviones, lahares, arenas, suelos regolíticos levemente compactados, drenaje poco desarrollado, niveles freáticos relativamente altos. CFM: Resistencia al corte moderada a media, fracturación importante.	Mediana	3
Qt, Qal	Materiales aluviales, coluviales y regolíticos de muy baja calidad mecánica, rocas con estado de alteración avanzado, drenaje pobre. Se incluyen las clases mediana y alta, sometidas a gradientes hidromecánicos elevados y niveles freáticos muy someros. CFM: Resistencia al corte muy baja, materiales blandos con muchos finos.	Alta	4

Tabla 7. Clasificación Unidades Litológicas

El resultado de la reclasificación geológica se muestra en el Mapa 4.



**Mapa 4.** Clasificación litológica Área de estudio

Mediante este mapa se puede evidenciar el grado de susceptibilidad del área de estudio, Tiene una clasificación de “Moderada” a “Alta” debido a su composición litológica donde se puede encontrar material meteorizado, material con baja y moderada resistencia al corte, consistencia poco firme, permeabilidad moderada a baja. Por tanto, materiales poco cementados, con tamaños de grano fino (limo-arcilla o arenas limo-arcillosas), o de un amplio rango granulométrico son litologías más propensas al deslizamiento. La secuencia ígneo-metamórfica se encuentra compuesta por rocas competentes con macizos graníticos y néisicos con alto fracturamiento por efecto de la falla de Las Mercedes al occidente del municipio de Gramalote.

La litología de los materiales aflorantes y su grado de alteración condicionará sus características físico-mecánicas y, por tanto, su estabilidad potencial, por lo que el comportamiento variará de unos materiales a otros aun cuando actúen sobre ellos con igual intensidad los mismos factores.

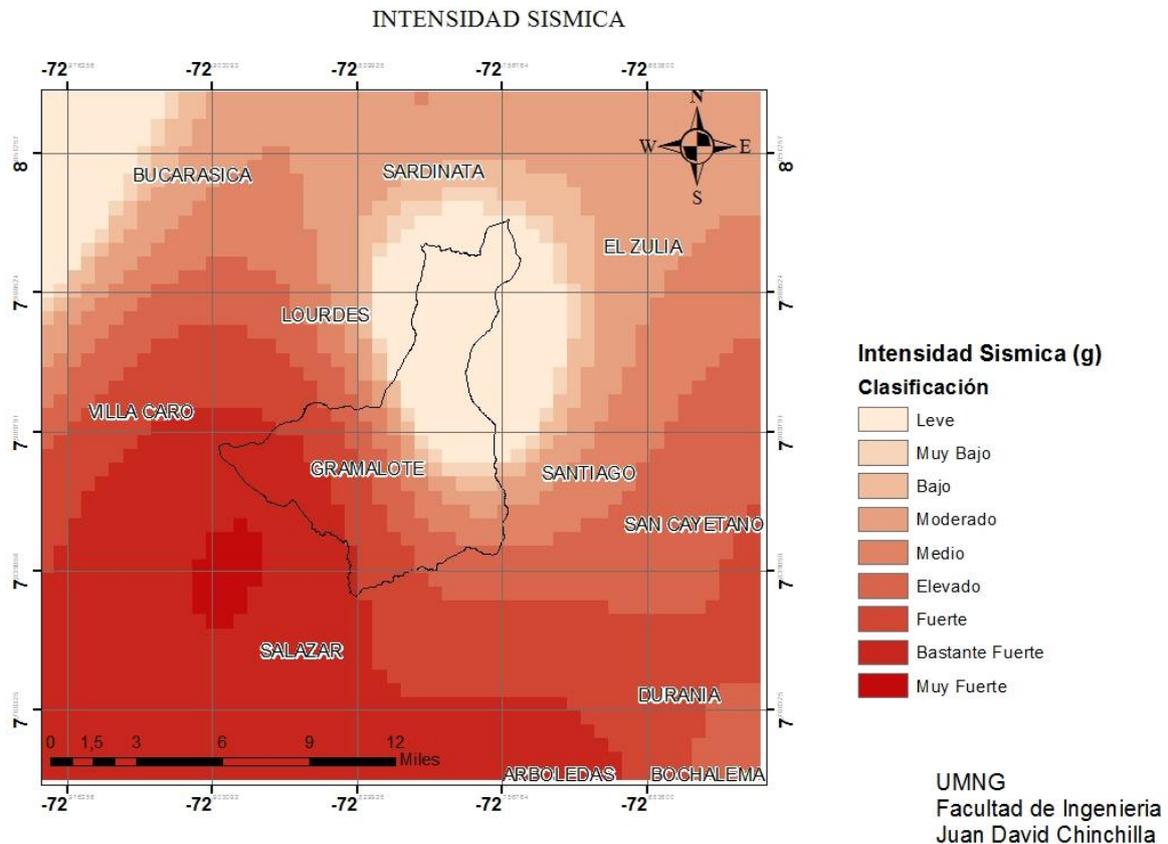
#### 8.4 INTENSIDAD SISMICA (S)

