

ZONIFICACION DE SUSCEPTIBILIDAD POR CAMBIOS
HIDROGEOMORFOLOGICOS DE LA MICROCUENCA QUEBRADA
ULAGÁ, PROVINCIA DE PAMPLONA.

BRAYAN JAVIER RICO QUINTERO

PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA

2019

ZONIFICACION DE SUSCEPTIBILIDAD POR CAMBIOS
HIDROGEOMORFOLOGICOS DE LA MICROCUENCA QUEBRADA
ULAGÁ, PROVINCIA DE PAMPLONA.

BRAYAN JAVIER RICO QUINTERO

1094279230

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de

Ingeniero Ambiental

Directores

PhD. MARÍA ESTHER RIVERA

Msc. JESUS RAMON DELGADO RODRIGUEZ

PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

PAMPLONA

2019

DEDICATORIA

A Dios por ser siempre ese sentimiento de cobijo, tranquilidad y serenidad durante toda mi vida y en especial en esta etapa de vida como lo es la universidad, etapa que ya está próxima a culminar, espero poder salir al mundo y seguir estudiando para ser un gran profesional, y siempre basándome en los valores y principios que me han enseñado en estos años en mi hogar y en mi paso como estudiante por mi alma mater, la Universidad de Pamplona.

A mis Abuelos maternos Luis Alejandro Quintero (QEPD) y María del Carmen Torres que fueron y son una parte importante en mi vida, les agradezco a ellos porque son fundamentales en mi vida, me vieron crecer y siempre me ayudaron con lo poco o mucho que tenían con tal de verme a mí y a toda la familia bien y siempre junta.

A mis padres, mi mamá Esperanza Quintero Torres y a mi papá Javier Orlando Rico Fernandez, le agradezco a Dios todos los días por estos padres tan hermosos que nunca me dejaron solo y me apoyaron hasta el último instante de este proceso, agradezco mucho el estar en la familia que crearon para mis hermanas y para mí, la fortuna más grande es tenerlos conmigo y el tesoro más valioso son todos y cada uno de los valores que me inculcaron. Por su apoyo incondicional tanto moral como económico y más que todo por comprenderme y aconsejarme amorosamente y con la mejor actitud siempre para perseverar y hacer realidad mis sueños, anhelos y metas.

Dedico mi trabajo y este estudio para trabajo de tesis a todas las personas que siempre creyeron en mi capacidad, en aquellas personas que creyeron en mí siempre y me apoyaron cada vez que los llegue a necesitar, es grato saber la fuerza y determinación que poseemos cuando queremos alcanzar algo y tenemos el apoyo de nuestros seres queridos y amigos a ellos mil gracias por ser también parte sustancial de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme acompañado, guiado y por bendecirme, para llegar hasta donde he llegado, por ser mi fortaleza en los momentos difíciles, por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias, felicidad y por hacer realidad este sueño anhelado.

A mis padres por su apoyo, amor incondicional y por darme la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida.

A mis hermanas por ser mis acompañantes y parte importante en mi vida, por apoyarme y llenar mi vida de alegría con cada momento vivido y compartido hasta ahora.

A la universidad de Pamplona y en especial al programa de ingeniería ambiental por darme la oportunidad de estudiar y ser una profesional.

A mis directores de tesis, PhD. Maria Esther Rivera y Msc. Jesus Ramón Delgado por su esfuerzo y dedicación, que con sus conocimientos, experiencia, paciencia y motivación han logrado sacar lo mejor de mí para terminar este proceso.

A mis profesores porque todos han aportado con un granito de arena a mi formación.

A mis amigos por confiar, creer en mí, por ser mi apoyo y por haber hecho de esta etapa un trayecto de experiencias maravillosas que nunca olvidare. Son muchas las personas que han formado parte de mi vida a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

Tabla de Contenidos

	Pág.
RESUMEN	8
INTRODUCCION.....	9
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
3. JUSTIFICACION.....	12
4. OBJETIVOS.....	13
❖ 4.1 OBJETIVO GENERAL	13
❖ 4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
5. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	14
6. MARCO REFERENCIAL	15
6.1 MARCO CONTEXTUAL.....	15
6.2 ANTECEDENTES	16
6.3 MARCO TEORICO	19
6.3.1 FACTORES QUE INTERVIENEN EN LOS PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA Y EROSIVOS.....	20
❖ GEOLOGÍA	21
❖ GEOMORFOLOGÍA	23
❖ HIDROLOGIA.....	24
❖ CLIMA	28
❖ VEGETACIÓN	29
❖ USO DEL SUELO	30
❖ 6.3.2 REMOCION Y MOVIMIENTO EN MASA.....	31
❖ CLASIFICACIÓN	31

❖ Caída.....	34
❖ Volcamiento	34
❖ Deslizamiento.....	35
❖ Flujos.....	39
❖ OTROS MOVIMIENTOS EN MASA	43
AGENTES DETONANTES DE REMOCIONES EN REMOCIONES EN MASA	44
Precipitaciones.....	44
Sismos.....	46
Otros detonantes	48
6.3.3 MEDICION DE LA EROSION DE CUENCA HIDROGRAFICAS.....	49
6.4 MARCO LEGAL	55
7.METODOLOGIA.....	57
❖ 7.1 ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOMÉTRICAS, GEOLÓGICA, LITOLÓGICA DE LA MICROCUENCA ULAGÁ	58
7.2 FACTORES DETERMINANTES EN LA RELACIÓN ENTRE LA REMOCIÓN EN MASA Y LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	60
7.2.1 CALCULO FACTOR R Y CONSTRUCCIÓN DEL MAPA INDICE DE	60
➤ CALCULO FACTOR K	60
➤ CALCULO FACTOR LS	61
❖ 7.3 CARACTERIZACIÓN DE LA CLIMATOLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO. ¡Error! Marcador no definido.	
➤ CALCULO FACTOR C.....	62
❖ 7.4 CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO DE LA ZONA DE ESTUDIO.	63
❖ 7.5 GENERACIÓN DEL MAPA DE COBERTURA VEGETAL Y EL USO DEL SUELO DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	63

8.RESULTADOS	66
❖ PRECIPITACIONES	68
❖ GEOLOGIA	69
❖ FALLAS	73
❖ SISMOS	74
❖ COBERTURA VEGETAL	77
❖ SUELOS	79
❖ USO DEL SUELO	82
❖ FACTOR R	82
❖ FACTOR K	83
❖ FACTOR LS	85
❖ FACTOR C	87
❖ FACTOR P	¡Error! Marcador no definido.
CONCLUSIONES.....	90
Lista de tablas	92
Lista de ilustraciones	94
Referencias	97
Anexos	100

RESUMEN

En la presente investigación se tiene como fin el determinar la susceptibilidad a cambios morfológicos producidos en la microcuenca quebrada Ulagá, la cual se encuentra localizada en la Provincia de Pamplona y es afluente del río Pamplonita. Teniendo en cuenta que actualmente, la quebrada se ve afectada la erosión hídrica y los movimientos en masa que se presentan por la incidencia de las altas pluviosidades, el uso del suelo, la cobertura vegetal, la geología y litología de la zona de estudio se realizaron visitas de campo, luego se determinarán los puntos de monitoreo tanto del suelo, como del caudal de la quebrada; también se solicitaron la información de variables hidrometeorológicas de las estaciones que tengan incidencia en la cuenca, asimismo, se caracterizará climáticamente la zona de estudio. Por otra parte, se usaron imágenes satelitales para el análisis multitemporal de la cobertura vegetal y las características morfométricas de la cuenca, usando herramientas de análisis espacial como el ArcGis que realiza el desarrollo y ejecución de herramientas de geoprocésamiento, ejecutadas mediante el álgebra de mapas con funciones identificadas en ArcToolbox como Spatial Analyst, 3D Analyst, Analysis Tools entre otros del software ArcGis 10. Uniendo los procesos obtenidos del modelo digital de elevación (MDE), la geología, la cobertura del suelo y otros factores externos como la precipitación y áreas de influencia se obtuvieron los respectivos mapas de susceptibilidad, de pendientes, de cobertura vegetal y mapa de usos del suelo para establecer los lineamientos que sigue nuestra cuenca respecto a los diferentes parámetros geomorfológicos.

