

## COMPONENTE GEOLOGICO

### INTRODUCCIÓN

Las condiciones climáticas que envuelven a Colombia muestran un país tropical, en donde los fenómenos naturales tales como inundaciones, avalanchas o deslizamientos (es decir, originados por procesos geológicos), han generado grandes pérdidas materiales y humanas. Ha sido necesario, por ende, identificar y localizar los sectores afectados por procesos geológicos potencialmente destructivos con el fin de incluir información sobre amenazas en la planificación del desarrollo municipal y en la preparación de proyectos de inversión en la localidad de Siachoque (Boyacá).

Al realizar un balance económico de costos, resulta más rentable invertir en medidas de mitigación que en subsanar las posibles pérdidas generadas por un fenómeno natural potencialmente destructivo. Dentro del contexto de “Planificación del desarrollo” en lo referente al manejo de amenazas geológicas, existe diversidad de estrategias para aplicar – según el orden cronológico del evento – que generalmente están encauzadas en dos sentidos: la mitigación (Identificación y evaluación de amenazas y reducción de la vulnerabilidad) y la preparación para el evento (predicción y atención de desastres).

Entonces, el estudio realizado ha tenido en cuenta la evaluación e identificación de amenazas, a partir de la determinación del estado geológico y la distinción geomorfológica, resultando así el diseño del Plano de susceptibilidad ambiental a la ocurrencia de amenazas Geológicas generado a partir de un análisis geoestadístico. Además, se ha incluido esta memoria explicativa con el fin de facilitar la utilización de los ya mencionados mapas.

Las amenazas geológicas se presentan por la conjugación de múltiples factores de gran complejidad y las únicas herramientas con que se cuenta son unos modelos extraordinariamente simplificados sobre algunos de los fenómenos que se conjugan para lograr la mitigación del evento. La respuesta consiste en emplear algún sistema de clasificación en el que se pueda confrontar la problemática propia con la encontrada por otros.

Adicionalmente, dentro del marco del ordenamiento territorial se han caracterizado los recursos minerales potencialmente explotables en el municipio a fin de proyectar la actividad económica derivada de la minería.

## 1. OBJETIVOS

### 1.1. OBJETIVOS GENERALES

Establecer los sectores de alta, media y baja susceptibilidad a presentar amenazas geológicas a través de una metodología semicuantitativa que permita la delimitación de dichos sectores a fin de incurrir en imprecisiones subjetivas que pudieran distorsionar las características reales del municipio de Siachoque.

### 1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Establecer los rasgos geológicos del municipio de Siachoque a través de la verificación en campo de estudios anteriores realizados en la zona y la fotointerpretación realizada.
- Examinar las condiciones geomorfológicas del municipio, en atención a fotointerpretación y comprobaciones de campo, con el fin de determinar los rasgos implícitos a cada tipo de modelamiento, y así, utilizarlos en la clasificación de amenazas.
- Preparar el mapa de pendientes topográficas para establecer los posibles sitios que ofrezcan mejores condiciones de estabilidad, teniendo en cuenta que no es éste un factor definitivo, mucho más cuanto que es el resultado de la interacción de variables tectónicas, morfológicas, climatológicas y ambientales.
- Inspeccionar las características cuantitativas de precipitación media en el área municipal de Siachoque, mostrando líneas de variación de las cuantías extraídas de las estaciones meteorológicas del IDEAM.
- Identificar los principales fenómenos naturales tanto de origen endógeno como exógeno que se presentan con mayor frecuencia, determinado sus características y estableciendo de manera preliminar su potencial destructivo.
- A partir de rasgos morfológicos, analizar los lugares propensos a desgaste

excesivo en los cuales se podría generar avalanchas y los sitios vulnerables a inundación por crecidas en los caudales o en las masas de agua estancada.

- Diseñar el mapa de amenazas, enfrentando los factores morfológicos, litológicos, tectónicos, climatológicos y ambientales a procesos de movimientos de masa, erosión difusa, avalanchas e inundaciones, determinando la media de valores y la desviación estándar de la media para encontrar la susceptibilidad mediante procesamiento geoestadístico de las propiedades intrínsecas de los lugares.

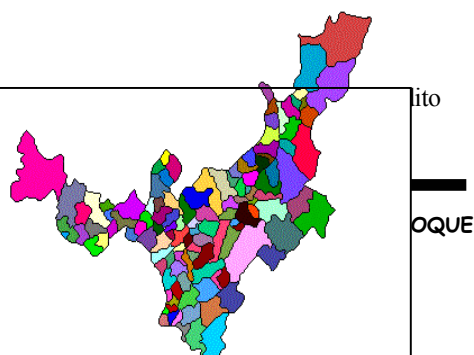
## 2. GENERALIDADES

### 2.1. SIACHOQUE <sup>1</sup>

Municipio en el departamento de Boyacá (FIGURA 1). Su cabecera está localizada a los 05° 30' 55" de latitud norte y 73° 14' 49" de longitud oeste. Altura sobre el nivel del mar: 2700 m. Temperatura media: 13°C. Precipitación media anual: 786 mm. Dista de Tunja 21 km. El área municipal es de 167 km<sup>2</sup> y limita por el Norte con Chivata y Toca, por el Este con Pesca y Rondón, por el Sur con Rondón y Viracacha y por el Oeste con Soracá y Chivata pertenece al círculo notarial de Toca a la oficina sectorial de registro y al circuito judicial de Tunja; corresponde a la circunscripción electoral de Boyacá. El 1° de enero de 1995 tenía registrados 430 predios urbanos y 5834 predios rurales. El territorio, es de relieve montañoso y corresponde a la cordillera Oriental, Lo riegan los ríos Cormechoque, Tocavita, Siachoque y La Caña además de varias corrientes menores. Sus tierras corresponden al piso térmico frío y piso bioclimático páramo. Según datos preliminares del censo de 1993, la población de la cabecera municipal era de 1.054 habitantes y el sector rural tenía 7.066 habitantes. Las actividades económicas de mayor importancia son la agricultura, la ganadería y el comercio. Los principales cultivos son cebolla, papa, cebada y maíz. Las actividades comerciales más destacadas están ligadas a la actividad agropecuaria. Se une por carretera con Toca, Soracá, Chivatá y Tunja.

El municipio dispone de 2 puestos de salud y 25 centros de atención de diferentes modalidades del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar. La

<sup>1</sup> Diccionario Geográfico de Colombia. Instituto Geográfico Agrológico. Versión 1.996 para Macintosh y Windows. CD-Rom.





América del Sur

Departamento de Boyacá

Municipio de Siachoque

**Figura 1** Localización Geográfica del Municipio de Siachoque (fuente: Diccionario Geográfico de Colombia CD – ROM).

cabecera municipal cuenta con 1 establecimiento de primaria, 414 alumnos y 13 profesores; 1 establecimientos de educación media, 496 alumnos y 22 profesores; el sector rural cuenta con 12 establecimientos de primaria, 1.046 alumnos y 31 profesores; el SENA (1994) dictó 1 curso de formación técnica a 20 alumnos. Tiene servicios de acueducto, energía eléctrica, telegrafía, correo nacional durante el siglo XVI fue encomienda. A fines del siglo XVII era resguardo. Fue elevado a la categoría municipal mediante el decreto No 2.871 de 1.892.

## 2.2. METODOLOGÍA GENERAL

Se ha realizado un análisis bibliográfico de los estudios geológicos anteriores adelantados en la zona con el fin de determinar las condiciones del área correspondiente al municipio de Siachoque. Una vez estimado el estado geológico del municipio, se ha procedido ha realizar un estudio fotogeológico del área a fin de

establecer preliminarmente los modelamientos morfológicos atribuidos a la actuación de los factores tectónicos, meteóricos, climáticos y paleoclimáticos, evidenciados en las formas actuales del terreno y en las formaciones superficiales. Posterior a la etapa de fotointerpretación se corroboró en campo los rasgos geológicos y geomorfológicos preliminarmente establecidos. Una vez concluidas las observaciones de campo se han diseñado mapas temáticos de primer orden como el Geológico, geomorfológico, de pendientes, de Isoyetas a fin de poder establecer las variables ambientales a ser evaluadas para determinar la susceptibilidad ambiental a la ocurrencia de amenazas geológicas

Todos los datos obtenidos se han procesado lógicamente para optimar la valoración de la susceptibilidad a las amenazas geológicas de los diferentes lugares. La metodología seguida para el diseño del Plano de susceptibilidad de amenazas geológicas está explicada con detalle en el capítulo 5 Amenazas Geológicas.

### **2.3. MARCO CONCEPTUAL**

Se entiende como Amenaza Geológica, la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural potencialmente destructor dentro de un periodo determinado de tiempo en un lugar geográfico específico. Teniendo en cuenta que las amenazas implican cambios sorpresivos en el medio ambiente y que pueden afectar la estabilidad de una población, es necesario incluir este concepto en los procesos de planificación del uso de la tierra, estableciendo para tal fin una zonificación y clasificación de las amenazas en alta, media y baja de acuerdo al efecto que éstas causen.

Dentro del manejo de las amenazas es necesario conocer la diferencia que existe entre evaluación de amenazas, evaluación de vulnerabilidad y susceptibilidad así:

- Evaluación de amenazas geológicas: es una valoración de la ubicación, la

severidad y la posibilidad de que ocurra un evento natural dentro de un periodo de tiempo determinado.

- Evaluación de Vulnerabilidad: es una estimación de las pérdidas o daños que puedan ser causados por un evento natural de cierta severidad, incluyendo daños a la construcción, daños personales e interrupción de las actividades económicas y del funcionamiento normal de las comunidades.
- Evaluación de susceptibilidad es la probabilidad futura de ocurrencia de fenómenos naturales catastróficos en un sitio determinado en un lapso de tiempo definido.

Teniendo en cuenta lo anterior, se puede establecer que el trabajo realizado en Siachoque se centra en la evaluación de susceptibilidad a la ocurrencia de amenazas geológicas, encaminando las acciones gubernamentales a planes de prevención y mitigación de desastres.

El origen de los fenómenos naturales que constituyen amenaza para el hombre y sus actividades corresponde a los diferentes procesos y manifestaciones de la geodinámica terrestre, tanto interna como externa. Según lo anterior diversos autores clasifican las amenazas naturales en: endógenas y exógenas.

#### *2.3.1 Amenazas naturales de geodinámica endógena.*

Para la zona de estudio la amenaza natural endógena más importante, es aquella generada por la actividad sísmica y corresponde a zonas o áreas que pueden ser afectadas por sismos (temblores o terremotos), de acuerdo con las magnitudes, frecuencia y grados de exposición o de susceptibilidad de los sectores circundantes al fenómeno.



Los peligros asociados a las zonas afectadas por actividad sísmica están marcados por la destrucción de cualquier estructura ubicada cerca al epicentro del evento tectónico; la separación de las rocas a lo largo de las zonas de debilidad (fallamientos); la generación de deslizamientos como consecuencia de la onda sísmica especialmente en materiales poco consolidados ubicados en sectores con alto gradiente topográfico, al igual que desplomes de roca en sectores escarpados afectados por discontinuidades originadas en eventos tectónicos anteriores; la licuefacción de materiales no consolidados (especialmente arenas); la subsidencia o depresión de superficies que se genera por la consolidación de los depósitos resientes.

### *2.3.2 Amenazas naturales de geodinámica exógena.*

Dentro de éstas, se pueden resaltar las amenazas ocasionadas por inundaciones e inestabilidad de las laderas. La primera se refiere a las zonas o áreas que están o pueden estar afectadas por crecientes, desbordes o inundaciones producidas por la actividad de los flujos hídricos de acuerdo con las magnitudes y frecuencias (recurrencia) del fenómeno. Con respecto a la inestabilidad de las laderas, se refiere a las zonas o áreas que están o pueden ser afectadas por movimientos de remoción en masa y procesos de erosión acelerada o zonas susceptibles a estos procesos, de acuerdo a sus magnitudes y frecuencias.

En las zonas afectadas por inestabilidad del terreno se generan diversos procesos de remoción en masa que pueden afectar en mayor o menor grado al medio en que se desarrollan dependiendo de la naturaleza específica de los procesos (reptación, flujo de suelo en estado plástico, flujo de suelos en estado líquido, deslizamientos, desprendimientos, desplomes, derrumbes, hundimientos, etc.) (Villota, 1994)<sup>2</sup>, siendo los más destructivos aquellos que involucran grandes masas de material y se generan rápidamente como en el caso de deslizamientos,

---

<sup>2</sup> Villota Hugo .En Geomorfología aplicada a levantamientos Edáficos y zonificación Física de Tierras.

avalanchas o flujos de lodos.

La erosión se da como un proceso evolutivo lento en el que solamente intervienen agentes naturales tales como el agua, el hielo y el viento, modelando el paisaje. Sin embargo, se puede acelerar el proceso por la acción antrópica, debido a los usos inadecuados de los suelos tales como sobrepastoreo, quema o tala de bosques, ciertas prácticas agrícolas, construcción de vías y desarrollo urbano no planificado. La erosión trae como consecuencia la pérdida de nutrientes del suelo lo cual disminuye la capacidad productiva de éste.