Este factor cuantifica la influencia de la actividad sísmica en los deslizamientos de tierra y para el análisis del mapa de intensidad sísmica se utilizaron las aceleraciones máximas del área de estudio con un período de retorno de 100 años, datos suministrados por el servicio geológico colombiano, por medio del programa ArcGis 10.1 se realizó una interpolación con los valores de estas aceleraciones y de esta manera se realizó el mapa de intensidad sísmica después se le asignaron valores a cada una de las áreas sísmicas según la tabla 8.

Escala de Mercalli	Aceleración Sismica (g)	Calificativo	Clasificación
I	< 0,0017	Leve	1
II - III	0,0017 - 0,014	Muy Bajo	2
IV	0,014 - 0,039	Bajo	3
V	0,039 - 0,092	Moderado	4
VI	0,092 - 0,18	Medio	5
VII	0,18 - 0,34	Elevado	6
VIII	0,34 - 0,65	Fuerte	7
IX	0,65 - 1,24	Bastante Fuerte	8
X +	> 1,24	Muy Fuerte	9

**Tabla 8.** Clasificación aceleraciones sísmicas

El resultado del factor de sismicidad se evidencia en el mapa 5.



**Mapa 5.** Mapa de aceleraciones sísmicas Área de estudio

Mediante este mapa se puede observar clasificación sísmica del área de estudio que va de “medio” a “Muy fuerte”. La actividad sísmica es un factor muy importante en el momento de analizar un estudio de susceptibilidad, debido a la intensidad de movimiento que puede ocasionar sobre el terreno. Según los resultados obtenidos en el mapa 5 se puede evidenciar que el área de estudio es susceptible a las fuertes intensidades sísmicas causando movimiento e inestabilidad del terreno y generando fenómenos de remoción en masa.

## 8.5 PRECIPITACIONES (P)

El modelo de precipitaciones o modelo de lluvias es un mapa parámetro obtenido de la interpolación de isoyetas anuales, que a su vez se trazaron con base en el promedio de precipitación anual de 93 estaciones pluviométricas del departamento de Norte de Santander. Este mapa se realizó en el Programa ArcGis 10.1