Palabras claves: Erosión hídrica, Susceptibilidad, Geotecnia, Hidrología, Pendientes, Cobertura vegetal, Remoción, Unidades geológicas

INTRODUCCION

En Colombia la variabilidad climática y el complejo relieve montañoso, lo hace un país susceptible a la ocurrencia de eventos como lo son la erosión hídrica y los movimientos en masa o deslizamientos, fenómenos naturales que representan un peligro y un retraso en el desarrollo en la población afectada y una carga económica importante para los gobiernos que respaldan a estas poblaciones. Esta condición es agravada hoy en día por factores como el cambio climático, la degradación del suelo, la disminución de las coberturas vegetales y factores detonantes de los mismos como lo son la sismicidad y las altas precipitaciones, que aumentan el nivel de vulnerabilidad de las personas debido a la falta de información detallada y confiable tanto a nivel urbano, como a nivel rural y al nivel de respuesta esperado por los países en vía de desarrollo como lo es Colombia ante estos eventos.

La degradación de los suelos y la ocurrencia de remociones en masa es un problema de preocupación mundial que requieren de la medición, vigilancia y control de dichos procesos fundamentales en el desarrollo de la región, en particular en el mantenimiento del equilibrio ambiental y la sostenibilidad económica y social, la determinación de la zonificación del territorio en base a grados de susceptibilidad a la erosión constituye un elemento fundamental de la planificación para el desarrollo, identificando las áreas frágiles y generando cartografía que permite caracterizar cualitativamente la variación espacial de los procesos erosivos, la quebrada Ulagá , ubicada en una de las provincias de la ciudad de Pamplona en Norte de Santander, no es ajena a esta problemática ya que es susceptible a estos fenómenos por tal motivo se realizó el monitoreo y seguimiento de la degradación de suelos en la quebrada cuyo propósito es disponer de información oportuna y de excelente calidad del estado actual de la microcuenca para la toma de decisiones con respecto a la prevención, manejo sostenible y restauración o rehabilitación de los suelos, realizando

la identificación y zonificación de los procesos de erosión, análisis y evaluación de las causas que lo producen.

En la transformación de los sistemas montañosos de una cuenca intervienen numerosas variables hidrológicas, geomorfológicas, topográficas, vegetación etc. que en gran medida son controlados por las tasas de erosión y capacidad de transporte del sistema fluvial, que a su vez inciden en la evolución y morfología de las laderas (Hurst et al., 2012) y puede ser un factor para la desestabilización de las mismas. De ahí la importancia que tiene una correcta utilización de los modelos hidrológicos, en el diagnóstico de la situación real de las cuencas hidrográficas sometidas a un fenómeno detonante de fenómenos en masa como lo son las precipitaciones.

En el cumplimiento de los objetivos propuestos se realizó la identificación de los factores y desarrollo movimientos en masa presentes en la quebrada Ulaga, la estimación de suelo erosionado en la cuenca, que comprende los agentes generadores de los movimientos de remociones en masa, los componentes topográficos como la longitud y pendientes, además la geología, la climatología, el uso del suelo y cobertura vegetal, se identificó la susceptibilidad por erosión y movimientos en masa en las distintas afluentes de la quebrada a partir de los factores detonantes, se contó con la herramienta del Sistema de Información Geográfica SIG, que dio los mecanismos para la interpretación de los resultados obtenidos.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El Partiendo de la revisión bibliográfica se establece que existen regiones de Colombia que son reconocidas por la variabilidad climática, de coberturas del suelo, usos del suelo y erosión fluvial, variables que abren una situación compleja cuando están juntas en cuanto a la producción de deslizamientos de volúmenes de tierra que puede generar amenazas de diferentes grados. En el caso de Norte de Santander, departamento que no es ajeno a la problemática nacional de los movimientos en masa, también se resalta la existencia de otras problemáticas similares como los eventos de remoción en masa y erosión hídrica que está afectando de manera continua a las microcuencas por ejemplo lo sucedido en Gramalote, también en el Municipio de Pamplonita en la Quebrada Cucalina y así mismo se refleja en la Microcuenca Ulagá.

En la zona de la Microcuenca Ulagá se observa eventos de remoción en masa como reptaciones, esto puede ser debido a la incidencia de la variabilidad climática por las precipitaciones, y también por las actividades antrópicas, la expansión de la frontera agrícola, los usos del suelo, además presenta socavación producto de erosión fluvial como uno de los grandes protagonistas de estos eventos.

Es necesario realizar una evaluación preliminar del área de estudio dentro de la cuenca para determinar la susceptibilidad y la magnitud e inestabilidad que presentan los procesos morfodinámicos como la erosión y remoción de masa, dentro y fuera de la quebrada, incluyendo evaluaciones de tipo ambiental, hidráulico, hidrológico y geotécnico importantes para definir la viabilidad técnica para futuros asentamientos o proyectos viales.

De acuerdo con lo enunciado, se plantean las siguientes preguntas:

- ¿Qué eventos detonantes de la degradación del suelo, afectan en mayor medida la hidrogeomorfología dentro de la microcuenca Ulagá?
- ¿Qué relación existe entre de los movimientos en masa con la erosión fluvial producida?

3. JUSTIFICACION

La necesidad de realizar un estudio sobre las posibles amenazas por erosión y remoción en masa en la microcuenca, se da por la falta de información por parte de los entes gubernamentales locales, es muy escasa la información existente de la zona de estudio, y en el caso particular solo un estudio desarrollado por Jaramillo, Tarazona y Navarro (2007), que no nos ofrecen una escena confiable de la probabilidad de que ocurran este tipo de eventos. Asimismo, por la importancia que tiene en la planificación de futuros proyectos que se puedan desarrollar en la zona, ya sean agrícolas, viales, o de conservación de la zona, para así determinar una solución viable que mitigue estos riesgos en la Microcuenca Ulagá. Además, se estudiará el comportamiento del movimiento de masas generados por acción de la gravedad, así como los movimientos traslacionales, rotacionales, la intensidad de lluvias traducidas en saturación del terreno y la erosión fluvial.

En coordinación con la información del Servicio Geológico Colombiano y el informe de trabajo en campo, nos va a retroalimentar sobre en qué estado se encuentra la cuenca hoy en día en torno a los procesos de movimientos en masa y erosión para tomar medidas más acordes para controlar o mitigar los efectos de la problemática que se presenta dentro de nuestra área de estudio. Sin embargo, esos estudios preliminares aportan información útil, pero no de forma detallada y confiable para la toma de decisiones por parte de las autoridades y entidades. Por lo tanto, es de mucha importancia los estudios que se adelante con la investigación que se realizará con apoyo de la Universidad de Pamplona y del departamento de Norte de Santander, para adelantar evaluaciones que consideren componentes ingenieriles, ambientales, sociales y económicos, de acuerdo con el nivel de información requerido para estudios detallados; contribuyendo a determinar la viabilidad futuros proyectos que se realicen en esta área de la cuenca.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Zonificar la susceptibilidad a cambios hidrogeomorfológicos de la microcuenca Ulagá, Provincia de Pamplona.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar las características geomorfométricas, geológica, litológica de la microcuenca Ulagá
- Establecer los factores determinantes en la relación entre la remoción en masa y la erosión hídrica en la zona de estudio.
- Caracterizar la climatología de la zona de estudio.
- Caracterizar las propiedades físicas del suelo de la zona de estudio
- Generar el mapa de cobertura vegetal y el uso del suelo de la zona de estudio.
- Generar el mapa de susceptibilidad a remoción en masa de la zona de estudio

5. ALCANCES Y LIMITACIONES

5.1 ALCANCES

Con la presente investigaciones se identificaron, midieron, geoprocesaron y analizaron cada uno de los procesos que influyen en la formación de los diferentes tipos de movimientos en masa que se registran y suceden a lo largo de la microcuenca Ulagá, obtener información oportuna y de excelente calidad es de gran importancia, ya que es necesaria para prever la posibilidad de reactivación o creación de nuevos movimientos en masa.