### 3. GEOLOGÍA

Rocas sedimentarias marinas del Cretáceo ocupan una extensa zona de la Cordillera Oriental, suprayacidas concordantemente por las rocas Terciarias, evidenciando un sólo ciclo de avance marino que concluyó a finales del Cretácico e inicios del Terciario, no pudiéndose identificar alguna fase regresiva de importancia, salvo oscilaciones de carácter local.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> ETAYO et al (1969) en Mapa Geológico de Colombia, Memoria Explicativa. INGEOMINAS 1988.

### 3.1. ESTRATIGRAFÍA

Se ha tenido en cuenta la nomenclatura de las unidades litoestratigráficas utilizada para el Altiplano Cundiboyacense, la Sabana de Bogotá y la Sierra Nevada Del Cocuy, observándose aflorantes formaciones de las series Terciario, Cretáceo Superior y Cuaternario.

#### 3.1.1. Cretácico (141– 65). ma <sup>4</sup>

– **Formación Une (Kiu)** El nombre de la formación fue establecido por Hubach E.(1.957) para representar al conjunto de areniscas que afloran en la carretera Bogotá - Villavicencio, entre las poblaciones de Chipaque y Cáqueza.<sup>5</sup>

**Litología :** La formación esta constituida por areniscas cuarzosas, grises claras o blanco amarillentas, de grano fino a grueso. Con estratificación fina a maciza; presenta estratificación cruzada, calcos de carga y marcas de oleaje. Dentro de esta unidad se presentan delgadas intercalaciones de lutitas negras, las cuales son frecuentes en la parte superior de la formación. Esta unidad fue depositada en un ambiente marino deltaico. En el municipio de Siachoque la formación aflora en la vereda de Cormechoque Arriba ubicada al Sur Este de la cabecera municipal.

Localmente la formación le da al sector ya mencionado una morfología algo escarpada que contrasta con la morfología suave de las unidades que infrayace, se pudo observar que esta constituida por areniscas algo micaceas blanco amarillentas de grano medio a fino que corresponden a la parte inferior de la formación.

**Edad Y Origen:.** La edad de la formación es considerada por Burgl<sup>6</sup>. H (1.957) y Campbell. C (1.962) como Albiano - Cenomaniano, con base a faunas colectadas en los alrededores de Choachi y en la carretera de Une a fosca.

<sup>4</sup> Las cifras entre paréntesis equivalen al tiempo geológico en millones de años contados desde ahora hacia atrás

– **Formación Churuvita (Ksch).** Este nombre fue dado por F. Etayo; la localidad tipo se estableció en afloramientos en la carretera de Sáchica-Tunja; F. Etayo la divide en Formación Churuvita y Formación San Rafael.<sup>7</sup>

**Litología.** La Formación Churuvita está constituida por una arenisca basal de 105m., seguida de una alternancia (en la parte intermedia) de arcillolitas, areniscas y calizas con exogira, de 75 m. y por una parte superior de arenisca y caliza de 225 m. de espesor. La formación San Rafael que subrayase a la Formación Churuvita, constituida de shales grises en la parte inferior y delgadas capas limolítico-silíceas en la parte superior. La parte superior del Grupo Churuvita aflora al Sur-Este de la cabecera municipal en la vereda San José, localmente la formación esta constituida por areniscas intercaladas con delgados paquetes de arcillolita. Las cuales afloran en pequeños escarpes ubicados en al vereda San José.

**Edad y Origen.** Este grupo pertenece al período cretáceo y época Cenomaniano-Turoniano. Su origen es marino.

– **Formación Conejo (Kscn).** Se propone esta formación para la Sucesión bien expuesta en el camino que se desprende en el carretable Oicatá–Chivatá en la localidad de Pontezuelas y conduce a la vereda San Rafael bordeando el Alto de Conejo<sup>8</sup>.

**Litología.** En el alto denominado El Conejo la formación presenta intercalaciones de arenisca de grano medio a grueso, con arcillolitas grises, en la base; le siguen tres bancos de arcillolitas grises que aumentan su espesor hacia el

---

<sup>5</sup> Hubach .E.(1.957) en Mapa Geológico K-12 Pág. 24.,Publicado.1.975.

<sup>6</sup> Burgl.H. (1.957). y Campell (1.962) en Mapa Geológico cuadrángulo K-12., Pág. 24.

<sup>7</sup> F Etayo En geología del cuadrángulo J-12 Boletín Geológico .Vol 24 (1.981)

<sup>8</sup> RENZONI, G. Geología del Cuadrángulo J–12, Tunja: Boletín Geológico. Vol. 24, No. 2 (1981); p. 44.

techo, intercalados con bancos de arenisca blanca de grano medio, compacta, seguida por areniscas color café intercaladas con limolitas grises; hacia el techo, después de esta secuencia siguen bancos de arenisca blanca gruesa a fina; arcillolitas grises con un nivel de arenisca blanca de grano fino con concreciones, en la parte superior y limolitas grises en la parte final. En el Municipio la formación aflora en el sector Sur- Este de la cabecera municipal de Siachoque en la vereda Siachoque arriba en las veredas de Guaticha y Turga ubicadas en la parte Nor-Oeste de la cabecera municipal. La formación en este sector muestra afloramientos constituidos predominantemente por bancos de arenisca gruesa a fina, arcillolitas grises con niveles de arenisca blanca de grano fino como se puede ver en la Figura 3

**Edad Y Origen:** La posición estratigráfica de la formación corresponde al Cretácico Superior (Coniaciano–Santoniano de 88 ma), según Renzoni G. (1981) el ambiente de sedimentación es de tipo marino.

– **Formación Plaeners (Ksgp).** La formación Plaeners es uno de los miembros del Grupo Guadalupe cuya sección tipo aflora en el alto del cable al Norte de Usaquén (Sta fé de Bogotá) entre las quebradas Rosales y La vieja. El nombre le fue dado por Renzoni<sup>9</sup> en el sector Sáchica - Tunja.

**Litología.** La formación esta constituida principalmente por delgadas capas de porcelanitas, chert fracturados como panelitas, shales y arcillas. Esta formación se puede observar en sectores aislados de la vereda Cormechoque Abajo ubicada al Nor-Este de la cabecera municipal y al norte de la vereda Firaya. En las áreas ya mencionadas se pueden observar afloramientos constituidos por porcelanitas muy fracturadas de color blanco, ocasionalmente presentan óxidos y una estratificación muy delgada que oscila entre los 5- 15cm. Actualmente esta formación es aprovechada para la extracción de agregados pétreos de gran utilidad en la actividad de construcción como se puede ver en la Figura 4. La

ubicación de los sitios donde se lleva a cabo la extracción de estos materiales se puede observar en el plano Geológico.

**Edad y Origen.** La edad de la formación corresponde a Coniaciano superior y su ambiente de formación fue marino de aguas someras.

– **Formación Arenisca de Labor y Arenisca Tierna (KgsIt)** Esta formación está constituida por Shales grises oscuros con intercalaciones de arenisca y esporádicos paquetes de fosforita. Fue estudiada por Renzoni G. en la carretera Bogotá - Choachi y en la parte Occidental de Bogotá.

**Litología** En municipio esta Formación se puede encontrar en la vereda Tocavita ( Ubicada al Sur - Oeste de la cabecera municipal) en el sector denominado las lajas, allí se observa un afloramiento de esta formación constituido por areniscas blancas cuarzosas de grano fino intercaladas con algunos paquetes de arcillolitas blanco-amarillentas. La dirección de los estratos en este sector es de  $23^{\circ}$  NW, buzando  $50^{\circ}$  NE. Otro punto de afloramiento está ubicado en el sector El Alisal (vereda Firaya) en donde se observan potentes paquetes de arenisca deleznable, rojizas de grano medio, intercaladas con pequeños paquetes de arcillolitas amarillas.

**Edad y Origen:** La edad de esta formación corresponde al Maestrichtiano. Las rocas de esta formación se originaron en un ambiente marino somero con influencia deltaica.

3.1.2. Terciario (65 ma – 1,8 ma).

–**Formación Tilatá (TQt)**

Nombre propuesto por Scheibe, R en 1.992 (Piso del Tilatá). Hubach en 1.975 la denomina Tilatá, haciendo referencia a la hacienda Tilatá (área de Chocontá) localizada al norte de la Sabana de Bogotá. El área tipo se encuentra en la región de Chocontá, donde fue definida originalmente, sin embargo el corte más completo se halla en la laguna de Tequendama, límite sur de la sabana de Bogotá.

**Litología:** La descripción original que Scheibe es la siguiente: " Un conjunto de areniscas de grano grueso con lechos de cascajo, los granos de arenisca y guijarros de los lechos cascajosos consisten en cuarzo y plaeners, de modo que el cuarzo prevalece normalmente; en los lechos cascajosos sin embargo prevalecen aveces los guijarros de plaener. La arenisca friable en general, se vuelve dura por infiltración de limonitas..."

En el área de estudio esta formación se extiende en dirección Nor-Este partiendo del norte de la vereda Firaya donde se encuentra la cabecera municipal y se ensancha en la dirección ya mencionada hasta abarcar casi la totalidad de la vereda Cormechoque Abajo (ver Figura 5). A lo largo del curso del río Cormechoque la formación se encuentra cubierta por un cuaternario aluvial.

Debido a la constitución predominantemente arcillosa de la formación se generan paisajes de una morfología suave con una escasa disección del terreno.

**Edad y origen.** La edad de la formación corresponde al Plioceno tardío al Holoceno (Van de Hammen, 1.966 con base en palinomorfos).

### 3.1.3 Cuaternario (1,8 ma – 0 ma).

– **Depósitos Glaciares (Qg):** Depósitos conformados por fragmentos angulosos

cuyas caras se encuentran estriadas debido al desgaste producido por la acción glaciaria, que se encuentran por encima de los 3200 msnm.

- **Depósitos de Coluvión (Qc).** El coluvión es una acumulación de materiales, producto de la acción gravitacional, corresponde a un depósito desordenado, bien sea de bloques, de clastos o de matriz, o bien de los tres juntos. Estos materiales ruedan por una ladera una vez se han perdido la resistencia al corte. En general los trozos de roca pueden tener cualquier tamaño o forma y se depositan al pie de una ladera empinada. En el municipio se encuentran de manera dispersa depósitos de este tipo en la vereda Firaya sector el Alisal allí el depósito está constituido por bloques de grandes dimensiones cuyos tamaños oscilan entre los 0.5 m y 1 m los cuales están dispersos en la ladera sin ningún tipo de matriz que los soporte. Otro depósito coluvial es observable en la vereda San José en las amplias zonas ubicadas al Sur de la escuela San José.
  
- **Depósito de Aluvión (Qal).** Corresponde a las acumulaciones acontecidas por flujos torrenciales de las quebradas y los ríos. Las terrazas aluviales (Qal) corresponden a acumulaciones detríticas en las márgenes de las quebradas y los ríos de mayor caudal generadas en partes planas de fácil sedimentación, estos depósitos cubren las rocas y las estructuras del subsuelo; En el municipio los depósitos más extensos son de tipo torrencial. Los depósitos más grandes de este tipo se encuentran en el margen del río Cormechoque (Ver Figura 6). Los mayores aportes en el depósito se generan en época invernal, periodo en el cual las crecidas arrastran gran cantidad de materiales los cuales se depositan en el sector de menor pendiente ( valle Aluvial). En el depósito predominan cantos de areniscas blancas cuarzosas cuyos diámetros varían entre 5 cm hasta 0.4 m los cuales se encuentran embebidos en una matriz arenosa arcillosa amarilla.



## 3.2. TECTONISMO

Los principales plegamientos del municipio de Siachoque siguen un rumbo NE, al igual que los fallamientos más representativos, mostrando una dirección de esfuerzos tectónicos al NW, de común acuerdo con el choque de la Placa Suramericana con las Placas de Nazca y del Caribe, durante los últimos 22 millones de años (Mioceno – Reciente), permitiendo así el levantamiento de la Cordillera de los Andes (Orogenia Andina), y dependiendo de la cantidad de presión ejercida por el choque, la resultante de la acción de los esfuerzos tectónicos y la competencia de la roca para absorber dichos esfuerzos, se presentará en mayor o menor grado fracturamiento o trituración de los macizos rocosos, que, en cierta forma, está condicionando la estabilidad de las laderas producto del modelamiento de las rocas por los agentes erosivos.

### 3.2.1. Plegamientos.

En general, las estructuras de plegamiento, Anticlinales y Sinclinales, siguen un rumbo NE, destacándose los siguientes:

- **Sinclinal de moreno.** Ubicado en la vereda de San José el cual es tiene un eje en dirección y se extiende 1 Km. en esta dirección esta estructura afecta rocas de la formación Conejo la estructura se trunca al norte por la falla de Siachoque la cual lo intercepta en dirección 50 ° NW
- **Anticlinal de Moreno.** Esta estructura es la continuación lateral del sinclinal de moreno presenta un eje 1.250m que se extiende en dirección 40° NE afecta igualmente a rocas de la formación conejo y es truncado al Norte por al falla Siachoque la cual tiene una dirección 50 ° NW.