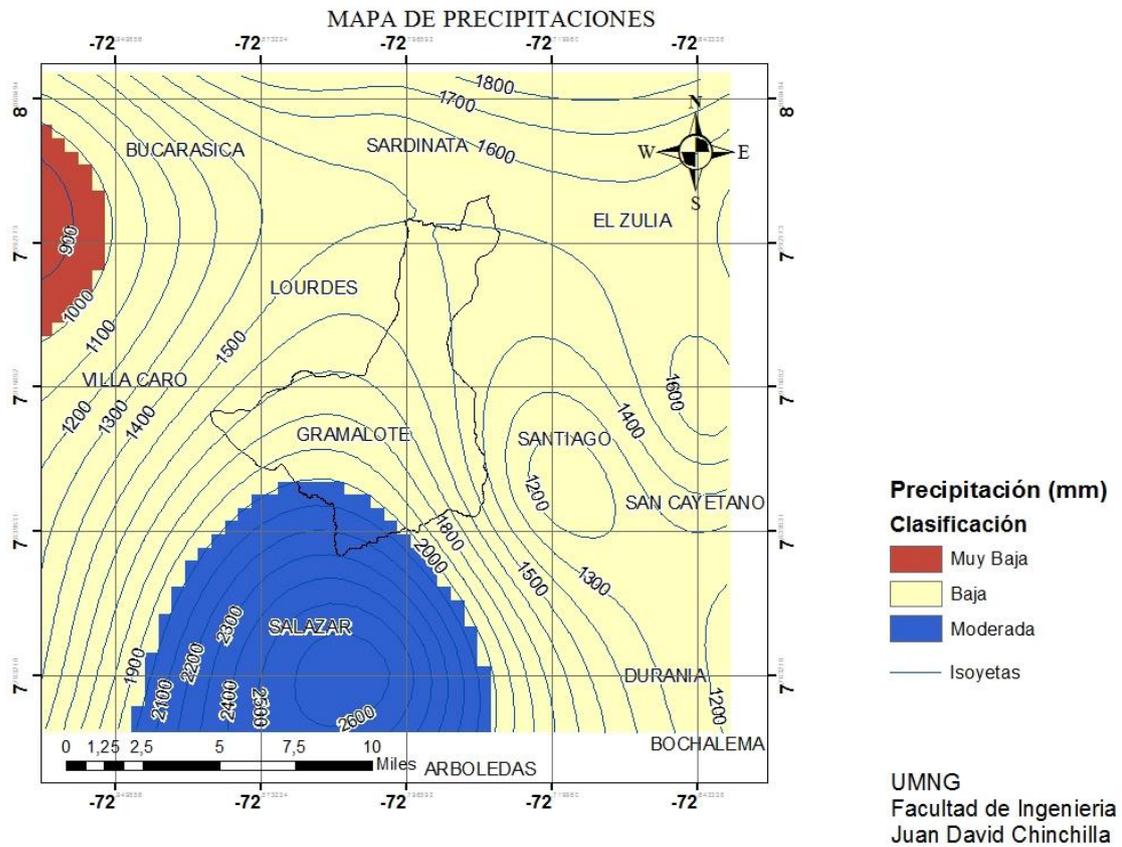
La precisión y las limitaciones del modelo de precipitaciones anuales dependen de los datos pluviométricos (distribución de las estaciones pluviométricas, errores sistemáticos de monitoreo, período heterogéneo de registros, etc.).

Estas precipitaciones se clasificaron según la tabla 9.

Precipitación (mm)	Susceptibilidad	Clasificación
< 1000	Muy Baja	1
1000 - 2000	Baja	2
2000- 3000	Moderada	3
3000 - 4000	Alta	4
> 4000	Muy Alta	5

**Tabla 9.** Clasificación Precipitaciones

El resultado de la clasificación de la precipitación se evidencia en el mapa 6.



**Mapa 6.** Mapa de Precipitación e isoyetas Área de estudio

El resultado obtenido fue la clasificación de precipitaciones del área de estudio que va de “Muy baja” a “Moderada”. Según el mapa 6, el área de estudio la intensidad de lluvia es baja, pues tan solo llega a un promedio de 1758.3 mm/año. Con máximos de 2.398 mm/año y mínimos de 1107 mm/año.