Así mismo, con esta información se identificaron amenaza o riesgo latente para las vidas humanas que son parte de la cuenca y se desarrollan corriente abajo.

5.2 LIMITACIONES

Una de las limitaciones que más afectaron el proyecto fue la información histórica y saber qué factores ambientales específicos pueden estar afectando a la quebrada Ulagá, y el no poseer la instrumentación técnica para mediciones de factores topográficos y geológicos se basó en datos teóricos y la experiencia de profesionales de estas áreas, no permitiendo así un análisis exhaustivo y más completo.

6. MARCO REFERENCIAL

6.1 MARCO CONTEXTUAL

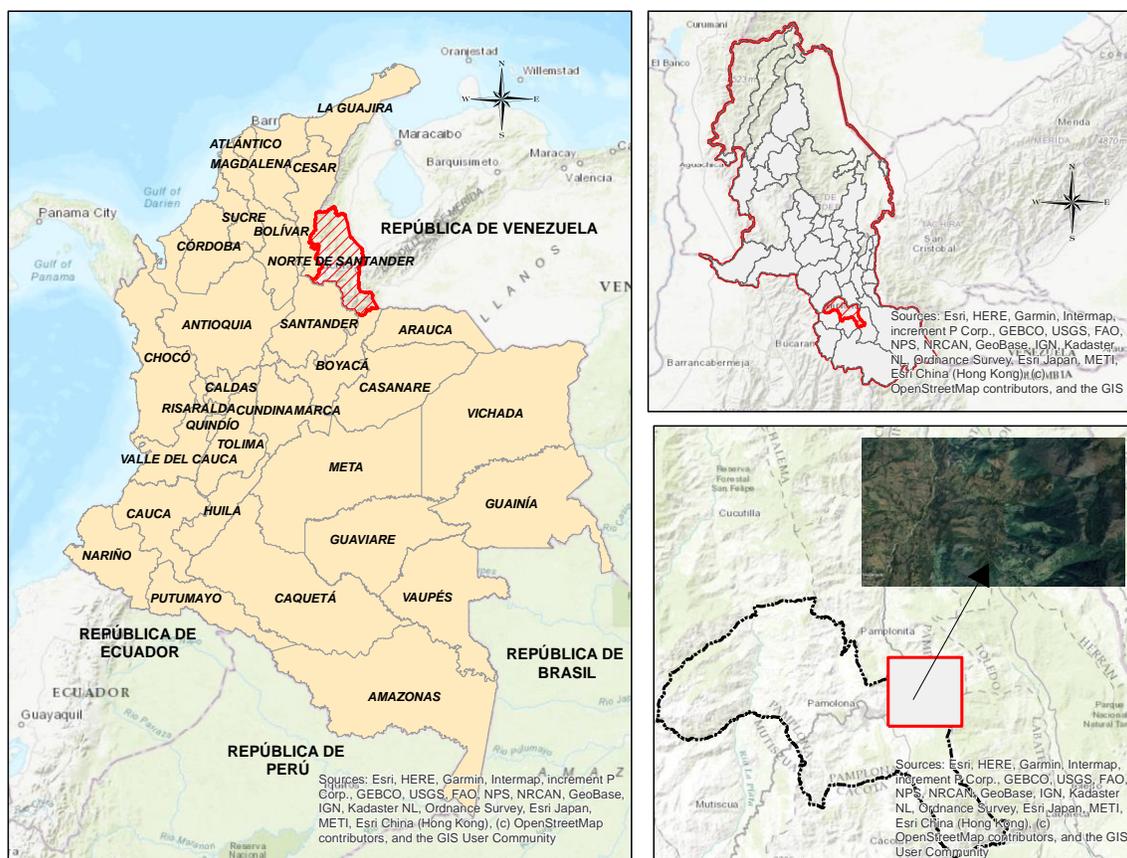
La quebrada Ulagá afluente del río Pamplonita ocupa una superficie de 16,43 km² y se ubica en las cercanías a las veredas de Chíchira, Ulagá Alto y Ulagá Bajo pertenecientes al municipio de Pamplona, en Norte de Santander (Ilustración 1), desde su punto de origen o nacimiento hasta su confluencia o punto de desfogue en el Río Pamplonita el recorrido total de 7,3 km, su nacimiento se sitúa sobre la cordillera oriental en la franja montañosa sobre los 3020 m.s.n.m.

La quebrada sigue su curso en dirección sureste hacia el noroeste atraviesa valles y bosques encajado entre laderas con pendientes pronunciadas formando acantilados en la parte media y baja de la cuenca. Se accede a través de la vía que comunica a la ciudad de Pamplona con la de Cúcuta a la altura del sitio de comidas conocido como la isla en el Km. 7, esta vía es utilizada por los habitantes de la vereda Ulagá parte media y baja, es una vía que posee placa huella hasta cierto punto, seguido es carretera destapada, pero es bastante carreteable.

Sus suelos son usados con carácter agropecuario y forestal destacándose los cultivos de maíz, durazno y hortalizas, cerca al nacimiento de la quebrada también se presenta actividad pecuaria, donde existe la crianza de truchas en estanques abastecidos de agua de la quebrada.

En todo el recorrido de la quebrada se observan los diferentes movimientos masa que afectan en gran medida a la hidrogeomorfología de la cuenca, se evidencia erosión y zonas afectadas por el uso antrópico que se le da al suelo.

Ilustración 1. Localización quebrada Ulagá, municipio de Pamplona.



Fuente: Rico Q, (2019)

6.2 ANTECEDENTES

Hoy día, se han desarrollado gran cantidad de investigaciones, tesis, conferencias sobre el tema de susceptibilidad a cambios hidrogeomorfológicos, pero en la presente propuesta se citarán algunos.

Conesa y Pérez, (2014) en su proyecto “Alteraciones geomorfológicas recientes en los sistemas fluviales mediterráneos de la Península Ibérica. Síntomas y problemas de incisión en los cauces”, pretendió dar una visión general de los recientes ajustes morfológicos que han sufrido los sistemas fluviales mediterráneos en la Península Ibérica a causa de la acción del hombre.

En caso particular de América Latina se tiene que en Ecuador se llevó a cabo “Problemática, experiencias y enfoque sobre la erosión, manejo y conservación de suelos de ladera en Ecuador”

Córdova y Novoa(1990) ,proponen los siguientes aspectos: a) trabajo inicial a nivel de finca extensible a la microcuenca; b) participación efectiva de los productores, en el diagnóstico, planificación, ejecución y evaluación de los trabajos de conservación de suelos; c) formación de grupos de agricultores orientados a la conservación de los recursos naturales y a la sostenibilidad de sus sistemas productivos; y, d) capacitación continua, con la modalidad de "capacitación en trabajo". Por otra parte, en Venezuela Méndez (2005) realizó el estudio “Caracterización hidroclimatológica y morfométrica de la cuenca del río San Julián (estado Vargas, Venezuela): aportes para la evaluación de la amenaza hidromorfológica” donde se consideró la fotointerpretación geomorfológica, las mediciones y los cálculos de parámetros morfométricos, así como la estimación del tiempo de concentración, la caracterización del régimen pluviométrico y el análisis de eventos extremos de precipitación.

Uno de los aportes por parte de México es el proyecto “Procesos de remoción en masa y erosión fluvial en la quebrada del río Los Sosa, provincia de Tucumán” Fernandez y Lutz, (2003) donde se registraron numerosos movimientos de remoción en masa y eventos de erosión fluvial que afectaron severamente a la ruta Provincial 307. Los flujos fueron observados en su mayoría en la zona donde afloran las metamorfitas de bajo grado, mientras que los deslizamientos de detritos en materiales previamente alterados por acción meteórica predominaron en la zona donde aflora la tonalita El Indio.

El estudio de los Hermanos Montoya, (2009) se basó en el proyecto “Caracterización morfométrica de la microcuenca de la quebrada Los Andes, El Carmen de Viboral, Antioquia-Colombia” donde se evaluaron algunas características morfométricas básicas en la microcuenca de la quebrada Los Andes en el departamento de Antioquia (Colombia). Este trabajo permitió identificar los usos del suelo, entre los cuales el uso adecuado fue el que presentó mayor porcentaje (55%) y se recomienda el uso conservacionista en general para la microcuenca.