### 3.2.2. Fallamientos.

La falla es una rotura en las rocas a lo largo de la cual ha tenido lugar movimiento perceptible. Por lo general, asociadas a una falla, es posible encontrar una serie de fracturamientos de las rocas que disminuyen su resistencia mecánica. Los fallamientos son muy importantes ya que muestran el comportamiento de los esfuerzos tectónicos, y a la vez, las elevadas magnitudes de estos esfuerzos para romper los macizos rocosos.

- **Falla de Siachoque.** Falla Normal la cual poseen una dirección  $50^{\circ}$  NW. Se extiende 4Km a lo largo de esta dirección, la falla pone en contacto rocas de las formaciones churuvita y conejo con rocas de la formación Une y genera un control estructural a lo largo del curso del río Siachoque.
- **Falla de Cormechoque.** Falla normal Ubicada en la vereda Guaticha que pone en contacto rocas de la formación conejo con rocas de la formación Plaeners, posee una dirección  $35^{\circ}$  NE y se extiende 4.250m en esta dirección.
- **Falla Manitas.** Esta Falla se encuentra ubicada en la vereda Tocavita posee una dirección  $20^{\circ}$  NW y se extiende 1.250m en esta dirección pone en contacto rocas de la formación Plaeners con rocas de formación Tilatá lo que hace suponer su origen posterior al Cretáceo reflejando una dinámica distensiva.

### 3.3 HIDROGEOLOGÍA

Esta es una clasificación cualitativa de las rocas según la capacidad para contener agua y para permitir el flujo a través de ellas (Véase Mapa Hidrogeológico).

## **Acuíferos**

Son rocas permeables que almacenan el agua en intersticios intercomunicados, a través de los cuales el agua se mueve bajo condiciones naturales de campo.

El tamaño de los poros así como el volumen total de éstos dentro de una formación rocosa es variable, dependiendo del tipo de material principalmente. Materiales gruesos como la arena, tienen grandes espacios abiertos por donde el agua se mueve fácilmente, si están saturados se constituyen en acuíferos, rocas almacenadoras o depósitos de agua subterránea. Los acuíferos se dividen en:

**Acuíferos Confinados:** Son aquellos en los cuales el agua subterránea se halla confinada bajo presión en medio de rocas impermeables. Debido a la presión a que se encuentra, el agua en un pozo se eleva por encima de la parte superior del acuífero (nivel piezométrico en Pozos Artesianos).

**Acuíferos Libres:** Se presentan cuando la superficie del agua subterránea está en contacto con la atmósfera a través de la zona de aireación o zona no saturada.

**Acuíferos semiconfinados:** Son acuíferos que presentan una capa semipermeable en la parte superior y que se encuentran completamente saturados de agua.

Según la geología levantada para el municipio de Siachoque se han clasificado dentro del grupo de los Acuíferos las siguientes formaciones:

- Acuíferos de Alta Productividad (1a): Depósitos de Coluvión (Qc), de Aluvión (Qal), Glaciarios (Qg) y la Formación Tilatá (TQt), constituidos por gravas y arenas no consolidadas, caracterizadas por su alta porosidad y permeabilidad

propicios para la acumulación y flujo del agua.

- Acuíferos de Mediana a Alta Productividad, de extensión regional (2a): el Grupo Guadalupe (Ksgp y Ksglt) y la Formación Une (Kiu) que por estar compuestos por areniscas cuarzosas de grano fino, compactas, estratificación delgada a gruesa, con intercalaciones delgadas de limolitas silíceas y lutitas negras y por presentar fracturas y diaclasas como consecuencia de la orogenia andina, se clasifica como un acuífero con porosidad secundaria.

### **Acuitardos**

Son rocas semipermeables que a pesar de contener grandes cantidades de agua, la transmiten muy lentamente.

Como acuitardos (3a) se ha clasificado la Formación Conejo (Kscn) y la Formación Churuvita (Ksch) por estar conformada principalmente por arcillolitas, aunque cabe decir que los bancos de arenisca que la conforman se pueden comportar como acuíferos confinados.

### **Zonas de Recarga de los Acuíferos.**

Las Zonas de Recarga de los acuíferos son aquellos lugares en los cuales el agua penetra al suelo o a la superficie terrestre y queda retenida en el terreno o puede alcanzar el nivel freático. El agua desciende por la acción conjunta de las fuerzas capilares y la gravedad dando origen al agua subterránea.

Las zonas más probables para la recarga de los acuíferos del municipio de Siachoque se ubican en la Vereda Turga, la Loma El Sedral de la Vereda Firaya,

El Alto de Quilo en los Altos de la Vereda Cormechoque Arriba.

#### **4. GEOMORFOLOGÍA**

Las manifestaciones morfológicas del Municipio de Siachoque están condicionadas por la acción del clima y del paleoclima a partir del momento del levantamiento de los Andes Colombianos, especialmente desde finales del Terciario (último 3,5 millones de años).

A partir del Pleistoceno (1,8 ma) la estructura geológica es ya la definitiva y los eventos geomorfológicos actúan dejando evidencias importantes.

En municipio de Siachoque se pueden observar las siguientes unidades Geomorfológicas:

##### **4.1 COLINADA ESTRUCTURAL PLEGADA(II)**

Esta unidad se desarrolla sobre areniscas de grano medio a grueso intercaladas con arcillolitas de la Formación Conejo y arcillolitas de la Formación Bogotá, estos materiales le dan al terreno una morfología suave, con interfluvios redondeados y laderas onduladas con pendientes topográficas que oscilan entre los 0 -8<sup>0</sup> de inclinación. En general se observa un patrón de disección moderado que ha generado pequeños valles intermontanos en U lo que denota la morfología suave del sector. La unidad abarca gran parte de la vereda

denominada Turga, Oeste de la vereda Guaticha y Sur Este de la vereda Cormechoque Abajo, se puede afirmar que ésta unidad delimita algunos de los sectores más estables del municipio pues no se observaron en ésta procesos denudativos importantes, lo que no descarta del todo la posibilidad de que se desarrollen procesos erosivos o de inestabilidad debido a acciones antrópicas tales como el mal uso de la tierra, deforestación o extracciones mineras mal llevadas.

#### **4.2. UNIDAD COLINADA DENUDATIVA .(II)**

Corresponde a una zona en donde predominan las colinas y cerros con interfluvios redondeados y laderas de pendientes suaves que oscilan entre los 0 - 8° de inclinación. Esta unidad predomina en la vereda de Cormechoque Abajo y se desarrolla en rocas arcillosas pobremente disectadas. Entre los procesos morfodinámicos sobresalientes se tienen los carcavamientos y los procesos de erosión difusa y laminar. Los procesos de carcavamientos se encuentran dispersos al este de la vereda Guáticha y Nor Oeste de la vereda Cormachoque Abajo cerca de los sectores de Casa amarilla y Hacienda El Cairo, como se puede ver en el plano Geomorfológico

#### **4.3. UNIDAD DE LADERAS MEDIAS DE FORMACIÓN Y TRANSPORTE (III)**

Como el nombre de la unidad lo indica corresponde a sectores de topografía muy suave 0-4° , con formas rectilíneas, geogenéticamente desarrolladas en materiales arcillo - arenosos de la formación Tilatá, en cuanto a las condiciones de drenaje la unida se encuentra pobremente disectada lo que no le da una gran dinámica denudativa. las condiciones antes mencionadas le dan a esta unidad una condición relativamente estable. Esta unidad se encuentra restringida a una pequeña zona ubicada al norte de la Firaya y sur de la vereda

Siachoque abajo.

#### **4.4 MONTAÑOSA DENUDACIONAL (IV)**

Esta unidad se ha generado sobre sectores en los que se encuentra una intercalación de materiales duros y blandos de las formación Labor y tierna, presenta interfluvios agudos , pendientes que oscilan entre los  $8-16^0$  Laderas rectilíneas y un terreno moderadamente disectado que favorece los procesos de remoción en masa. En esta unidad predominan procesos de erosión (sector las Lajas), deslizamientos antiguos (Cerro Redondo ) y recientes ( sector del Alisal).

#### **4.5 MONTAÑOSO ESTRUCTURAL (v)**

Unidad entallada en rocas duras de las formaciones Conejo y Plaeners presenta interfluvios de morfología ondulada a semiplana y ladera rectilíneas, controladas por una tectónica intensa con pendientes topográficas que oscilan entre  $4-16^0$  la unidad en general esta moderadamente disectada y actualmente presenta una condición estable lo que no descarta la posibilidad de que en el futuro factores antrópicos desencadenen procesos de inestabilidad . La unidad abarca la parte norte de las veredas Tocavita , Firaya , San José y Cormechoque arriba como se puede ver en el mapa geomorfológico.

#### **4.6 LADERAS MEDIAS E INFERIORES FLUVIOGRAVITACIONALES (VI)**

Esta unidad se desarrolla en las partes medias y bajas de los cerros sur orientales ubicados en la vereda San José, sobre la vega y sobrevega del río Cormechoque (ver plano geomorfológico). Esta unida se caracteriza por estar bien disectada, poseer valles en V y presentar pendientes topográficas que oscilan entre los  $8-16^0$ . El fenómeno dominante en esta unidad es la

socavación lateral del cauce resultado de la dinámica fluvial, lo que le da a la zona una condición inestable.

#### **4.7 DEPOSITOS ALUVIALES (VIII)**

Estos depósitos corresponden a formas agradacionales ubicada en sectores de baja inclinación  $0-2^{\circ}$  a orillas de los ríos Cormechoque en la vereda de Cormechoque abajo y el río Tocavita ubicado en la vereda Turga como lo muestra el mapa geomorfológico. Estos depósitos están constituidos por cantos de diversos tamaños desde 0.1 hasta 0.5m su composición es generalmente arenisca y se encuentran embebidos en una matriz arcillosa.

#### **4.8. DEPOSITOS COLUVIALES (IX)**

Este tipo de depósito se encuentra disperso en el área de Siachoque así: sector denominado el Alisal, cerca a la quebrada el Encenillo y sectores aislados de la vereda de Cormechoque abajo, como lo muestra el mapa geomorfológico. En general estos depósitos presentan bloques angulosos cuyos tamaños oscilan entre los 0.20-0.8m constituidos predominantemente por areniscas, los bloques le dan al terreno sobre el cual yacen una topografía irregular cuya pendiente topográfica generalmente no excede los  $25^{\circ}$  de inclinación en general los materiales constitutivos proceden de sectores con un gradiente topográfico mayor de donde se han desprendido. Este tipo de depósito presenta algunos problemas de estabilidad generados por la sobre carga que adquieren los materiales in-situ sobre todo en depósitos coluviales localizados en sectores con pendientes topográficas mayores de  $16^{\circ}$ .

#### **4.9 DEPOSITOS DE ORIGEN GLACIAR (X)**

Corresponden a depósitos de fragmentos angulosos cuyo tamaño varían desde unos cuantos centímetros hasta grandes bloques angulosos cuyas caras



se encuentran estiradas que denotan el desgaste de los bloques por acción glaciár, algunos sectores también muestran depósitos de Tilitá constituidos por fragmentos angulosos mezclados con material arenoso, este tipo de depósito se encuentra en sectores aislados ubicados por encima de los 3.200 m.s.n.m. en la vereda San José.

### **CUENCAS HIDROGRÁFICAS**

Según la Ley de Playfair (1.802), “cada río consiste en un tronco principal alimentado por una serie de ramas cada una de las cuales discurre por un valle proporcionado a su tamaño y todos ellos juntos forma un sistema de valles conectados unos a otros y con un ajuste tan perfecto de sus declives que ninguno de ellos se une al valle principal a un nivel demasiado alto ni demasiado bajo, hecho que sería completamente improbable si cada uno de estos valles no fuese el producto del trabajo de excavación de los ríos que corren por él”.<sup>2</sup>

Las microcuencas que conforman el Municipio de Siachoque se pueden dividir así como se muestra a continuación, según el tamaño de las cuencas y su importancia regional (véase Mapa de Microcuencas):

Las condiciones actuales de uso del suelo han ocasionado que el agua sea cada vez más escasa como consecuencia de la presión antrópica hacia los recursos naturales; esto se refleja especialmente hacia los Municipios de Tunja, Chivatá y Oicatá manifestando en cierta forma las condiciones climáticas secas. Se debe potenciar entonces la utilización del agua subterránea como alternativa para la solución de abastecimiento de agua especialmente para las temporadas de sequía.

---

<sup>2</sup> Revista Cartográfica N° 60. Julio – Diciembre de 1.991. Instituto Panamericano de Geografía e Historia.