## 8.6 MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD

$$Susc = (Rr * L * H) * (S + LL) \quad ECUACION (I)$$

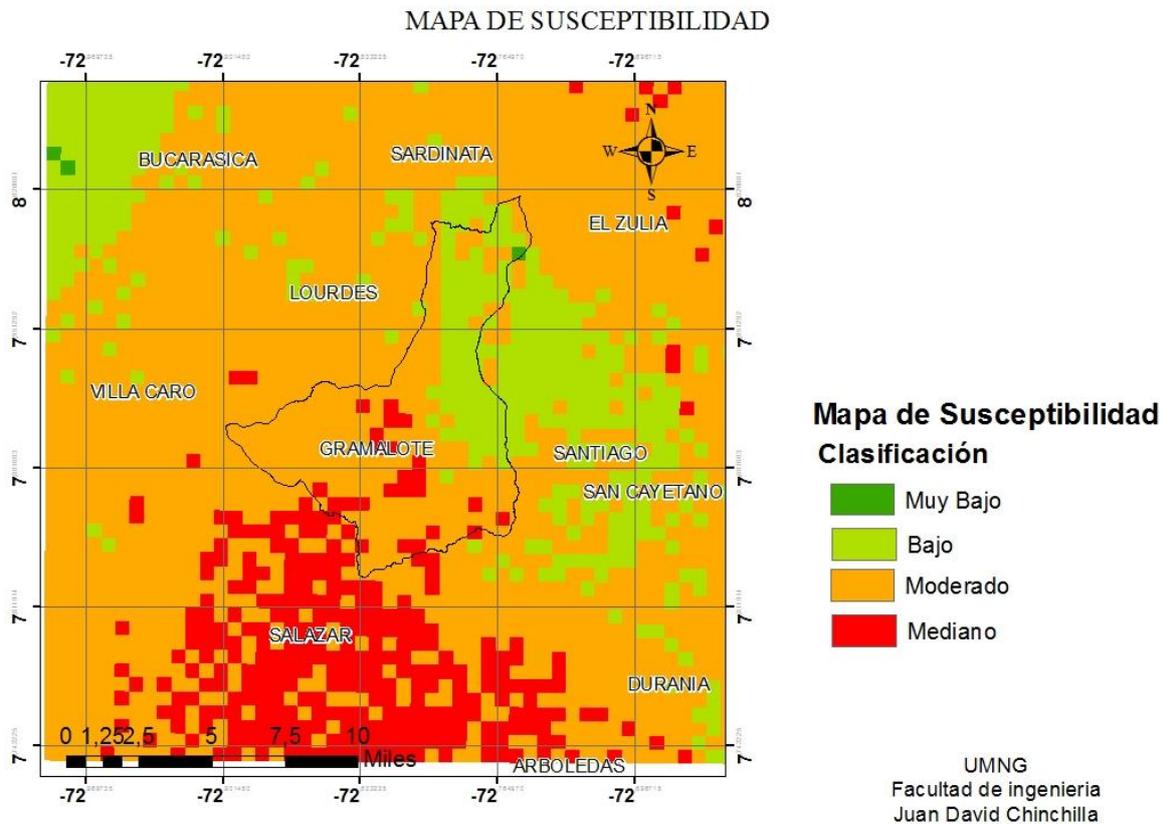
Finalmente, Con base en la clasificación y tratamiento de las variables de pendientes, humedad, litología, intensidad sísmica e intensidad de lluvias descritas se combinan mediante la *ECUACION (I)*, dándole cierto porcentaje de importancia a cada mapa usando el sistema de información geográfica (ArcGis 10.1) y de esta manera obtener el mapa de susceptibilidad por deslizamientos. Los mapas a los que se les dio mayor porcentaje de importancia fueron al de unidades litológicas con un 30% debido a que este factor es determinante al contribuir con los movimientos en los diferentes tipos de suelos y rocas, aspectos como la composición, resistencia, deformabilidad, grado de alteración y fracturación, porosidad y permeabilidad determinan la posibilidad del terreno de sufrir roturas y desplazamientos; al mapa de pendientes con un 30% debido a que los tipos específicos de deslizamientos incluyen caídas de roca donde se sueltan de una ladera y ruedan hacia abajo, soltando escombros, donde una mezcla de piedra, roca y agua son empujados hacia abajo con gran fuerza y gran velocidad, generando inestabilidad en el terreno asociado con esto se evidencia que la topografía empinada creada por la actividad geológica de la región es susceptible a deslizamientos; al mapa de intensidades sísmicas se le dio un porcentaje de importancia de 15% debido a que es un factor desencadenante importante para la determinación de movimientos en los fenómenos de remoción en masa, además que ciertas características geológicas pueden amplificar grandemente el movimiento durante un terremoto; a los mapas de intensidad de lluvias y Humedad se les asigno un porcentaje de importancia del 15% y 10% respectivamente por que la cantidad de lluvia que cae en tan poco tiempo, excede la capacidad de infiltración en el terreno por lo que se produce una escorrentía superficial que intensifica el efecto erosivo del

agua sobre las laderas durante el transporte del sedimento y forma depósitos característicos al pie de las pendientes. Si, por el contrario, el agua de lluvia se infiltra lentamente, se produce un mayor grado de saturación del terreno, que puede llegar a formar un nivel de agua subterránea y generar inestabilidad en el terreno.