Uno de los proyectos más importantes respecto a nuestra región es, “Causas, características e impacto de los procesos de remoción en masa, en áreas contrastantes de la región andina” Marchant y Moreiras (2015), donde comprensión de sus características se beneficia de estudios comparativos sobre áreas climáticas, geomorfológicas y socioeconómicas. Colombia, con su clima húmedo tropical y una alta densidad poblacional, es uno de los puntos globales de más alto riesgo de remociones en masa, como deslizamientos y flujos, accionados por La Niña o la actividad de volcanes glaciados, los cuales contrastan con las caídas de rocas y flujos detríticos en el árido y escasamente poblado centro-oeste argentino, donde los eventos son generalmente asociados a El Niño.

En la capital de Colombia, Bogotá se realizó el estudio de susceptibilidad “Zonificación de susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa mediante geoprocesamiento con herramientas SIG en la cuenca del río Azufral” (Hidalgo,2014) en este caso se centró en la identificación, zonificación y análisis de susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa, uniendo los procesos obtenidos del modelo digital de elevación (MDE), la geología, la cobertura del suelo y otros factores externos como la precipitación y áreas de influencia por sismos causados por las fallas de Romeral y Buesaco y generando el resultado final en ModelBuilder.

Por otra parte, en Nariño (Colombia) específicamente en el resguardo inga de Aponte del municipio de Tablon, Sarastry (2017) determino la amenaza por erosión y procesos de remoción en masa de los predios (Kinde y kuskungo) para reasentamiento a más de 270 familias afectadas por el deslizamiento de masas en el poblado del Resguardo Inga de Aponte. Para ello, partió del análisis de la información existente fotografías, mapas, documentos anteriores. Además, realizó visita de reconocimiento, así mismos apiques a 40 cm y 200 cm de suelo; contó con las características físicas del material que afloran del suelo. Por otra parte, levantó información topográfica, geológica, hidrológica y ambiental. De igual manera, realizó ensayos de humedad, límites de Atterberg, gravedad específica y distribución granulométrica, permitiendo obtener las propiedades físicas de los suelos. Para determinar el grado de amenaza de por fenómenos de erosión

y movimiento en se masa utilizó las metodologías de la ecuación Universal de pérdida de suelos (USLE) y talud infinito respectivamente; como resultado de la información generada, cerca del 20% del área de estudio es susceptible de pérdidas potenciales de suelo superiores a 15 Ton/ (ha año), por erosión hídrica y el 55% de la zona de estudio se encuentra en categoría de amenaza media a alta por fenómenos de remoción en masa.

Solano v,(2017) en el municipio de Chitagá realizo el estudio, tratamiento, evaluación de la dinámica espacial de los cambios del uso del suelo y los procesos erosivos en la microcuenca Hato Viejo, del , mediante el análisis de los factores determinantes como: el potencial erosivo de las gotas de lluvia, los componentes topográficos longitud y pendiente, textura del suelo, uso/cobertura y prácticas de conservación, además se evaluó la susceptibilidad y amenaza por erosión en las vertientes de la quebrada a partir de dos factores detonantes como la precipitación y la sismología; mediante la identificación, geoprosesamiento, modelamiento y análisis de los procesos, utilizando un sistema de información geográfica (SIG).

Particularmente, en la provincia de Pamplona, Jaramillo, Tarazona y Navarro,(2007) y su estudio “Los suelos de la microcuenca hidrográfica de Ulagá y su vínculo con la disponibilidad del recurso hídrico” en este estudio se demuestra el continuo deterioro de las coberturas vegetales primarias de la zona, son una campana de alerta para la región, ya que si no se comienzan a tener políticas de conservación y educativas para el territorio, es inminente un irreversible daño en la disponibilidad de agua para los habitantes de la zona.

6.3 MARCO TEORICO

Al estudiar cada uno de los factores que afectan en gran medida las propiedades morfológicas del suelo y alteran la estabilidad de la masa de un terreno, nos provee de herramientas para la prevención y análisis. Este análisis de los componentes que lo conforman es una herramienta de gran utilidad al momento de determinar problemas de erosión y posterior perdida de suelo, para

así poder cuantificar el coeficiente de erosión en un área determinada y determinar el comportamiento de una masa de suelo afectado por la intensidad de las precipitaciones, o las afectaciones del caudal de la quebrada dentro de la cuenca (Moreira 2014).

6.3.1 FACTORES QUE INTERVIENEN EN LOS PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA Y EROSIVOS.

Los tipos de remociones en masa se producen de acuerdo a factores clave que interactúan para su generación. Estos factores condicionantes corresponden a aquéllos que generan una situación potencialmente inestable. Estos corresponden principalmente a la geomorfología, geología, geotecnia y vegetación, que actúan controlando la susceptibilidad de una zona a generar fenómenos de remoción en masa, donde la susceptibilidad se define como la capacidad o potencialidad de una unidad geológica o geomorfológica de ser afectada por un proceso geológico determinado (Sepúlveda, 1998).

Cada uno de los distintos procesos de remoción en masa se generan y se comportan de distintas maneras, de acuerdo a esto cada uno podrá ser influenciado por diversos factores de maneras y grados diferentes. Este estudio presenta los diferentes factores a considerar para la determinación de la susceptibilidad o amenaza de cada evento de remoción en masa.

Tabla 1 Factores que condicionan a cada tipo de movimiento en masa.

Tipo de remoción en masa Factores Condicionantes	Caídas	Deslizamientos	Toppling	Flujos	Extensiones Laterales
Geología y Geotecnia	X	X	X	X	X
Geomorfología	X	X	X	X	X
Hidrología e Hidrogeología	X	X	X	X	X
Vegetación y Clima		X		X	X
Actividad Antrópica	X	X	X	X	

Fuente: Hauser, (1993)

6.3.1.1 GEOLOGÍA

La geología y la geotecnia influyen en mayor o menor grado en la generación de diversos eventos de remoción en masa. Entre los factores de esta categoría se cuentan el tipo de depósito y el material que lo compone, su densidad, plasticidad, humedad, permeabilidad; la litología de las rocas, su estructura, alteración y meteorización. (Hauser, 1997).

El tipo de depósito condiciona ciertas características en su comportamiento; por ejemplo, los depósitos volcanoclásticos, glaciales, escombros de falda, aluviales, coluviales, y de antiguos flujos de detritos son susceptibles a ser movilizados y/o removilizados, ya que son materiales permeables, donde el agua se infiltra fácilmente, superando su capacidad de infiltración y produciendo la saturación rápida y facilitando el escurrimiento rápido del agua en este material saturado (Hauser, 1997). En general, esto aplica a materiales sueltos, donde se incluyen también depósitos de deslizamientos antiguos y/o desprendimientos y laderas que presenten reptación lenta o soliflucción (Hauser, 1993). Por otro lado, en materiales menos permeables, como aquéllos de grano fino, densos, arcillosos y rocosos con escasas fracturas, el escurrimiento de agua superficial es relativamente más rápido debido a su poca capacidad de infiltración y a la menor rugosidad de sus estructuras (Jacoby, 2001)

La composición y granulometría del material adquiere relevancia al ser determinante de las propiedades de resistencia del depósito y su estabilidad en laderas. La plasticidad y humedad de un suelo influirá directamente en su grado de cohesión. Si un suelo fino tiene alta cohesión (como es el caso de arcillas), la presencia de niveles de poco espesor podría generar superficies potenciales de deslizamientos para el material que lo sobreyace. En tanto, un suelo grueso arenoso presenta cohesión dependiendo de la humedad a la que se encuentre, variando sus propiedades de resistencia en función de esta condición.

El parámetro de densidad del suelo es relevante para la determinación de la resistencia al cizalle del material, donde un suelo denso presentará resistencias (máximas) mayores a las alcanzadas por los suelos sueltos (Lambe & Whitman, 1972).

La permeabilidad influye directamente en la distribución del flujo de las aguas subterráneas y superficiales y por ende en la condición de saturación del suelo, donde una saturación del 100% representa la condición más desfavorable para la generación de deslizamientos y flujos.