<i>Gran Cuenca</i>	<i>Cuenca</i>	<i>Subcuenca</i>	<i>Microcuenca</i>	<i>Área *</i> (Ha)	<i>Porcentaje de Área *</i>
Río Magdalena	Río Chicamoocha	Río Cormechoque o Río Toca	Río Siachoque	5610,1	46%
			Río Tocavita	2229,7	18%
			Quebrada Fiaría	1910,3	16%
			Quebrada Las Ánimas	370,0	3%
		<i>Río Pesca</i>		44,9	0,4%
Río Orinoco	Río Meta	Río Jenesano*		–	–
		Río Lengupá*		–	–

\* Área fuera del municipio

Fuente: datos de estudio.

– **Parámetros morfométricos de las microcuencas:** De acuerdo con base topográfica se han medido los parámetros de cada microcuenca (como lo muestra la siguiente tabla) que indican la susceptibilidad a la ocurrencia de avenidas torrenciales:

Parámetro	Ecuación	Microcuenca			
		Río Siachoque	Río Tocavita	Qda. Firaya	Qda. Las Ánimas
ÁREA DE LA CUENCA (Km <sup>2</sup> )	A	56.101	22.297	19.103	3.700
ÁREA DE LA CUENCA (Ha)	A	5610.1	2229.7	1910.3	370.0
PERÍMETRO DE LA CUENCA (Km)	P	34.454	30.417	21.787	11.043
Longitud de la corriente principal (Km)	Lb	23.277	11.345	11.431	3.147
Diámetro (Km)	D	8.452	5.328	4.932	2.171
Razón de Elongación $R = \frac{P}{Lb}$		0.363	0.470	0.431	0.690
Factor de Forma $F = \frac{A}{Lb^2}$		0.104	0.173	0.146	0.374
Amplitud de la Cuenca (Km) $W = \frac{A}{Lb}$		2.410	1.965	1.671	1.176
Coefficiente de Compacidad $C_c = \frac{P}{2 \times \sqrt{A \times \pi}}$		4.077	5.709	4.418	5.088
Coefficiente de Redondez $K_r = \frac{Lb^2}{4A}$		2.414	1.443	1.710	0.669
Cota Máxima de la Cuenca (Km)	Hm	3.800	3.450	3.500	3.250
Cota Mínima de la Cuenca (Km)	Hn	1.700	2.750	2.750	2.750

Parámetro	Ecuación	Microcuenca			
		Río Siachoque	Río Tocavita	Qda. Firaya	Qda. Las Ánimas
Diferencia de Altura (Km)	$H_c = H_m - H_n$	2.100	0.700	0.750	0.500
Razón de Relieve	$\frac{H_c}{L_b}$	0.090	0.062	0.066	0.159
Longitud acumulada de las corrientes (Km)	Ld	118.492	29.910	37.500	5.120
Densidad de Drenaje (Km/Km <sup>2</sup> )	$\frac{L_d}{A}$	2.112	1.341	1.963	1.384
Número de Corrientes	Nc	96.000	18.000	36.000	2.000
Frecuencia de Corrientes (Km <sup>-2</sup> )	$\frac{N_c}{A}$	1.711	0.807	1.885	0.540
Tiempo de Concentración	$0.0663 \left( \frac{L_b}{\sqrt{A}} \right)^{0.07}$	4.307	4.230	4.255	4.117
Pendiente media de la Corriente (%)	$\frac{H_c}{L_b}$	9.022	6.170	6.561	15.890
Ancho mayor de la cuenca	l	3.631	8.495	8.495	8.495
Índice de Alargamiento	$\frac{L_b}{l}$	6.410	1.335	1.346	0.370
Superficie de un rectángulo		84.525	96.370	97.102	26.729
Índice de Homogeneidad	$\frac{A}{A_z}$	0.664	0.231	0.197	0.138

Parámetro	Ecuación	Microcuenca			
		Río Siachoque	Río Tocavita	Qda. Firaya	Qda. Las Ánimas
Tiempo de Concentración $T_c = 0.0098 \left( \frac{Lb^3}{Hc} \right)^{0.385}$		113.443	75.501	74.168	19.540
Tiempo de Concentración		42.449	25.017	24.444	4.324
Tiempo de Concentración en minutos $T_c = 60 \times \left( \frac{Lb^{1.15}}{Hc^{0.38}} \right)$ (Thames 1976)		112.611	74.805	73.507	19.452
Tiempo de Concentración $T_c = \left( \frac{Lb}{\sqrt{A}} \right)^{0.07}$		4.307	4.230	4.255	4.117

Fuente: Datos de Estudio.

- **Microcuenca Río Siachoque:** Es una cuenca alargada ( $Re < 1$ ), semirredonda ( $K > 1$ ), ovalada ( $Rf < 0,8$ ), semicompacta rectángulo-oblonga ( $C > 1$ ), con tiempo de concentración de la esorrentía normal a lento ( $W > 1$ ) siendo variable en cada punto de la cuenca, pero con un valor máximo de 112,61 minutos. El cauce principal tiene una pendiente máxima promedio de 9,02%. En general, la cuenca tiene una densidad de drenaje media, determinándose así una limitada eficiencia de descarga. Ya que el índice de homogeneidad  $Ih \neq 1$ , la cuenca se considera rectangular y, por consiguiente, su torrencialidad es de baja a media. Por todo esto, la cuenca muestra poca probabilidad de sufrir eventos de inundaciones y/o torrencialidad. La depositación es equivalente al socavamiento, y debido a su razón de relieve ( $Rr = 0,09$ ) la cuenca tiene baja pérdida de sedimentos. Sin embargo, en caso de un evento de gran precipitación de corta duración, se pueden presentar crecidas o avenidas torrenciales.
  
- **Microcuenca Río Tocavita:** Es una cuenca alargada ( $Re < 1$ ), semirredonda ( $K > 1$ ), ovalada ( $Rf < 0,8$ ), semicompacta rectángulo-oblonga ( $C > 1$ ), con tiempo de concentración de la esorrentía normal a lento ( $W > 1$ ) siendo variable en cada punto de la cuenca, pero con un valor máximo de 74,81 minutos. El cauce principal tiene una pendiente máxima promedio de 6,17%. En general, la cuenca tiene una densidad de drenaje baja con una defectuosa eficiencia de descarga. Por tener un Índice de Homogeneidad  $Ih \neq 1$  la cuenca se considera rectangular con una torrencialidad media. Debido a su baja densidad de drenaje es poco eficiente para descargar las aguas; por consiguiente su torrencialidad tiende a ser elevada.
  
- **Microcuenca de la Quebrada Firaya:** Es una cuenca alargada ( $Re < 1$ ), semirredonda ( $K > 1$ ), ovalada ( $Rf < 0,8$ ), semicompacta rectángulo-oblonga ( $C > 1$ ), con tiempo de concentración de la esorrentía normal a lento ( $W > 1$ )

siendo variable en cada punto de la cuenca, pero con un valor máximo de 73,51 minutos. El cauce principal tiene una pendiente máxima promedio de 6,56%. En general, la cuenca tiene una densidad de drenaje media, determinándose así una limitada eficiencia de descarga. Por tener un Índice de Homogeneidad  $I_h \neq 1$  la cuenca se considera rectangular con una torrencialidad media.

- **Microcuenca de la Quebrada Las Ánimas:** Es una cuenca alargada ( $Re < 1$ ), irregular ( $K < 1$ ), ovalada ( $Rf < 0,8$ ), semicomcompacta rectángulo-oblonga ( $C > 1$ ), con tiempo de concentración de la escorrentía rápido siendo variable en cada punto de la cuenca, pero con un valor máximo de 19,45 minutos. El cauce principal tiene una pendiente máxima promedio de 15,84%. En general, la cuenca tiene una densidad de drenaje baja con una eficiencia de descarga limitada. Por tener un Índice de Homogeneidad  $I_h \neq 1$  la cuenca se considera rectangular. Debido a su baja densidad de drenaje y a la alta pendiente de su cauce principal, así como el corto tiempo de concentración de la escorrentía, su torrencialidad tiende a ser elevada.

## 5. AMENAZAS GEOLÓGICAS

### 5.1. METODOLOGIA PARA LA EVALUACION DE AMENAZAS GEOLOGICAS

Para evaluar las amenazas por movimientos en masa, socavación y demás procesos denudativos que pudiesen constituir un tipo de amenaza se tuvieron en cuenta criterios tomados de la metodología utilizada por la Unidad de Atención y Prevención de Desastres de Cundinamarca para la Evaluación Ambiental de Amenazas naturales en este departamento. La metodología se basa en un análisis estadístico que busca establecer la distribución de frecuencia relativa o porcentual de cada tipo de amenaza frente a cada una de las variables contempladas, obteniéndose así una distribución de probabilidad empírica en la cual las probabilidades se reemplazan por frecuencias relativas. Para tal fin se tuvieron en cuenta las siguientes variables ambientales: Pendientes topográficas, rangos de precipitación hídrica, litología, orden de las cuencas hidrográficas y pendientes medias de los cauces fueron codificadas y cartografiadas a fin de lograr la valoración antes planteada en la metodología. En cuanto a las amenazas se tuvieron en cuenta los siguientes procesos:

- Deslizamientos (D)
- Procesos erosivos severos (E)
- Socavamiento (S)
- \_ Reptación o Solifluxión ( R)
- \_ Inundaciones (I)
- \_ Carcavamientos ( C )

### 5.2 EVALUACIÓN DE EVENTOS



A partir del análisis planteado se procedió a establecer la distribución porcentual en rangos definidos como alta media y baja frecuencia para lo cual se realizó una extrapolación de probabilidad de ocurrencia de los fenómenos, a las áreas definidas a través de la integración temática de las variables contempladas, cuya representación se puede observar en el plano de susceptibilidad ambiental a la ocurrencia de amenazas geológicas. Para obtener los rangos de alta, media y baja frecuencia se estableció el promedio aritmético como medida de centralización o valor típico promedio de los valores y la desviación estándar o típica, como medida de dispersión o variación alrededor del promedio, esta nos proporciona un mínimo de 50% de confiabilidad en el análisis.

### **5.3 ANÁLISIS DE GRADOS DE SUSCEPTIBILIDAD AMBIENTAL A LA OCURRENCIA DE AMENAZAS GEOLÓGICAS.**

Para establecer las zonas de susceptibilidad ambiental a la ocurrencia de amenazas se tuvo en cuenta los siguientes aspectos:

1. Definición de áreas con influencia glaciar debido a que estas áreas son consideradas aparentemente estables luego no presentan fenómenos de carácter amenazante. Estas áreas fueron delimitadas aproximadamente en el plano geomorfológico.
2. Utilización de cinco variables ambientales a saber. Precipitación, Litología, pendiente del terreno, ordenes 2,3 de cuencas de drenaje, pendiente media del causes de las cuencas contempladas.
3. Establecimiento de tres rangos para cada variable ambiental (alto, medio y bajo) de acuerdo con la frecuencia de amenazas ocurridas frente a cada una de ellas (análisis estadístico).
4. Selección de las variables ambientales teniendo en cuenta los criterios geológicos más ampliamente identificados como factores detonantes de amenazas naturales. A cada una de estas se adjudicó igual importancia o peso.

## 5.4. EVALUACION AMBIENTAL DE AMENAZAS

La superposición de los análisis de frecuencia obtenidos frente a cada variable permitió la delimitación espacial de las zonas de alta, media y baja frecuencia.

A continuación se muestra los resultados obtenidos mediante la aplicación de los procedimientos antes descritos.

### 5.4.1. Localización.

Mediante las visitas de campo y fotointerpretación se identificaron 24 sectores afectados por amenazas. Estos se sometieron al análisis de frecuencia encontrándose que los procesos de reptación son la amenaza más frecuente seguida de procesos como carcavamientos, calvas de erosión y erosión concentrada, socavación y finalmente deslizamientos como se puede observar en la TABLA 1 la cual nos muestra la proporción de cada una de ellas frente al número total de amenazas registradas.

**TABLA 1. Numero de amenazas localizadas**

TIPO DE AMENAZA	NUMERO	PORCENTAJE
Deslizamiento (D)	2	8.330
Socavamiento (S)	3	12.5
Erosión (E)	6	16.66
Reptación ( R)	7	33.33
Carcavamiento (C)	5	19.04
Inundación (I)	3	14.28
<i>Total</i>	24	100%

Fuente resultado del estudio

### 5.4.2. Variables Ambientales.

- **Precipitación.** Para evaluar esta variable se realizó el Plano de Isoyetas y posteriormente se establecieron los rangos de precipitación teniendo en cuenta intervalos de precipitación cada 50mm. La realización del plano de isoyetas permite determinar que los valores precipitación para el municipio

varían entre los ( 750- 1050) mm de precipitación.

Según el análisis de frecuencia se encontró que la mayor cantidad de amenazas se concentran en el sector que comprende el intervalo de precipitación entre los (750m y 850) mm. Sin embargo algunos procesos como los deslizamientos y sectores afectados por socavación se concentran en áreas con valores de precipitación entre los (800-1000)mm lo que nos indica que particularmente en estos dos tipos de amenazas la precipitación tiene una relación directa como agente detonantes en la ocurrencia de estas.