Teniendo en cuenta los parámetros anteriores los valores obtenidos se agruparon (reclasificaron) según la Tabla 10 y se obtuvo como resultado el mapa 7.

Susceptibilidad	Clase	Grado de Susceptibilida
0 - 6	I	Muy bajo
7 - 32	II	bajo
33 - 162	III	Moderado
163 - 512	IV	Mediano
513 - 1250	V	Alto
> 1250	VI	Muy Alto

**Tabla 10.** Categorización de la Susceptibilidad

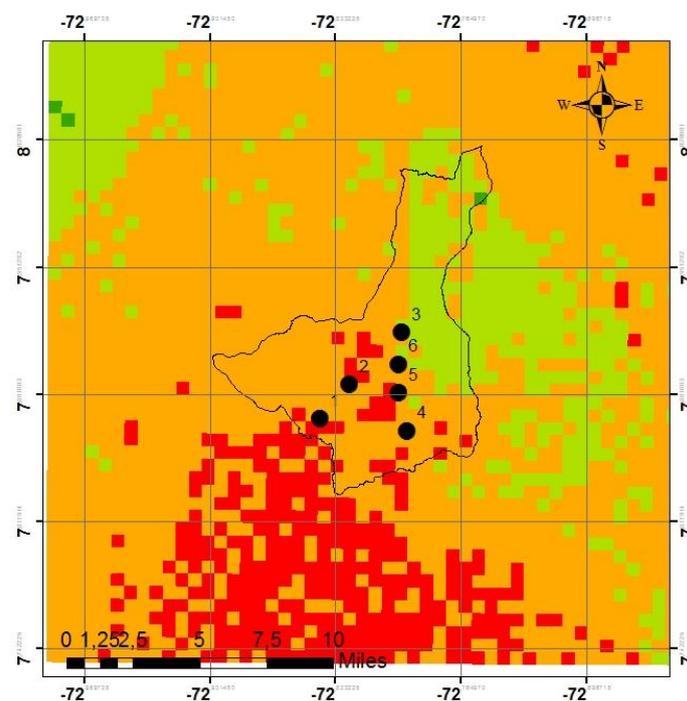


Mapa 7. Mapa de susceptibilidad de deslizamientos Área de Estudio.

Una vez establecidas las relaciones de peso en los diferentes mapas se procedió a otorgarles pesos ponderados a cada variable manteniendo 6 grados de susceptibilidad (1: Muy Bajo, 2: Bajo, 3: Moderado, 4: Mediano, 5: Alto y 6: Muy alto) obteniendo así el mapa de susceptibilidad, el cual se elaboró mediante el análisis multivariado, donde se efectuó la *ECUACIÓN (I)*.

Como resultado se obtuvo una zonificación de áreas susceptibles a fenómenos de remoción en masa. Se evidencia en el mapa 7, principalmente zonas de Moderado y Mediano riesgo de inestabilidad, zonas donde se encuentran laderas que tienen zonas de falla, masas de roca con meteorización alta a moderada, fracturadas con discontinuidades desfavorables;

depósitos superficiales inconsolidados, materiales parcialmente a muy saturados, laderas con pendientes entre 25° a 45°, donde han ocurrido movimientos en masa. Esta información concuerda con las características de deslizamientos previos ocurridos allí. La ocurrencia de lluvias pico, las características litológicas y morfológicas, la intensidad sísmica del área, han determinado de manera combinada la generación de flujos y deslizamientos.