Para el caso de rocas o caracterización de partículas mayores en un suelo, la litología es un factor que influirá en la resistencia a la meteorización y alteración de la roca. La presencia de minerales secundarios (ceolitas, arcillas, sericita, clorita), característicos de alteraciones hidrotermales, aceleraría los procesos de meteorización, influyendo de manera relevante en factores como la pérdida de resistencia, facilidad para incorporar agua, expansividad, incremento en la porosidad, etc. (Jacoby, 2001).

Las estructuras comprenden principalmente planos de estratificación, sets de diaclasas, grietas de tensión y fallas, siendo necesario que éstas sean caracterizadas en cuanto a su abertura, relleno y rugosidad. La presencia de diversos sets estructurales y de estructuras que conforman planos de ruptura mayores en la roca podrán permitir la generación de cuñas que representan posibles planos de deslizamiento en las laderas. De igual forma actuaría la estratificación, sobre todo si se trata de rocas alteradas y meteorizadas. La condición y orientación de las estructuras es bastante relevante, encontrándose que estructuras abiertas con rellenos de minerales blandos o estructuras poco rugosas, tenderán a conformar planos de debilidad en el macizo; por otro lado estructuras en la dirección del manto del talud generarán condiciones inestables para la ladera; sin embargo, dentro de esta categoría se considera también el volcamiento o “toppling”, que se genera cuando los estratos mantean en sentido opuesto a la ladera y se “vuelcan” (González et al., 2002). En la evaluación de peligro de generación de derrumbes o caídas este factor aparece como uno de los más importantes como condicionante, puesto que es el que genera la independencia de bloques

susceptibles a ser removidos ya sea por vibraciones sísmicas o, en menor cantidad, por infiltración de agua en las fracturas.

6.3.1.2 GEOMORFOLOGÍA

Los rasgos geomorfológicos que condicionan eventos de remoción en masa son principalmente la topografía, pendientes de las laderas, cambios fuertes de pendientes de las laderas y la extensión y altura de las laderas. Estas características inciden en la velocidad, energía y volumen de las remociones que puedan originarse. Así también, cualquier modificación de ellos puede transformar una ladera estable en inestable y generar remociones (Popescu, 2002).

La topografía escarpada y ángulos altos de pendientes de laderas es el primer factor geomorfológico a considerar, siendo propicios principalmente para la generación de flujos, deslizamientos y derrumbes. En casos específicos, la generación de flujos se ve favorecida por la existencia de laderas de topografía abrupta que disminuyen la estabilidad de los depósitos, donde el escurrimiento de agua superficial actúa como agente desestabilizador (Keefer, 1984).

Se estima que en presencia de sismos de intensidades superiores a IV, taludes con ángulos de 15° serán susceptibles de generar deslizamientos en suelos de tipo traslacional, en tanto ángulos con taludes de 10° serían suficientes para generar deslizamientos rotacionales. Para laderas de roca, las pendientes altas son las que controlan la generación de deslizamientos, donde taludes de ángulos iguales a 35° serían susceptibles a generarlos, y ángulos de 15° podrían generar deslizamientos de roca masivos o en bloques para el caso sísmico. Por otro lado, las caídas de rocas ante un sismo pueden generarse a partir de rocas fracturadas, meteorizadas, poco resistentes, en zonas donde los taludes son mayores o iguales a 40° (Keefer, 1984). También pueden darse desprendimientos de suelo, a partir de material arenoso o gravoso levemente cementado o arcillas no compactas. Estos desprendimientos, según Keefer, se podrían generar para los mismos taludes que en roca, es decir, taludes de ángulo mayor o igual a 40° .

Naturalmente, para que alguna remoción se genere debe existir material susceptible a ser movilizado. Dentro de este punto, se hace necesario lograr identificar depósitos de antiguos deslizamientos o flujos, principalmente si se encuentran en estado suelto, o la identificación de depósitos coluviales que se ubican en general en los pies de laderas y quebradas, donde su condición de equilibrio límite los hace muy propensos a generar deslizamientos (o flujos).

La geometría de la ladera en tanto es uno de los factores más importantes en la evaluación de generación de deslizamientos, por cuanto determinará las orientaciones de las fuerzas resistentes y las solicitantes.

6.3.1.3 HIDROLOGIA

La red de drenaje, las posiciones y variaciones del nivel freático, caudales, coeficientes de escorrentía y coeficientes de infiltración, son factores hidrológicos e hidrogeológicos que condicionan la generación de remociones en masa ya que están directamente relacionados a la incorporación de agua en los suelos o macizos rocosos.

Así mismo, es de gran importancia tener en cuenta las características físicas morfométricas de la cuenca ante la respuesta hidrológica de la misma. Entre estas características se resaltan:

Coefficiente de forma (Kf): El factor forma hace una relación entre el ancho promedio de la cuenca y el largo promedio de la cuenca. Esta última medida se obtiene con la longitud del cauce principal y se define por la ecuación 1.

$$kf = \frac{A}{l^2} \quad Ec(1)$$

Donde, Kf - Factor forma, A - Área de la cuenca en Km² y L - Longitud Axial de la cuenca o longitud del cauce principal.

Coefficiente de compacidad (Kc): propuesto por Gravelius, compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia, cuyo círculo inscrito tiene la misma área de la cuenca en estudio. Kc

se define como la razón entre el perímetro de la cuenca que es la misma longitud del parteaguas que la encierra y el perímetro de la circunferencia, el cálculo de este coeficiente se realiza mediante la siguiente ecuación 2

$$k_c = \frac{0.28P}{\sqrt{A}} \quad Ec(2)$$

Donde, P es el perímetro y A es el área de la cuenca.

Índice de alargamiento (Ia): propuesto por Horton, relaciona la longitud máxima encontrada en la cuenca, medida en el sentido del río principal y el ancho máximo de ella medido perpendicularmente; se lo calcula de acuerdo a la fórmula siguiente donde: Ia es el Índice de alargamiento, Lm la longitud máxima de la cuenca y l el Ancho máximo de la cuenca, para valores superiores a 1, se trata seguramente de cuencas alargadas, mientras que para valores cercanos a 1, se trata de una cuenca cuya red de drenaje presenta la forma de abanico y puede tenerse un río principal corto

$$Ia = \frac{Lm}{l} \quad Ec(3)$$

Coefficiente de masividad (Km): Este coeficiente representa la relación entre la elevación media de la cuenca y su superficie (ecuación 4).

$$Km = \frac{Hm}{A} \quad Ec(4)$$

Donde, Km es el coeficiente masividad, Hm es la altura media de la cuenca y A es el área de la cuenca.

Orden de corriente. Existen diferentes métodos para obtener este índice (Gregory and Walling, 1985). En este estudio se utilizó el método de Strahler ya que es el más común, el más comprensible y el más fácil de relacionar con otros parámetros morfométricos. Este índice se obtiene mediante la agregación de corrientes, considerando una corriente de primer orden a aquella

que no tiene afluentes, una de segundo orden aquella donde se reúnen dos corrientes de primer orden, una de tercero donde confluyen dos de segundo orden y así sucesivamente.

Densidad de drenaje (Dd): Se calcula dividiendo la longitud total de las corrientes de la cuenca por el área total que las contiene mediante la ecuación 5, donde L es la Longitud de las corrientes efímeras, intermitentes y perennes de la cuenca en (Km) y A el Área de la cuenca en (Km²)

$$Dd = \frac{L}{A} \quad Ec(5)$$

La densidad de drenaje varía inversamente con la extensión de la cuenca. Con el fin de catalogar una cuenca bien o mal drenada, analizando su densidad de drenaje, se puede considerar que valores de Dd próximos a 0.5 km/ Km² o mayores indican la eficiencia de la red de drenaje. La red de drenaje toma sus características, influenciada por las lluvias y la topografía. Por esto se tiene que para un valor alto de Dd corresponden grandes volúmenes de escurrimiento, al igual que mayores velocidades de desplazamiento de las aguas, lo que producirá ascensos de las corrientes. En períodos de estiaje se esperan valores más bajos del caudal en cuencas de alta densidad de drenaje y de fuertes pendientes, mientras que en cuencas planas y de alta densidad de drenaje, se espera estabilidad del régimen de caudales, debido al drenaje subsuperficial y al aporte subterráneo (Walling, 2004).