En el intervalo comprendido entre los (800-1000)mm se presentan con menor frecuencia procesos de erosión, y socavamiento lo que constituye un rango de precipitación con frecuencia media a la ocurrencia de este tipo de amenazas . Las zonas que no presentan ningún tipo de amenaza se concentran en los sectores comprendidos con intervalos de precipitación <800mm . En general la elaboración del mapa de isoyetas deja ver que la precipitación aumenta hacia el Sur Este de la región mas sin embargo no hay una concentración de amenazas en este sector. Como se puede ver la frecuencia de las amenazas contempladas frente a los rangos establecidos no son directamente proporcionales como se esperaba por tanto se puede inferir que hay otras variables ambientales que interactúan en los procesos denudativos que constituyen amenaza en el municipio .

**Tabla 2 Distribución de Amenazas con relación a la Precipitación**

PRECIPITACION(mm/año)	RANGOS DE DISTRIBUCION DE FRECUENCIA		
	ALTO	MEDIO	BAJO
Deslizamientos	800-900	-----	<800,<900
Socavamiento	900-1000	900-850	<850,>1000
Erosión	800-750	800-900	>900

Reptación	750-800	-----	>850
Carcavamientos	800-750	800-850	>850
Inundación	800-750	-----	>800

Fuente : resultados del estudio

**Tabla 3 Distribución Porcentual de Amenazas**

RANGOS DE PRECIPITACION (mm/anual)	D	S	E	R	C	I
800-750	0	0	66,66	42,85	80	100
800-850	50	0	16,66	42,85	20	0
850-900	50	33,33	16,66	0	0	0
900-1000	0	66,66	0	0	0	0
>1000	0	0	0	0	0	0
PROMEDIO	25	24,9975	24,995	21,425	25	20
DESVIACION ESTANDAR	27,38612788	29,81125828	27,38369369	23,46991159	34,64101615	44,72135955
PROMEDIO + DESVIACION ESTANDAR	52,3862	54,8085	52,3786937	44,8949	59,64	64,72135955
PROMEDIO - DESVIACION ESTANDAR	-2,3861	-4,8137	-2,3841	-2,041	-9,65	-24,72

Fuente resultados del estudio

**Geología.** En la región como ya se describió anteriormente afloran rocas de edad cretácea, terciaria y depósitos recientes. La variedad litológica de las rocas y depósitos supone diversas composiciones y propiedades físicas que redundan en una mayor o menos susceptibilidad a presentar amenazas. De los análisis realizados en el municipio en general se puede determinar que las formaciones en donde se mayor numero de amenazas se registran son las formaciones Labor y Tierna (Ksglt) , Plaeners (Ksgp) , Tilatá (TQt) , Conejo (Kscn) y en los depósitos cuaternarios aluviales (Qal) en donde se concentran exclusivamente los procesos de inundación, el análisis geoestadístico deja ver que los procesos de erosivos laminar y de carcavamiento se concentran con mayor frecuencia en sectores donde se encuentran formaciones de composición arcillosa como la Tilatá y algunos niveles de la formación Conejo (Kscn) y Plaeners (Ksgp) (Ver Tabla 5.4 y 5.5), en cuanto a los deslizamientos éstos se concentran con mayor frecuencia en sectores donde afloran alternos materiales duros y blandos como se puede

observar en algunos niveles de la formaciones Labor y Tierna (Ksglt) y alguno niveles Plaeners (Ksgp) (ver plano geológico, de susceptibilidad de amenazas y la figura 7) , Se pude establecer también que los sectores en donde no se registra ningún tipo de amenaza se restringen a los áreas donde afloran las formaciones Une (Kiu) y Churuvita (Ksch), sobre las cuales se dan han generado remanentes de modelado glaciar lo que le da al sector sur este del municipio un condición relativamente estable lo que no descarta que factores antrópicos puedan modificar esta condición.

**Tabla 4. Distribución De Amenazas Con Relación A La Precipitación**

FORMACIONES GEOLOGICAS	RANGOS DE DISTRIBUCION DE FRECUENCIA		
	ALTO	MEDIO	BAJO
Deslizamientos	Ksgp, Ksglt	-----	Qal, Qc ,TQt, Kscn, Ksch y Kiu
Socavamiento	Kscn	-----	Qal,Qc,TQt, Ksch, Kiu
Erosión	Ksglt,Kscn	TQt, Ksgp	Qal, Qc ,TQt,Ksch, Kiu,
Reptación	Ksgp,Ksglt	Qc, Kscn	Qal, TQt,Ksch, Kiu
Carcavamiento	TQt,Kscn	-----	Qal,Qc , Ksgp, Ksglt, Ksch y Kiu
Inundaciones	Qal	-----	Qc, TQt, Ksgp,Ksglt, Kscn, Ksch y Kiu

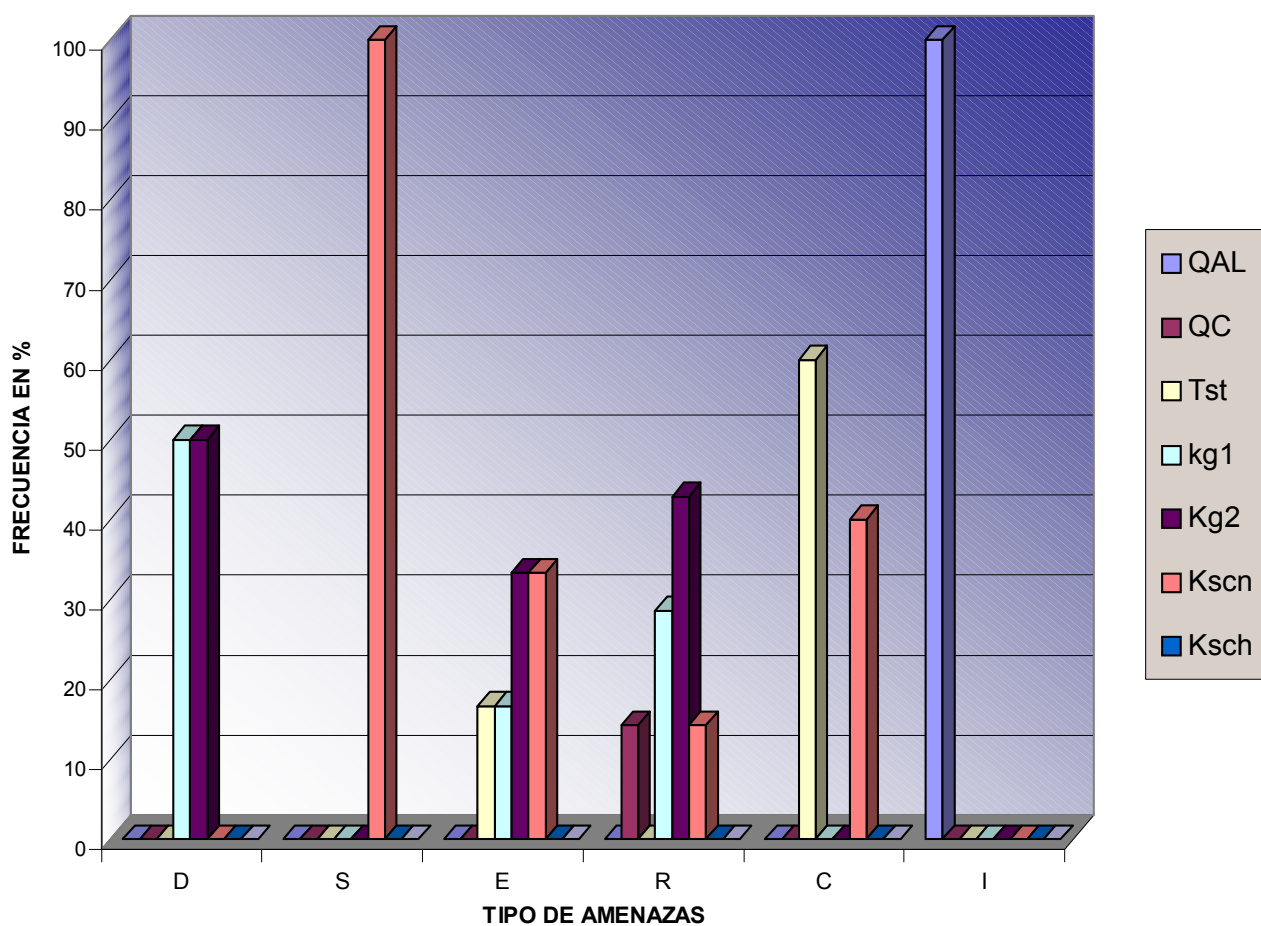
Fuente Resultados Del Estudio

**Tabla 5. Distribución Porcentual De Frecuencia Con Relación A Las Formaciones Geológicas.**

FORMACIONES GEOLOGICAS	D	S	E	R	C	I
Qal	0	0	0	0	0	100
Qc	0	0	0	14,28	0	0
TQt	0	0	17	0	60	0
Ksglt	50	0	16,66	28,57	0	0
Ksgp	50	0	33,33	42,85	0	0

Kscn	0	100	33,33	14,28	40	0
Ksch	0	0	0	0	0	0
Kiu	0	0	0	0	0	0
PROMEDIO	12,5	12,5	12,4975	12,4975	12,5	12,5
DESVIACION ESTANDAR	23,14550249	35,35533906	14,77154093	16,08328391	23,75469878	35,35533906
PROMEDIO + DESVIACION ESTANDAR	35,64550249	47,85533906	27,26904093	28,58078391	36,25469878	47,85533914
PROMEDIO - DESVIACION ESTANDAR	-10,6455	-22,85	-2,2274	-3,5857	-11,25	-22,8553

FIGURA 7. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE AMENAZAS/VARIABLE GEOLOGIA



➤ Cuencas según orden de drenaje.

El análisis estadístico en relación con cuencas, se hizo a partir del cálculo de distribución de frecuencia de la ocurrencia de fenómenos amenazantes, tanto en las cuencas caracterizadas de acuerdo con el orden de drenaje que dio lugar a su delimitación, como en la pendiente media de la cuenca (medida morfométrica tomada en cuenta). Durante la caracterización de las cuencas se pudo establecer que predominan en el municipio cuencas de orden 2 y 1 lo que le da a la región una gran dinámica en la evolución del paisaje y una moderada capacidad erosiva sobre todo en la parte Nor - Orinetal y centro oriental del municipio en donde predominan cuencas de orden 2. De los análisis de frecuencia (ver Tabla 6 y 7) se puede establecer que con mayor frecuencia las amenazas observadas en el municipio se concentran en cuencas de tipo 2, sin embargo las amenazas por inundación y socavación se dan con mayor frecuencia en cuencas de tipo 3. En cuanto a los procesos de erosión estos dan de manera generalizada en cuencas tipo 1 esto sin ser la amenaza más frecuente en el municipio pues con relación a los otros tipos de amenazas, los procesos erosivos representan el 16.6 % de los casos registrados como se puede ver en la tabla 7. En cuanto los procesos de reptación y cárcavamientos se pueden observar que estos se dan con menor frecuencia en cuencas de tipo 1. En general se puede establecer que realmente no hay un comportamiento proporcionalmente relacionado con el mayor o menor orden de las cuencas pues la disección del terreno se conjuga con otras variables ambientales para generar los diversos tipos de amenaza contempladas en este estudio. Sin embargo del análisis se puede establecer como se dijo antes hay una mayor concentración de amenazas en cuencas de tipo 2

**Tabla 6. Distribución de Amenazas con relación al orden de las cuencas**

ORDEN DE LAS CUENCAS	RANGOS DE DISTRIBUCION DE FRECUENCIA		
	ALTO	MEDIO	BAJO
Deslizamientos	2	-----	1,4
Socavación	3	---	1,2,4
Erosión	1	2,3	4
Reptación	2	1	3,4
Carcavamiento	2	1	3,4
Inundación	3,4	-----	1,2