**Mapa 8.** Mapa de susceptibilidad eventos de remoción en masa

	Tipo Movimiento	Fecha	Causa	Descripcion
1	Deslizamiento	04/06/2012	Deforestacion o ausencia de vegetacion	Detritos y Suelo Residual
2	Deslizamiento	01/08/2012	Material meteorizado fisica, Material Colapsible, Material Meteorizado Quimica	Suelo Residual Ligeramente Humedo
3	Caida	01/08/2012	Material Fallado por corte, Material Meteorizado Quimica, Erosion Pluvial, Material Sensible	Se presentan como bloques de roca sedimentaria calizas y areniscas de matriz arcillo lodosa
4	Deslizamiento	01/08/2012	Erosion Pluvial, Deforestacion o ausencia de vegetacion, Material colapsable	Litología metamórfica de protolito ígneo denominado otroneis del precámbrico.
5	Deslizamiento	12/12/2010	Erosion Pluvial, Erosion Fluvial, Material Colapsable (Pendiente de Ladera en Pre-Falla 30 Grados)	Unidad Kmc Formación Cogollo. En el deslizamiento afloran areniscas grises, chert, calizas con presencia de bivalvos , con arcillolitas de buena fisilidad de colores naranjas-rojizas.
6	Deslizamiento	22/09/2005	Material Fisurado o Agrietado, Material meteorizado fisica y quimica, Material Fallado por Corte	Lodolitas con fuerte diaclasamiento, de colores rojizos a negros que se disgregan facilmente. muy fisiles.

**Tabla 11.** Fenómenos de remoción en masa ocurridos en el municipio de Gramalote.

Los movimientos en masa ocurridos recientemente en el municipio (Ver mapa 8), principalmente en el periodo 2010-2012, se han localizado en los sectores clasificados con moderado y mediano susceptibilidad, “validando” de esta manera el mapa de susceptibilidad.

## 9 CONCLUSIONES

Se puede observar que el sistema complejo flujo-deslizamiento, catalogada como falla superficial o movimiento en masa, fue normal al lineamiento del sistema de fallas geoestructurales de Gramalote.

Los antiguos deslizamientos coinciden con las áreas marcadas en el mapa de susceptibilidad lo cual hace que el mapa sea más confiable.

La susceptibilidad sólo identifica áreas potencialmente susceptibles y no implica un período de tiempo durante el cual pueda ocurrir un proceso; permite sectorizar las zonas potenciales a sufrir estos fenómenos, en base a las condiciones intrínsecas del terreno.

Una de las funciones clave de los mapas de susceptibilidad, es indicar las zonas donde se hace necesario o es conveniente hacer estudios geológicos y geotécnicos complementarios.

En el mapa de la inestabilidad, la mayor parte del territorio se caracteriza por un moderado y mediano nivel de inestabilidad. La zona más crítica es un ecosistema caracterizado por fuertes pendientes, composición de suelos inestables, participa con frecuencia en los procesos de erosión estrictamente relacionados con las actividades humanas. La frecuencia relativamente alta de deslizamientos de tierra en el área de estudio subraya la necesidad de mucha más información para evaluar la susceptibilidad a deslizamientos y un mayor control durante la recolección y procesamiento de datos. El análisis ha proporcionado información sobre la susceptibilidad del terreno a las fallas de pendiente y se puede utilizar para la estimación de pérdida de suelo, la probabilidad de localizar nuevas obras de construcción y para la planificación de la gestión de desastres. El modelo se puede aplicar a otras áreas montañosas con características ambientales similares, aunque para un uso general y más preciso es necesario un inventario de deslizamientos más preciso, más datos de daños y la información más detallada acerca de los factores de inestabilidad.

La metodología y desarrollo que se muestra en este trabajo es sólo una parte de lo que podría llegar a ser si se complementa con otras áreas de estudio, por ejemplo con un muy detallado estudio de mecánica de rocas y de suelos, datos de geología estructural, geoestadística, etc., complementando así el estudio en el uso de sistemas de información geográfica.

La elaboración de un mapa de susceptibilidad y la zonificación de procesos de remoción en masa, es de suma importancia para el diseño de medidas de mitigación, prevención y elaboración de normas de construcción adecuadas a las características de la zona.