Número de Escurrimientos: es cantidad de afluentes naturales de la cuenca. Se contabiliza mediante SIG a través del número de segmentos marcados en el mapa digitalizado. Constituye una medida de la energía de la cuenca, de la capacidad de captación de agua y de la magnitud de la red fluvial.

Pendiente del cauce principal: La pendiente del cauce se la puede estimar por diferentes métodos, uno de ellos es el de los valores extremos, el cual consiste en determinar el desnivel H entre los puntos más elevado y más bajo del río en estudio y luego dividirlo entre la longitud del mismo cauce a partir de la ecuación 6, donde, S es la Pendiente media del cauce, H el desnivel entre los puntos más elevado y más alto y L la Longitud del cauce

$$S = \frac{H}{L} \text{ Ec}(6)$$

Tiempo de concentración (Tc): corresponde al lapso entre el final de la lluvia y el momento en que cesa el escurrimiento superficial. Existen una serie de fórmulas que permiten el cálculo de este tiempo desarrolladas por diversos autores, para este estudio se utilizó la ecuación 7, donde Tc es el Tiempo de concentración (min), L es la Longitud del cauce principal en (Km) y S es la Pendiente del cauce principal (m/m)

$$Tc = 0,06626 \left(\frac{L^2}{S} \right)^{0.385} \text{ Ec}(7)$$

El suelo saturado presentará variaciones en los rangos de cohesión dependiendo de su granulometría. De todas maneras, la incorporación de agua en la estructura del suelo, que en ciertos casos puede llegar a la saturación, genera una disminución en la resistencia del material, disminuyendo su tensión efectiva producto de la generación de presiones de poros (Lambe & Whitman, 1972). En roca, el agua puede contribuir a la pérdida de resistencia al infiltrarse en las estructuras, ejerciendo tensiones en estas estructuras que se oponen a las tensiones que la mantienen estable.

La identificación de zonas húmedas o saturadas es de gran importancia para la identificación de áreas críticas para la generación éstos. La posición del nivel freático y sus

variaciones en este ámbito es importante, ya que, al encontrarse a poca profundidad, mediante la incorporación de agua por lluvias, éste puede ascender rápidamente llegando a generar la saturación del material superficial. Asimismo, en suelos arenosos afectados por solicitaciones sísmicas, el nivel freático puede ascender hasta el punto de saturar el material, generando en el suelo un comportamiento del tipo fluido viscoso (licuefacción del suelo) producto de la vibración. Se debe tener en cuenta en el momento de evaluar este factor que la distribución de agua subterránea varía de acuerdo a la topografía y a la condición de meteorización de la roca madre (Pathak & Nilsen, 2004).

Aunque los flujos de detritos se asocian a un suelo saturado, el flujo puede ir incorporando líquido en el trayecto, generándose en un principio por la inestabilidad del suelo condicionada por la resistencia, el ángulo de fricción interna y el grado de saturación del suelo (Yoshida et al., 1991). Pueden existir movimientos de ladera complejos, que pueden derivar en un flujo de detritos o un flujo seco, dependiendo si hay o no incorporación de agua al material transportado (Varnes, 1978). Por otro lado, la presencia de vertientes en zonas escarpadas o acantilados contribuye a la infiltración de agua entre las fracturas de la roca, propiciando la separación de éstas y la posterior pérdida de contacto entre las paredes de la roca, que la mantienen estable.

6.3.1.4 CLIMA

Los principales factores que generan erosión de laderas son las precipitaciones, temperaturas, viento y radiación solar, siendo las precipitaciones el más importante entre éstos.

Las precipitaciones, además de ser consideradas uno de los factores desencadenantes de remociones en masa más importantes, condicionan la estabilidad del macizo, al disminuir la resistencia de las estructuras al incorporar agua entre las fracturas del macizo y/o la estructura del suelo, disminuyendo el coeficiente de roce. Este factor adquiere gran importancia por ejemplo para la generación de caídas de roca en zonas de acantilados, puesto que el agua se infiltra por arriba y

las caídas suelen producirse cerca de la cumbre de las laderas. Por otro lado, la mayor cantidad de grandes flujos de detritos y barro han sido gatillados por lluvias intensas, asociadas con saturación del material por lluvias antecedentes cercanas al día del evento que en este caso estarían actuando como condicionante en la estabilidad de la ladera.

Por otra parte, otro factor climático de importancia corresponde a la temperatura. La temperatura condiciona el estado de la precipitación, es decir, si es sólida o líquida, controla el punto de fusión de la nieve, modifica la humedad del suelo luego de las lluvias y condiciona el congelamiento del suelo.

Los procesos de hielo-deshielo condicionan fuertemente la estructura del macizo rocoso al ser responsables del fracturamiento de éste a través del crioclastismo, el cual a su vez es función de la orientación de las laderas producto del grado de exposición al sol (Naranjo, 2007, comunicación oral).

Por otro lado, el viento tiene efectos sobre el ángulo de incidencia de las gotas de lluvia y además en la desestabilización de laderas abruptas con árboles (Selby, 1993).

6.3.1.5 VEGETACIÓN

En este contexto, Prieto (1985) establece que la estabilidad dada por la vegetación está fuertemente condicionada por el efecto del clima y topografía, pues, por ejemplo, en zonas que sufren de fuertes vientos, si la pendiente es fuerte, los árboles remueven el terreno provocando su desestabilización. Además, en zonas de climas lluviosos, con abundante vegetación, puede ocurrir que la evapotranspiración no alcance a compensar la alta infiltración, por lo que el nivel freático asciende saturando el material.

Según Selby (1993), la vegetación contribuiría a disminuir el efecto erosivo sobre las laderas generado por factores como el clima, propiedades del suelo y topografía. La existencia de

árboles en las laderas permitiría la absorción de agua por parte de estos disminuyendo el grado de saturación del suelo. Además, sus raíces en general ayudarían a la estabilización de las laderas actuando como anclajes de reforzamiento, sin dejar de considerar que en algunos casos esta estabilización es sólo superficial.

Selby (1993) establece que la vegetación ideal para la estabilización de laderas correspondería a bosques con suelos cubiertos de pasto o hierba, exponiendo los principales efectos de la vegetación sobre la estabilidad del suelo, los cuales incluyen: que la vegetación interceptaría el agua caída, disminuiría la capacidad de erosión provocada por el agua en las laderas y aumentaría la resistencia del suelo y su porosidad. Además, aumentaría la evapotranspiración del agua disminuyendo el grado de saturación del suelo y produciría compactación del suelo más profundo (Greenwood & Norris, 2006). En tanto, el escaso desarrollo de vegetación pareciera contribuir a restar estabilidad a las laderas, además de demostrar una alta sensibilidad a la erosión hídrica (Jacoby, 2001), puesto que en general las raíces tenderían a actuar como agentes estabilizadores.

Greenwood (2006) elabora un programa computacional para análisis de estabilidad de laderas que permite incluir, entre otros, los efectos de la vegetación, especialmente de sus raíces, en la estabilidad de las laderas.

6.3.1.6 USO DEL SUELO

Los procesos de degradación más relevantes en Colombia son la erosión, el sellamiento de suelos, la contaminación, la pérdida de la materia orgánica, la salinización, la compactación y la desertificación; procesos que afectan en gran medida a las regiones Caribe, Andina y Orinoquia y que comienzan a notarse en la Amazonia y en el litoral Pacífico. Entre las causas de la degradación y la gestión insostenible de los suelos en el país se tienen: la creciente demanda de bienes y servicios de los suelos, el desconocimiento de las funciones e importancia del suelo y de alternativas para su recuperación, restauración y rehabilitación, procesos de planeación y de

ordenamiento del territorio que no tienen en cuenta las características de los suelos, debilidad en los procesos de seguimiento a la calidad de los suelos, desarticulación institucional y carencia de normas e instrumentos para la gestión sostenible del suelo.(Siac,2012)

El control que ejerce el factor humano sobre la estabilidad de laderas es muchas veces primordial en la generación de eventos de remoción en masa. Ejemplos de actividades que influyen en esto son excavaciones, rellenos, construcción de estructuras, urbanización, cambios en el uso del suelo, extracción de áridos y acumulación de escombros. Estos, entre otros, pueden contribuir tanto a la desestabilización de las laderas producto de la disminución artificial de la resistencia del material, como a la contribución de material para ser movilizados por futuros eventos y cambios en la escorrentía superficial y en la topografía. A esto se suma la deforestación que se lleva a cabo producto de tala ilegal. (Siac,2012)

Otro efecto producido por estas actividades tiene que ver con el aspecto climático. A escala global, las actividades antrópicas en el último tiempo han afectado directamente en el cambio climático terrestre, lo cual está asociado a variaciones en las temperaturas, tipo e intensidad de precipitaciones y su distribución, influyendo directamente en la generación de remociones que derivan en desastres.