Fuente : resultados del estudio

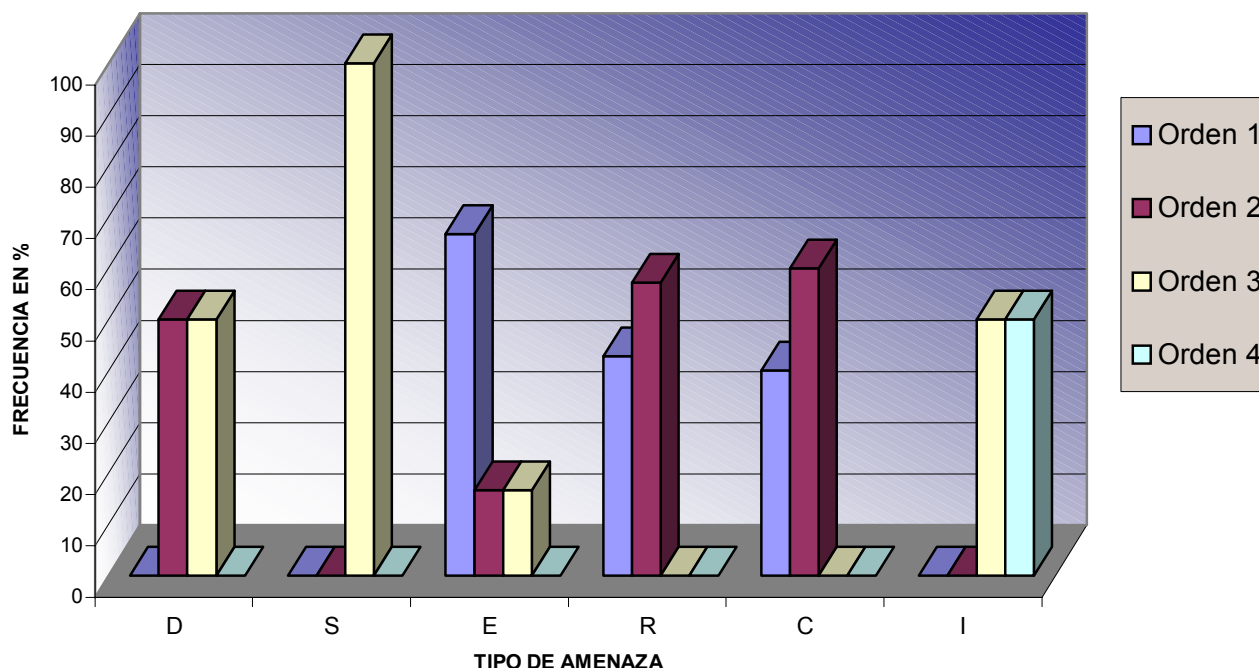
**TABLA 7. Distribución porcentual de frecuencia con relación al orden de las cuencas**

ORDEN DE CUENCA	D	S	E	R	C	I
1	0	0	66,66	42,85	40	0
2	50	0	16,66	57,14	60	0
3	50	100	16,66	0	0	50
4	0	0	0	0	0	50
PROMEDIO	25	25	24,995	24,9975	25	25
DESVIACION ESTANDAR	28,86751346	50	28,86558909	29,44827145	30	28,86751346
PROMEDIO + DESVIACION ESTANDAR	53,86	75	53,86	54,43	55	53,86751346
PROMEDIO - DESVIACION ESTANDAR	-3,8675	-25	-3,8705	-4,45077	-5	-3,86

Fuente resultados del estudio



**FIGURA 8. DISTRIBUCION PORCENTUAL DE AMENAZAS /VARIABLE ORDEN DE LA CUENCA**



➤ **Pendientes medias de los cauces.**

A pesar de que los resultados del análisis de frecuencia para las cuencas dieron como resultado una mayor frecuencia de amenazas en cuencas de orden 2 no se quiso dejar de lado el análisis de la pendiente media de los cauces en las cuencas de orden 1, 3 y 4 logrando así un cubrimiento total de las amenazas registradas. De acuerdo a los resultados obtenidos (Véase Tablas 8 y 9 y Figura 9) se pudo establecer que los procesos de socavamiento y reptación se presenta con mayor frecuencia en cuenca con pendientes medias del cauce terreno que oscilan entre los 0-12% en tanto que los procesos de erosión, carcavamientos y deslizamientos son más frecuentes en áreas con

son rasgos de pendientes medias en su cauce de 12-35%, concentrándose un mayor número de amenazas en este rango de pendiente media del Cauce, Esto no implica que en otros rangos de pendiente media del cauce no se concentren como lo muestra la Tabla 8 en donde es posible observar como se presentan con menor frecuencia procesos de erosión laminar y cárcavamientos en sectores con pendientes medias de los cauces que <12% lo que indica que los procesos generados se dan también en sectores relativamente de morfología suave en donde son comunes los valles amplios.

**Tabla 8. Distribución De Amenazas con relación a la Pendiente Media Del Cauce**

PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE	DISTRIBUCION DE AMENAZAS		
	ALTO	MEDIO	BAJO
Deslizamiento	12%-35%	-----	<12%, <35%
Socavamiento	<12%	-----	>12%
Erosión	12-35%	<12%	>35%
Reptación	<12%	12-35%	>35%
Carcavamiento	12-35%	<12%	>35%
Inundaciones	<12%	-----	>12%

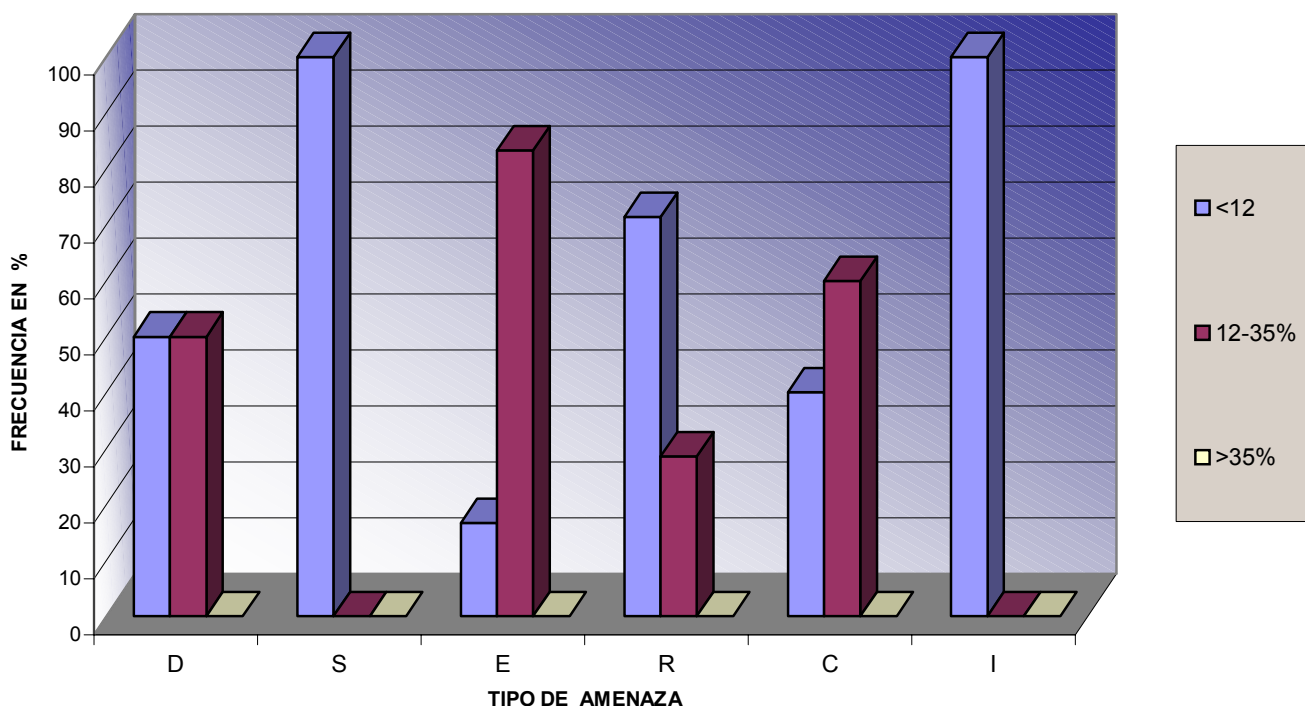
Fuente resultados del estudio

**TABLA 9. Distribución porcentual de frecuencia con relación a la pendiente media del cauce.**

PENDIENTE MEDIA DE CAUSE	D	S	E	R	C	I
<12	50	100	16,66	71,42	40	100
12-35%	50	0	83,33	28,57	60	0
>35%	0	0	0	0	0	0
PROMEDIO	33,333333	33,333333	33,33	33,33	33,333333	33,333333
DESVIACION ESTANDAR	28,8675134	57,7350269	44,0952253	35,9471459	30,5505046	57,7350269
PROMEDIO + DESVIACION ESTANDAR	62,2	91,068	77,4282	69,28	63,88	91,0683602
PROMEDIO - DESVIACION ESTANDAR	44,47	-24,407	-10,76	-2,617	2,778	-24,39

Fuente resultados del estudio

**FIGURA 9. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE AMENAZAS / VARIABLE PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE**



➤ **Pendiente del Terreno.** Para establecer la frecuencia de las amenazas frente a este aspecto se establecieron una serie de rangos de pendiente basados en los rangos de pendientes establecidos por Van Zuidam (1.988) los cuales sirvieron como marco de referencia para realizar el mapa de pendientes, éste permitió tener una visión aproximada de la topografía del Municipio, posterior a este procedimiento (ya explicado en otro aparte de este texto) se procedió a establecer la frecuencia de las amenazas frente a cada uno de los rangos de pendientes tenidos en cuenta (Véase Tabla 10 y Figura No 10) que se dan con mayor frecuencia los procesos de deslizamientos, socavación y erosión laminar y en surcos en sectores con pendientes del terreno que oscilan entre 8-16<sup>0</sup>, mientras que los procesos de cárcavamientos, reptación e

inundaciones se presentan en sectores con pendientes inferiores al  $8^{\circ}$  de inclinación, sin embargo estos mismos procesos se dan pero con menor frecuencia en sectores con rangos de pendiente entre los  $8-16^{\circ}$ . Los resultados en general muestran que los sectores más empinados del municipio se tienen una baja dinámica denudativa prevaleciendo en estos paisajes estructurales o modelados glaciares que le han dado a la parte sur oriental del municipio una relativa estabilidad, lo que no descarta como se ha mencionado en otros apartes del texto que las condiciones de estabilidad cambien debido a factores de origen antrópico (como deforestación y mal uso del suelo) en un momento dado podrían generar procesos de inestabilidad.

**TABLA 10. Distribución de amenazas con respecto a la pendiente media del Terreno**

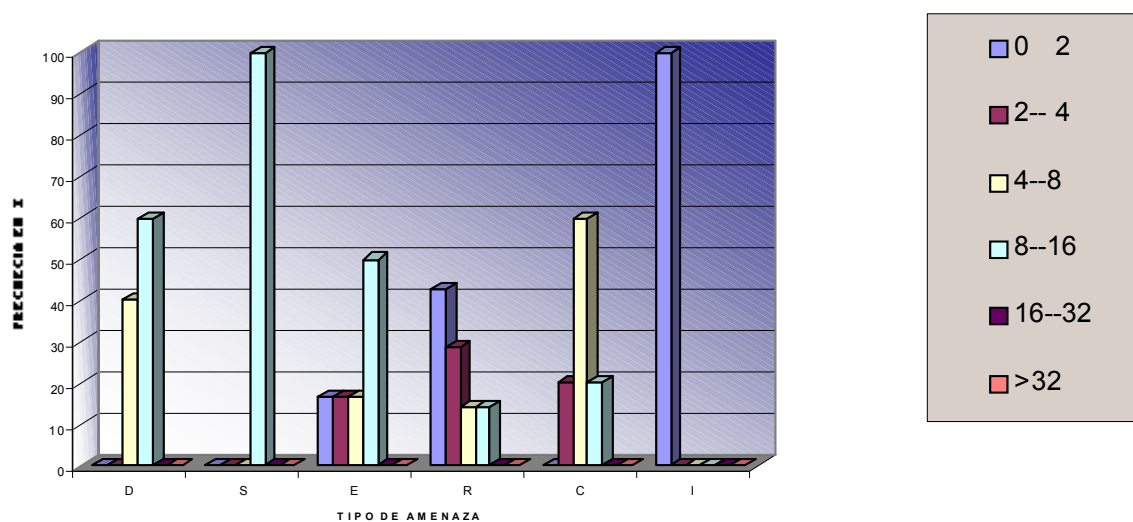
PENDIENTE	DISTRIBUCION DE AMENAZAS		
	ALTO	MEDIO	BAJO
Deslizamiento	$8-16^{\circ}$	-----	$<4, >16^{\circ}$
Socavamiento	$8-16^{\circ}$	-----	$<8^{\circ}, > 16^{\circ}$
Erosión laminar	$8-16^{\circ}$	$0-8^{\circ}$	$>16^{\circ}$
Reptación	$0-4^{\circ}$	$4-16^{\circ}$	$>16^{\circ}$
Carcavamientos	$4-8^{\circ}$	$0-4^{\circ}, 8-16^{\circ}$	$>16^{\circ}$
Inundaciones	$0-4^{\circ}$	-----	$>4^{\circ}$

Fuente resultados del estudio

**TABLA 11. Distribución porcentual de frecuencia de amenazas variable pendiente del terreno**

PENDIENTE DEL TERRENO	D	S	E	R	C	I
0-2°	0	0	16,66	42,85	0	100
2-4°	0	0	16,66	28,57	20	0
4-8°	40	0	16,66	14,28	60	0
8-16°	60	100	50	14,28	20	0
16-32°	0	0	0	0	0	0
>32°	0	0	0	0	0	0
PROMEDIO	16,66666	16,66666	16,66333	16,6633	16,66666	16,66666
DESVIACION ESTANDAR	26,58320	40,82482	18,25741	16,69852	23,38090	40,82482
PROMEDIO + DESVIACION ESTANDAR	43,24986	57,49149	34,92075	33,36186	40,04757	57,49149
PROMEDIO - DESVIACION ESTANDAR	-9,92	-24,164	-1,58	-0,0267	-6,71	-24,154

**FIGURA 10 DISTRIBUCION PORCENTUAL DE AMENAZAS/VARIABLE PENDIENTE DEL TERRENO**



fuentes resultados del estudio

## 5.5 OCURRENCIA DE AMENAZAS

De la metodología adoptada se establecieron tres rangos de frecuencia que representan tres grados de susceptibilidad (alto, medio y bajo) a presentar una amenaza. Las características de cada uno de los sectores Tipificados dentro de los rangos antes descritos se muestran en la Tabla 12 y tienen su representación espacial en el Plano de susceptibilidad ambiental a la ocurrencia de amenazas.