## 10 BIBLIOGRAFÍA

- Pedroza Rojas, A. O. (20 de Mayo de 2015). *Universidad Fransisco de Paula Santander*. Obtenido de Geoenergía: <http://geoenergiaufps.blogspot.com/2015/05/causas-y-efectos-de-la-desaparicion-de.html>
- Academia. (2015). *MEtodologia para la susceptibilidad Geológica*. Obtenido de [https://www.academia.edu/9695267/Metodolog%C3%ADa\\_para\\_los\\_Mapas\\_de\\_Susceptibilidad\\_Geol%C3%B3gica](https://www.academia.edu/9695267/Metodolog%C3%ADa_para_los_Mapas_de_Susceptibilidad_Geol%C3%B3gica)
- Anonimo. (2012). *Modelo de Susceptibilidad a movimientos de masa en el eje cafetero*. Obtenido de <http://www.osso.org.co/docu/tesis/2002/aproximacion/modelo.pdf>
- Colombiano, S. G. (2015). *SIMMA*. Obtenido de <http://simma.sgc.gov.co/#/public/results/invdetail/31503/>
- GDEM, A. (2015). *ASTER GDEM*. Obtenido de <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/>
- Gis, N. (2015). *Natiral Gis recourses* . Obtenido de <http://www.naturalresourcesgis.com/selevation.html>
- Gramalote, A. (2002). *ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL*. GRAMALOTE, NORTE DE SANTANDER.
- Gramalote, A. (01 de 06 de 2015). *Alcaldia de Gramalote- Norte de Santander*. Obtenido de [http://gramalote-nortedesantander.gov.co/informacion\\_general.shtml](http://gramalote-nortedesantander.gov.co/informacion_general.shtml)
- Gramalote, C. (2008). *PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL*. GRAMALOTE, NORTE DE SANTANDER.
- IDEAM. (2015). *Indicadores Ambientales Nacionales del IDEAM*. Obtenido de <http://institucional.ideam.gov.co/jsp/1772> (Pag Temperatura, precipitación, etc.)
- INGEOMINAS. (10 de 06 de 2015). *Red sismologica Nacional*. Obtenido de [http://bdrsnc.ingominas.gov.co/paginas1/catalogo/consulta\\_general\\_3.php?dep=NORTE\\_DE\\_SANTANDER](http://bdrsnc.ingominas.gov.co/paginas1/catalogo/consulta_general_3.php?dep=NORTE_DE_SANTANDER)
- INGEOMINAS, I. D. (2012). *ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA TIPO FLUJO EN LA CUENCA DEL RÍO COMBEIMA*. IBAGUE, TOLIMA.
- recursos naturales, M. (2004). *MEMORIA TÉCNICA PARA EL MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD DE DESLIZAMIENTOS DE TIERRA DE EL SALVADOR*. El Salvador.
- SGC. (2012). *ESTUDIOS DE GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA ESCALA 1:25.000 PARA LA REUBICACIÓN DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE GRAMALOTE, DEPARTAMENTO NORTE DE SANTANDER*. BOGOTÁ D.C.
- sgc. (2015). *Servicio GEologico Colombiano*. Obtenido de <http://seisan.sgc.gov.co/RSNC/index.php/consultas>

SGC. (2012). *ZONIFICACIÓN DE ESTABILIDAD DE LOS SECTORES DE POMARROSO Y MIRAFLORES ESCALA 1:5.000 PARA LA REUBICACIÓN DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE GRAMALOTE EN NORTE DE SANTANDER*. BOGOTÁ D.C.

SGC.. (10 de 06 de 2015). *SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO*. Obtenido de <http://seisan.sgc.gov.co/RSNC/index.php/consultas>

SIG. (2015). *Sistemas de Información geográfica* . Obtenido de <http://sig.cea.es/SIG>

Suarez Diaz , J. (1998). *DESLIZAMIENTOS Y ESTABILIDAD DE TALUDES EN ZONAS TROPICALES*. Bucaramanga: Ingenieria de Suelos Ltda.

Suarez, J. (15 de 07 de 2015). *GEOTECNOLOGIA S.A.S*. Obtenido de <http://www.erosion.com.co/presentaciones/category/21-analisis-y-modelacion-de-deslizamientos.html>