6.3.2 REMOCION Y MOVIMIENTO EN MASA.

6.3.2.1 CLASIFICACIÓN

Son muchos los autores que han propuesto su clasificación de los diferentes tipos de remoción en masa, Cruden & Varnes (1996) realizaron una de las más adoptadas en los diferentes trabajos que abarcan el estudio de las mismas, su clasificación se da de acuerdo al tipo de movimiento y al material involucrado (Varnes, 1978). En este aspecto, los tipos de materiales, a partir de los cuales se pueden generar los distintos tipos de eventos, corresponden a roca y suelo;

en tanto los tipos de movimientos que se pueden generar son desprendimientos, volcamientos, deslizamientos, extensiones laterales, y flujos. La combinación de estos términos dará el nombre a la remoción en masa, sin perder en consideración que pueden existir eventos combinados que le den complejidad tanto al comportamiento del fenómeno como a la clasificación que se pretenda otorgarle. En la siguiente tabla se podrá observar la clasificación de las cada una de las remociones en masa.

Tabla 2. Clasificación de Remociones en Masa

Tipo de Movimiento		Tipo de Material	
		Roca	Suelo
Suelo			
Deslizamiento	Rotacional		Grano Fino (Barro, >80% partículas <2mm)
	Traslacional		
Extensiones Laterales			Grano Grueso (Detritos, <80% partículas <2mm)
Flujos			
Complejos			

Fuente: Tambo Encalada, (2011)

Tabla 3. Escala de velocidad de remociones en masa.

-Clase según velocidad	Descripción	Velocidad [m/s]	Velocidad típica
7	Extremadamente rápido	5	5 m/s
6	Muy rápido	0,05	3 m/min
5	Rápido	5×10^{-4}	1,8 m/hr
4	Moderado	5×10^{-6}	13 m/mes
3	Lento	5×10^{-8}	1,6 m/año
2	Muy lento	5×10^{-10}	16 mm/año
1	Extremadamente lento	$< 5 \times 10^{-10}$	<16 mm/año

Fuente: Tambo Encalada, (2011)

Los movimientos en masa presentan diferentes fases de desplazamientos, que van desde extremadamente rápidos a extremadamente lentos. De manera de unificar estos términos, Cruden & Varnes (1996) relacionaron valores de tasa de movimiento con términos cualitativos de rapidez. Existe un tipo de clasificación que catalogan las remociones en masa generadas por terremotos, las cuales pueden ser divididas en las categorías que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 4 Clasificación de remociones en masa basada en generación por sismos.

Tipo de remoción	Velocidad	Profundidad
Caídas de roca	Extremadamente rápido (>3 m/s)	Superficiales (<3 m)
Deslizamientos de roca	Rápido a extremadamente rápido (1,5 m/día - >3 m/s)	Superficiales (<3 m)
Avalanchas de roca	Extremadamente rápido (>3 m/s)	Profundos (>3 m)
Caídas de suelo	Extremadamente rápido (>3 m/s)	Superficiales (<3 m)
Suelo perturbado	Moderado a rápido (1,5 m/mes - 0,3 m/min)	Superficiales (<3 m)
Avalanchas de suelo	Muy rápido a extremadamente rápido (0,3 m/min - >3 m/s)	Superficiales (<3 m)
Subsidencias de roca	Lento a rápido (1,5 m/año - 0,3 m/min)	Profundos (>3 m)
Deslizamientos de roca en bloque	Lento a rápido (1,5 m/año - 0,3 m/min)	Profundos (>3 m)
Subsidencias de suelo	Lento a rápido (1,5 m/año - 0,3 m/min)	Profundos (>3 m)
Deslizamientos de suelo en bloque	Lento a rápido (1,5 m/año - 0,3 m/min)	Profundos (>3 m)
Flujos lentos de tierra	Muy lento a moderado (0,6 m/año - 1,5 m/día)	Generalmente superficiales, ocasionalmente profundos
Extensiones laterales de suelo	Muy rápido (0,3 m/min - 3 m/s)	Variable
Flujos rápidos de suelo	Muy rápido a extremadamente rápido (0,3 m/min - >3 m/s)	Superficiales (<3 m)
Deslizamientos subacuáticos	Generalmente rápidos a extremadamente rápidos (~1,5 m/día - >3 m/s)	Variable

Fuente: Tambo Encalada, (2011)

Después de conocer la forma en que se clasifican los movimientos en masa, en las siguientes ilustraciones se podrán identificar la forma en la que se nos presentarían en campo, o la manera que se pueden identificar gráficamente.

❖ CAÍDA

La caída es un tipo de movimiento en masa en donde uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden y Varnes, 1996), es decir con velocidades mayores a 5×10^1 mm/s. Los acantilados

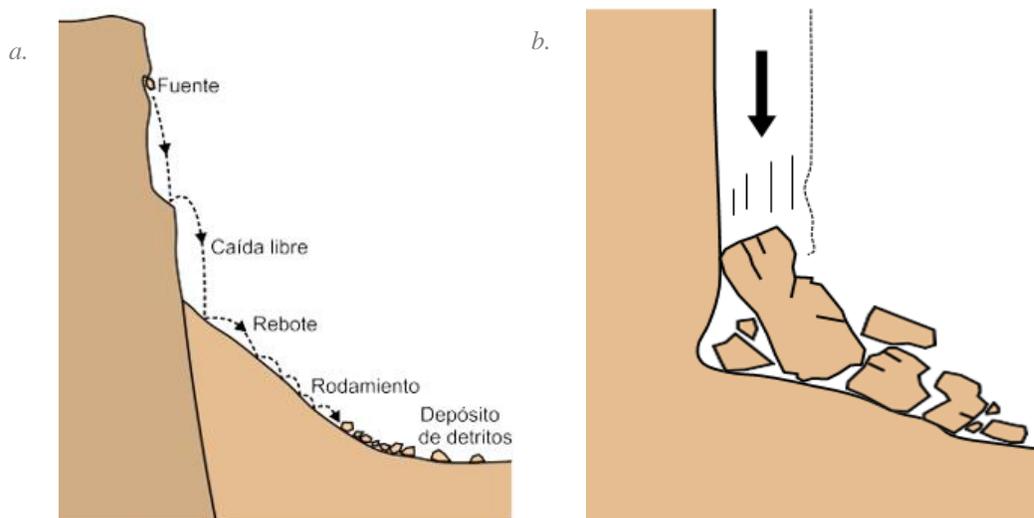


Ilustración 2.(a)Esquema de caída de rocas(b)Movimiento denominado "Colapso", (gemma, 2007)

de roca son usualmente la fuente de caídas de roca, sin embargo, también puede presentarse el desprendimiento de bloques de laderas en suelo de pendiente alta.

• VOLCAMIENTO

Es un movimiento en masa en el cual hay una rotación generalmente hacia adelante de uno o varios bloques de roca o suelo, alrededor de un punto de giro en su parte inferior. Este movimiento

ocurre por acción de la gravedad, por empujes de las unidades adyacentes o por la presión de fluidos en grietas (Varnes, 1978).