Las zonas de baja susceptibilidad se ubican principalmente en zonas en donde por la naturaleza de las rocas, las condiciones climáticas y morfométricas no se registran procesos de inestabilidad como es el caso del sector sur Este de la vereda San José, Sur oeste de la vereda Tocavita en la totalidad de la vereda de Turga y Tocavita y al Sur Este de la vereda Cormechoque arriba en donde casi no fueron registradas amenazas o el número de casos reportados estuvo por debajo del rango preestablecido como amenaza media.

Las zonas de susceptibilidad moderada a presentar amenazas registran todo tipo de amenazas pero las bajas frecuencias de ocurrencia de éstas han permitido establecer que se trata de sectores en donde los fenómenos no presenta tendencia a propagarse. Los sectores que corresponden a este tipo de susceptibilidad se concentran en la totalidad de la vereda Cormechoque Abajo y vereda Siachoque en donde se presentan casos aislados de sectores afectados por cárcavamientos, reptación o erosión cerca al sector de la hacienda el Cairo, como también en un sector aledaño al escuela Juan Bosco.

Los sectores caracterizados como dentro del rango de alta susceptibilidad a presentar amenazas se encuentran concentrados en al norte de las veredas de Tocavita (sector el alisal), Firaya (sector las lajas) y la vereda Guaticha en donde se tiene un gran número de amenazas (sobre todo cárcavamientos,

reptación y erosión laminar ), Otro sector que esta clasificado dentro del rango del alta susceptibilidad a presentar amenazas una zona ubicada cerca de la escuela de San José en donde de manera generalizada es posible observar procesos de socavación. De manera general se puede establecer que todos los procesos registrados en estas zonas presentan una tendencia a propagar las amenazas allí registradas. De las áreas que poseen un alto grado de susceptibilidad a presentar amenaza el sector que presenta las peores condiciones de estabilidad debido a la naturaleza de los procesos registrados allí es el sector el Alisal.

**TABLA 12. Generalización del grado de susceptibilidad Ambiental a la ocurrencia de Amenazas en el Municipio de Siachoque .**

VARIABLE	GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD		
	ALTO	MEDIO	BAJO
Precipitación	(750-800) mm	(850-900)mm	<750
Orden de la cuenca	2	3	1,4
Pendiente media del cauce	12-35%,	<12%	>35%
Formación Geológica	Ksglt,Ksgp	TQt, Kscn, Qc, Qal	Ksch , Kiu
Pendiente topográfica	8-16%	0-8%	>16%

## 5.6. DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS CRÍTICAS

### 5.6.1 Sector de EL Alisal .

El área de El Alisal entre las coordenadas: X= 1.098.000- 1.098.500 y Y= 1.117.500 - 1.118.800 ubicado sobre los predios de los señores Luis Farías Ávila, Carmelo García y Crisanta Cruz se observo un deslizamiento que ocupa un área aproximada de 0.650Km<sup>2</sup> la corona del deslizamiento se encuentra ubicada sobre la cota 3.050 y su pata o base se extiende hasta los 2850 m.s.n.m lo que le da una diferencia de altura al terreno inestable de 200 m, la

pendiente media del sector de la corona es de 40%. El volumen de material que involucra es de aproximadamente 3.380 Tn (Véase Figura 5.6 a,b). se trata de un deslizamiento complejo que ha sufrido constantes reactivaciones sobre todo en inviernos intensos, según los habitantes del sector el proceso se inició hace 15 años y su última reactivación se dio en junio de este año, los materiales involucrados en el fenómeno son arcillolitas y areniscas de la Formación Labor y Tierna, se puede atribuir como factores detonantes la pendiente del terreno y la desviación de aguas de su cauce natural para utilizarlas en labores de riego, si le suma a esto que en el sector existe un depósito coluvial podemos suponer que las labores agrícolas, el sobrepeso propiciado por los bloques del depósito y la saturación constante del terreno por las aguas que riegan el área generaron la pérdida de resistencia al corte de los materiales in-situ generado grietas que se profundizaron hasta formar una superficie de falla, la cual a través del tiempo en la parte de la corona del deslizamiento ha tenido una dinámica retrogresiva haciendo que en cada nueva reactivación, el área abarcada por el deslizamiento halla aumentado hasta adquirir las dimensiones actuales. Los elementos afectados por el proceso son la pérdida de la capa vegetal de una extensa zona agrícola así como la pérdida de postes, cercas, árboles de gran tamaño y las casas de los señores Luis Farias, Carmelo García. En la corona del deslizamiento se encuentra en potencial peligro el predio de la señora Crisanta Cruz. El deslizamiento también ha obstruido la carretera que a traviesa la zona dejando imposibilitados a los habitantes de la zona para trasladar sus productos agrícolas hacia el casco urbano.

Para disminuir la vulnerabilidad de los elementos expuestos a la amenaza descrita, se propone enfocar las medidas correctivas esencialmente a controlar la escorrentía superficial y subsuperficial con lo cual se busca reducir los esfuerzos de cizalladura y aumentar la resistencia la corte de los materiales



involucrados en el movimiento, pues se lograría de esta manera un incremento de las condiciones de estabilidad. Lo anterior se lograría controlando la escorrentía superficial de pequeños canales naturales que se encuentran en el sector. Las posibles alternativas para lograr el control de las aguas en la zona son la construcción de zanjas impermeabilizadas las cuales deben captar no solo las aguas que se desviaron del su cauce natural sino, las que provienen de dos nacaderos ubicados sobre la cota 2.900 procurando que las zanjas conduzcan estas aguas fuera del deslizamiento, de igual forma a fin de aliviar las cargas que sobre el terreno ejerce los bloques del deposito coluvial que yace en el sector, sería recomendable buscar alternativas para trasladar o destruir los logrando así que como se dijo antes disminuir las cargas en la zona inestable. Por otra parte se aconseja realizar una repoblación vegetal con especies de bajo porte y amplio poder radicular ya que las raíces contribuirían no solamente a controlar la escorrentía superficial y subsuperficial sino que también se aumentaría la resistencia al corte de los materiales que actualmente se encuentran inestabilizados. Por ultimo y como parte esencial de estas observaciones se sugiere hacer un estudio detallado de las condiciones de estabilidad actuales ya que se tiene muchos elementos con alto grado de vulnerabilidad y los alcances de este estudio basados en observaciones de campo solo dan pie a dar medidas de contingencia mas no ha solucionar definitivamente el problema.

#### *5.6.2. Sector Hacienda el Cairo y Guaticha*

- **Aspectos Generales.** Estos dos sectores presentan condiciones similares de ahí que se describan simultáneamente los sectores se encuentran afectados predominantemente por cárcavamientos, procesos erosivos tanto laminares como en surcos las cárcavas presentes en la zona muestran un perfil en V generado a partir del desgaste de las areniscas y arcillolitas sobre las cuales se han generado las cárcavas en no poseen una profundidad mayor de 1.50m

son frecuentes pero no de grandes dimensiones como consecuencia de este tipo de procesos se ha generado no solo el desgaste de la capa productiva sino en si de la zona que actualmente ha perdido toda utilidad. Se recomienda para estas zonas la realización de trinchos con piedra cubiertos con mampostería en la cual se muestra detalles de la forma en que se puede realizar la estructura. La estructura busca lograr un control de la pérdida de sedimentos e ir generando dentro de la cárcava una delgada capa orgánica. Por otra parte es aconsejable realizar una revegetalización con especies nativas en los sectores contiguos a las zonas de cárcavamiento a fin de recuperar la capa productiva del terreno para evitar la propagación del proceso ya descritos.

#### *5.6.3 Sector Escuela San José*

Cerca de la escuela de San José en la vereda de ese mismo nombre, sobre las márgenes del Río Siachoque de forma generalizada se observan procesos de socavación lateral de cauce generados por la dinámica propia de la corriente la cual se caracteriza por poseer una alta pendiente, atravesar sectores en donde afloran algunos niveles arcillosos de la Formación Conejo y poseer en esta área valles en forma de V que le dan una mayor concentración de energía a la corriente la cual ha debilitado paulatinamente la base de laderas del río generando inestabilidad en las márgenes y ocasionando eventualmente en época invernal represamientos. Los procesos ya descritos presentan un carácter retrogresivo pues el efecto de la corriente incide constantemente sobre la ladera aumentando las áreas inestables, las cuales podrían generar en un intenso invierno procesos mas rápidos y violentos como avalanchas. Para corregir los fenómenos ya existentes y evitar procesos mas destructivos se recomienda realizar no solo en esta corriente sino en todas corrientes del municipio una franja protección del cauce, la cual consiste en revegetalizar por lo menos 5m a lado y lado del la corriente a lo largo de todo su curso a fin de aumentar la resistencia al corte de los materiales de las laderas, evitar procesos erosivos y al mismo tiempo propender por la conservación del

recurso hídrico .

## **5.5 AMENAZA SÍSMICA**

Para la zona de estudio la amenaza natural endógena más importante, es aquella generada por la actividad sísmica y corresponde a zonas o áreas que pueden ser afectadas por sismos (temblores o terremotos), de acuerdo con las magnitudes, frecuencia y grados de exposición o de susceptibilidad de los sectores circundantes al fenómeno. Sin embargo el área del municipio presenta una amenaza sísmica intermedia (ver plano de amenazas) de acuerdo a la zonificación sísmica realizada para Colombia lo que quiere decir que la zona esta alejada de epicentros como el de Bucaramanga, el limite entre Colombia y Panamá o la región del viejo Caldas en donde se registran constantemente eventos sísmicos que dan cuenta de la neotectónica existente generada por la dinámica predominantemente compresiva que actualmente afecta el territorio colombiano.

Los peligros asociados a las zonas afectadas por actividad sísmica están marcados por la destrucción de cualquier estructura ubicada cerca al epicentro del evento tectónico; la separación de las rocas a lo largo de las zonas de debilidad (fallamientos); la generación de deslizamientos como consecuencia de la onda sísmica especialmente en materiales poco consolidados ubicados en sectores con alto gradiente topográfico, al igual que desplomes de roca en sectores escarpados afectados por discontinuidades originadas en eventos tectónicos anteriores; la licuefacción de materiales no consolidados (especialmente arenas); la subsidencia o depresión de superficies que se genera por la consolidación de los depósitos recientes.

## 5.6. OTROS TIPOS DE AMENAZA

Se consideran además como amenazas las heladas, los incendios forestales y la infraestructura potencialmente peligrosa (líneas de alta tensión). Las heladas son un fenómeno meteorológico que consiste en la congelación del rocío producida por el frío, generalmente desarrolladas por encima de los 2.600 m.s.n.m., que arruina los cultivos y produce pérdidas económicas incontables. El rocío helado se condensa del vapor de agua en el aire caluroso; particularmente la condensación se forma durante las noches frescas en estaciones del año calurosas. La atmósfera a una temperatura dada puede contener sólo una cierta cantidad de vapor de agua. Esta cantidad aumenta con las elevaciones de temperatura y disminuye con las caídas de temperatura. En la tarde, después de un día caluroso, el aire que se satura con vapor se enfría y baja la temperatura hasta una saturación total. Cuando el aire se enfría más allá de la temperatura de saturación, el vapor de agua de exceso se condensa en cualquier superficie, como una hoja de césped o un cultivo. La temperatura a la que el rocío empieza a formarse es conocida como el punto de rocío. Si el punto del rocío está debajo de la temperatura de congelación del agua, la escarcha se forma. En la totalidad del área municipal de Siachoque existe alta probabilidad de que ocurran heladas así como en los municipios vecinos, convirtiéndose ésta en una amenaza de orden regional.

Los incendios forestales son el resultado de la combinación rápida de oxígeno (o en algunos casos el cloro gaseoso) con materiales vegetales, especialmente maderables, produciendo luz y calor. La luz se da en forma de llama que está compuesta por partículas resplandecientes del material ardiente y ciertos productos gaseosos. Las condiciones necesarias para la existencia del fuego son: la presencia de una sustancia combustible, una temperatura suficiente para

causar combustión (llamada temperatura de ignición), y la presencia de bastante oxígeno (normalmente suministrado por el aire) o cloro para permitir que la rápida combustión continúe. En el Municipio, los materiales combustibles principales para un incendio forestal son los bosques naturales, la vegetación de “páramo” y los arbustales. Esta también es una amenaza de orden regional puesto que si se desata un incendio probablemente se afecten zonas compartidas en vecindad con los otros municipios.

Por último la infraestructura potencialmente peligrosa (líneas de alta tensión) genera amenaza de contaminación ambiental, puesto que las ondas electromagnéticas afectan nocivamente tanto a la flora como a la fauna que entre en contacto con ellas; de igual forma, estas ondas afectan negativamente a los humanos que repetidamente desarrollen actividades cerca de su área de influencia.

## CONCLUSIONES

- Las consideraciones geológicas indican una tectónica compresiva desde el Mioceno Superior – Plioceno Inferior (3 a 4 ma) cuando comienza el levantamiento de los andes colombianos, sin embargo, en el Pleistoceno es

cuando ocurre la elevación máxima. La compresión está reflejada en una serie de estructuras de dirección NE (plegamientos y fallamiento inverso) y NW (fallamiento de desplazamiento de rumbo de tipo dextral y algún fallamiento normal), acompañadas siempre de fracturamiento y diaclasamiento siguiendo los embates tectónicos sucesivos. Es por este fracturamiento por donde tiene lugar la mayor cantidad de meteorización encargada de modelar el paisaje y, en fin de desestabilizar las laderas, obviamente acompañada por condiciones climatológicas y características litológicas.

- Teniendo en cuenta los resultados obtenidos del estudio de amenazas para el Municipio de Siachoque se pudo establecer que un 60 % del Municipio presenta zonas desprovistas casi en su totalidad de amenazas, dándose en estos sectores las condiciones más estables del municipio. Dentro de los sectores de baja susceptibilidad ambiental a presentar amenazas se tiene la totalidad de la vereda la totalidad de la vereda Juruvita y Turga y los sectores sur orientales de las veredas de San José, Cormechoque arriba, y Firaya en donde se tienen paisajes estructurales o con modelado glaciar en los que no se da una morfodinámica denudativa.
- Los sectores con grado medio de susceptibilidad a la ocurrencia de amenazas geológicas, se concentran en la vereda Siachoque (sector aledaño a la escuela Juan Bosco) y Cormechoque abajo (cerca al sector denominado Hacienda el Cairo) en donde se presentan casos aislados de sectores afectados por cárcavamientos, reptación o erosión en estas áreas lo fenómenos registrados no muestran una tendencia a propagarse ya que se trata de fenómenos más bien puntuales.
  - En los sectores catalogados como de susceptibilidad alta a presentar amenazas geológicas, las frecuencias de los eventos indican tendencia a la

propagación. En el Municipio de Siachoque los sectores de alta susceptibilidad se encuentran en la vereda de al Norte del la veredas de Tocavita (sector El Alisal), Firaya (Sector las Lajas) y en la vereda Guaticha en donde se tienen un gran número de amenazas de diversa índole a excepción procesos de remoción en masa, otro sector en donde se tiene un alto grados de susceptibilidad a presentar amenazas un sector ubicado cerca de la escuela San José en donde de manera generalizada se registran procesos de socavación. Todos estos sectores se caracterizan por presentar un alto grado del frecuencia en al ocurrencia de las amenazas lo que le da estas zonas una marcada tendencia a propagar la amenazas allí registradas.

Teniendo en cuenta que la principal amenaza registrada en el municipio son los carcavamientos y observando los resultados de los análisis geoestadísticos fue posible establecer que las condiciones geológicas (Composición de la roca), la pendiente del terreno y variables antrópicas como el mal uso del suelo, juega un papel importante en la generación de las amenazas.

- En general, la región muestra una gran dinámica erosiva que se manifiesta en la disección del terreno ya que hay un gran número de cuencas de orden 2 concentradas espacialmente, en las cuales se han reportado la mayor cantidad de amenazas ligadas a procesos denudativos tales como calvas de erosión, erosión concentrada como lo muestran los análisis de frecuencia.
- De manera hipotética se podría plantear como solución para las zonas de susceptibilidad intermedia el mejoramiento de las condiciones de estabilidad mediante el incremento de la capa vegetal, ya que ésta contribuye a controlar la escorrentía superficial evitando así que se incrementen los procesos erosivos. De igual forma, aumentan la resistencia al corte de los materiales gracias al efecto de amarre que proporcionan las raíces de la vegetación arbustiva que se requiera implantar. Es importante anotar que en los sectores de estabilidad crítica (deslizamiento ubicado en el Sector el Alisal) requiere de

manejos especiales que conjuguen ciertos mecanismos enfocados a controlar cada uno de los factores que han generado esta situación.

- En términos globales, la suma de la gran cantidad de factores geológicos, climatológicos y ambientales en pugna por crear y destruir rocas, ha generado una serie de amenazas acentuadas por las actividades antrópicas las cuales se intensifican mucho más cuanto el hombre interviene inadecuadamente en las condiciones naturales de equilibrio. Es así como la interacción de diferentes variables evita generalizar las causas de inestabilidad puesto que cada caso es diferencial, existiendo puntualmente una variable con mayor importancia.

## **BIBLIOGRAFIA**

Diccionario Geográfico de Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Ministerio de Hacienda y Crédito Público. Versión 1.996 para Macintosh y Windows. CD-ROM.

ETAYO et al (1969) en Plano Geológico de Colombia, Memoria Explicativa. INGEOMINAS 1988. Plano Geológico de Colombia. Memoria Explicativa. República de Colombia, Ministerio de Minas y Energía, INGEOMINAS. Bogotá, 1988. Publicación no periódica.



RENZONI, G. Geología del Cuadrángulo J-12, Tunja: Boletín Geológico. Vol. 24, No. 2 (1981);

REYES, Ítalo. El Lago de Tota. Revista Perfiles. Año 5 No. 12, Acerías Paz de Río S.A.

VILLOTA, Hugo. Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de las tierras. De Imprenta IGAC. 1991.

GARCIA López, Manuel. Manual de Estabilidad de Taludes. Imprenta U.N 1.996

Memorias VIII Jornadas Geotécnicas y I I Foro Sobre Geotecnia De La Sabana De Bogotá

## GLOSARIO

**AFLORAMIENTO:** Término geológico que indica la parte de una capa geológica o de una capa de agua que se asoma a la superficie del terreno, por causas o fenómenos naturales.

**ANTICLINAL:** Configuración de las rocas estratificadas que se pliegan, en la que las rocas se inclinan en dos direcciones diferentes a partir de una cresta (como un tejado de dos aguas). Arco con la convexidad hacia arriba. La cresta antes mencionada se llama eje. La inversa de un anticlinal es un *sinclinal*.

**ANTRÓPICO:** Debido a la acción directa o indirecta del hombre y las sociedades. El grado de intervención antrópica determinan el estado de equilibrio de un medio.

**BUZAMIENTO:** Ángulo que forma el eje de una masa de rocas plegadas con relación a un plano horizontal.

**CANTO RODADO, TAMAÑO DE:** Volumen mayor que el de una esfera de 250 mm de diámetro.

**COLINA:** 1) Forma del relieve de altura reducida generalmente aislada y de altitud inferior a 100 m; con perfil longitudinal suavizado y contorno redondeado. El modelado o forma de la colina varía según el material y la acción de la disección fluvial. La mayoría de los drenajes que separa grupos de colinas son "valles elementales" de drenaje temporal. 2) Forma de relieve redondeada, a menudo aislada y de escasa altura (100 a 300 m) cuyas vertientes generalmente no incluyen escarpes. 3) Elevación natural del terreno menor que una montaña y aislada, dispuesta en medio de una llanura con flancos de pendiente suaves.

**CUCHILLA:** Forma de relieve resultante del levantamiento o disección de una montaña de extensión longitudinal kilométrica. La cima o terminación es generalmente aguda a muy aguda y los costados transversales son rectilíneos a convexo-cóncavos. 2) Cordillera secundaria o contrafuerte alargado y de flancos o vertientes escarpados.

**DISECCIÓN:** 1) Término geomorfológico para indicar modificación de un relieve por acción de la erosión resultante de la entalladura generada por las corrientes fluviales o aguas de escurrimiento sobre un terreno. 2) Destrucción o transformación natural de un relieve inicial, originariamente homogéneo, por la

acción de la escorrentía superficial a profunda. 3) Capacidad de entalladura del agua sobre la superficie terrestre.

DRENAJE: Disposición de los cursos de varias corrientes de agua que, vistas sobre un Plano o desde el aire, asemejan diferentes órdenes.

ESCARPE: 1) Término geomorfológico que designa en general, una vertiente rocosa y empinada con paredes de fuerte pendiente, generalmente superiores a 45°. Su origen está asociado a diferentes fenómenos. 2) Pared rocosa.

GEOLOGÍA: Conjunto organizado de conocimientos referentes a la Tierra, incluye tanto la geología física como la geología histórica.

GEOMORFOLOGÍA: Estudio científico de las formas del relieve terrestre. Incluye el análisis estructural del relieve así como la génesis y evolución (dinámica) de las formas del terreno. LADERA: Flanco más o menos inclinado de una montaña.

MODELADO: Conjunto de formas de la superficie terrestre resultantes de la acción de agentes y procesos erosivos. Es el caso del modelado fluvial, modelado glacial, modelado volcánico, en donde también actúan los agentes meteorológicos, aunque de forma lenta.

MONTAÑA: 1) Parte sobresaliente de un relieve de la corteza terrestre, levantado algunos o muchísimos metros por encima de su base o posición original, con desnivelaciones importantes y pendientes escarpadas. 2) Gran elevación natural de la superficie terrestre con respecto a otros relieves contiguos. 3) Término para designar elevaciones mayores, diferentes de lomas y colinas de más de 200 - 300 m a partir de la base.

MUNICIPIO: 1) Define la mínima división política - administrativa del territorio de un departamento. En Colombia se considera como una entidad territorial con funciones políticas, judiciales, sociales y económicas. 2) Conjunto de habitantes de una misma área jurisdiccional, regido en sus intereses por un ayuntamiento. El municipio es dirigido por un alcalde cuya misión es mantener el orden y los reglamentos en lo relativo a la función político-administrativa.

ORDENAMIENTO DEL TERRITORIO: Término recientemente introducido al vocabulario geográfico para referirse a las acciones y concertaciones requeridas para la organización de un territorio. El ordenamiento territorial es una política del Estado y un instrumento de planificación, que permite una apropiada organización político-administrativa de la Nación, y la proyección espacial de las políticas de desarrollo social, económico, ambiental y cultural de la sociedad, garantizando un nivel de vida adecuado para la población y la conservación del ambiente.

PIEDEMORTE: Área adyacente a un volumen montañoso (ejemplo, cordillera), hasta por debajo de los mil metros de altura y con variaciones locales, donde se acumulan agentes erosivos. Un piedemonte definido, según Tricart, es una forma tectónica resultante de un proceso de diferenciación entre dos compartimientos, uno que se levanta y otro que se hunde, produciendo un contraste entre los volúmenes montañosos, las fosas tectónicas y las áreas deprimidas. Los volúmenes montañosos levantados son la fuente de gran cantidad de materiales detríticos, que se depositan en los piedemontes, produciendo un modelado en el que predominan los conos de deyección, glaciares y terrazas aluviales; depósitos cuya edad es finiterciaria (terciario superior) y cuaternaria.

QUEBRADA: 1) Curso de agua que corre por las quebradas de las sierras o en tierra llana. 2) Cualquier agua que corre de un barranco a un río. 3) Lecho seco de río o torrente.

ROCA: 1) Material sólido formado por agregado de partículas minerales que forman parte de la litosfera. 2) Piedra, o vena de ella, muy dura y sólida. 3) Peñasco que se levanta en la tierra o en el mar. 4) Sustancia mineral que por su extensión forma parte importante de la masa terrestre.

RUMBO: Dirección de la línea que se forma por la intersección de la superficie de una roca con un plano horizontal. El rumbo siempre será ortogonal a la dirección del buzamiento máximo.

TECTÓNICA: Estudio de la estructura de la corteza terrestre o de una determinada región.

VALLE: 1) Depresión alargada generalmente recorrida por un curso de agua. 2) Un valle compuesto por dos vertientes, un fondo (lecho mayor y menor) y una llanura de inundación; el río corre por el centro. 3) Corredor o depresión de forma longitudinal, en relación con el relieve contiguo, que puede alcanzar varios kilómetros de extensión.



## LISTA DE TABLAS

1. Distribución Porcentual de Amenazas
  2. Distribución Porcentual de frecuencia con relación a la Precipitación
  3. Distribución de Amenazas con relación a la Precipitación
  4. Distribución de Amenazas con relación a las Formaciones Geológicas
  5. Distribución Porcentual de frecuencia con relación a la Formaciones Geológicas.
  6. Distribución Porcentual de frecuencia con relación al Orden de las Cuencas
  7. Distribución de Amenazas con relación al Orden de las Cuencas
  8. Distribución de Amenazas con relación a Pendiente Media del Cauce
  9. Distribución Porcentual de Frecuencia con Relación a la Pendiente Media del Cauce
  10. Distribución Porcentual de Frecuencia con Relación a Pendiente Media del Terreno
  11. Distribución de Amenazas con Relación a la Pendiente Media del Terreno
  12. Generalización del Grado de Susceptibilidad Ambiental a la Ocurrencia de Amenazas en el Municipio de Siachoque
-