Goodman y Bray (1976) diferencian el vuelco de bloques del vuelco flexural. El vuelco de bloques involucra roca relativamente competente, donde la falla ocurre por pérdida de estabilidad y rotación de uno o varios bloques a partir de un punto en su base. El vuelco flexural, en cambio, involucra roca más frágil y densamente diaclasada (fractura en las rocas); el fallamiento ocurre por el doblamiento de columnas de rocas delgadas. Los movimientos en este caso pueden ser lentos y graduales.

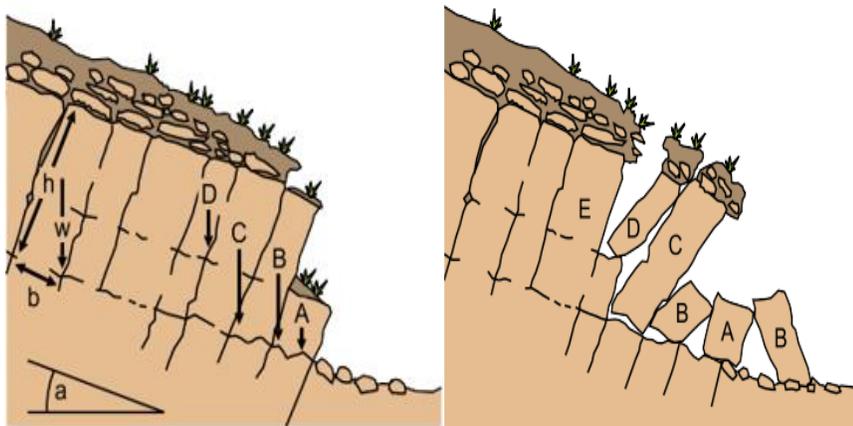


Ilustración 3. Esquema de vuelco en bloque, (gemma, 2007)

- **DESLIZAMIENTO**

Se trata de un movimiento cuesta abajo de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante. En el sistema de Varnes (1978), se clasifican los deslizamientos, según la forma de la superficie de falla por la cual se desplaza el material.

- **Deslizamiento traslacional**

Deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla plana u ondulada. En general, estos movimientos suelen ser más superficiales que los rotacionales y el

desplazamiento ocurre con frecuencia a lo largo de fallas, diaclasas, planos de estratificación o planos de contacto entre la roca y el suelo residual o transportado que yace sobre ella Varnes,

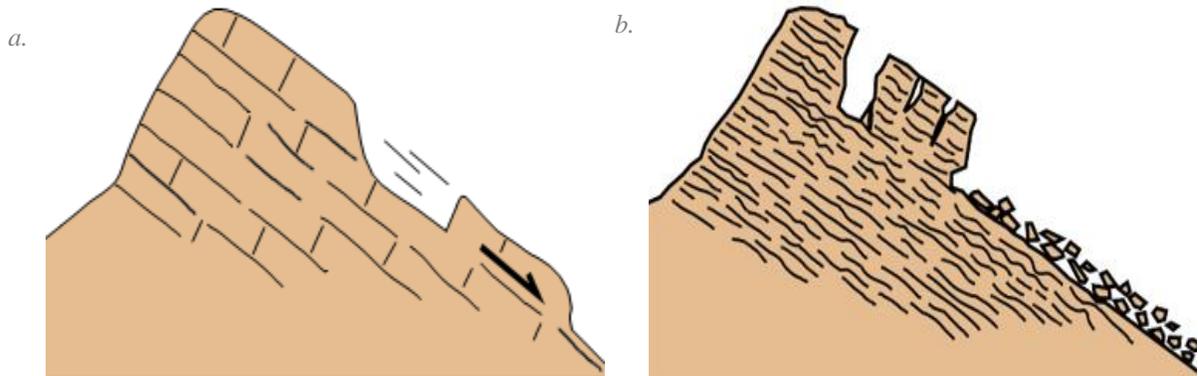
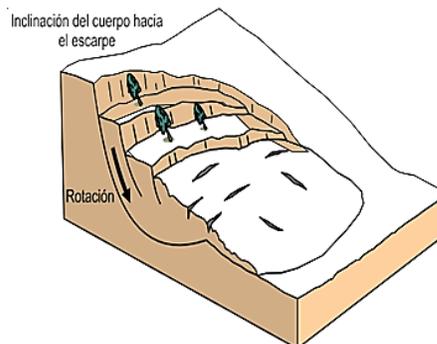


Ilustración 4.(a) y (b) Esquema de un deslizamiento traslacional, llamado resbalamiento y corrimiento (gemma, 2007)

(1978).

- **Deslizamiento Rotacional**

Es un tipo de deslizamiento en el cual la masa se mueve a lo largo de una superficie de falla curva y cóncava. Los movimientos en masa rotacionales muestran una morfología distintiva caracterizada por un escarpe principal, al pronunciado y un contrapendiente de la superficie de la cabeza del deslizamiento hacia el escarpe principal. La deformación interna de la masa desplazada es muy poca. Los deslizamientos rotacionales pueden ocurrir lenta a rápidamente, con velocidades menores a 1 m/s.



- **Deslizamiento por flujo (deslizamiento por licuación)**

El término flow slide fue introducido por Casagrande (1936), para designar deslizamientos que en fases posteriores a su iniciación se comportan como un flujo, como resultado de licuación (Varnes, 1978). Hungr et al. (2001) lo definen como flujo muy rápido o extremadamente rápido de una masa de suelo con estructura granular ordenada o desordenada. Ocurre en taludes de pendiente moderada e involucra un exceso de presión de poros o licuación del material en la zona donde se origina el movimiento en masa. De acuerdo con el tipo de material, puede denominarse más específicamente como: deslizamiento por flujo de arena, deslizamiento por flujo de limo, deslizamiento por flujo de detritos o deslizamiento por flujo de roca débil (Hungr et al., 2001). Debe enfatizarse que este término implica la licuación del material que hace parte del movimiento en masa, aunque en general la licuación ocurre sólo después de un desplazamiento importante.

El término “deslizamiento por flujo” no tiene ninguna connotación morfológica o cinemática, es simplemente un término propuesto por los primeros investigadores del proceso de licuación, como Casagrande (1936). Este es un término muy importante desde el punto de vista práctico, ya que los deslizamientos por flujo, por sus características de ocurrencia súbita, altas velocidades y grandes distancias de viaje, representan uno de los fenómenos más peligrosos. Por fortuna, su ocurrencia está limitada a ciertos materiales geológicos que son susceptibles de licuación durante su fallamiento. También son características de este tipo de materiales la tendencia a reducir su volumen, y la pérdida de la resistencia durante la falla.

El movimiento de algunos deslizamientos por flujo está dominado por deformación interna del material y aquellos podrían denominarse mejores propagaciones laterales extremadamente rápidas.

❖ PROPAGACIÓN LATERAL

La propagación o expansión lateral es un tipo de movimiento en masa cuyo desplazamiento ocurre predominantemente por deformación interna (expansión) del material. La mayoría de los deslizamientos y los flujos involucran algún grado de expansión. Las propagaciones laterales pueden considerarse como la etapa final en una serie de movimientos donde la deformación interna predomina decididamente sobre otros mecanismos de desplazamiento como los que imperan en el deslizamiento o el flujo.

Varnes (1978) distingue dos tipos de propagación, uno en que el movimiento afecta a todo el material sin distinguirse la zona basal de cizalla, típico de masas rocosas, y otro que ocurre en suelos cohesivos que sobreyacen a materiales que han sufrido licuefacción o a materiales en flujo plástico.

Las propagaciones laterales pueden desarrollarse y evidenciar deformación plástica de materiales frágiles bajo el peso de una unidad competente. Algunos autores señalan que hay una relación continua entre deslizamientos y expansiones laterales, dependiendo de la importancia de la deformación interna. De esta forma, muchos casos de propagación lateral podrían incluirse dentro de la categoría de deslizamientos compuestos, como lo propone Hutchinson (1988).

Debe hacerse una distinción importante entre las propagaciones laterales lentas como las que ocurren en estratos rocosos gruesos que sobreyacen a materiales blandos, y las que involucran licuación de materiales sensibles tales como arenas saturadas de densidad relativa baja a media o limos y arcillas sensitivas. En las primeras el estrato competente superior puede fracturarse y separarse en bloques o losas; el material blando inferior fluye hacia las grietas entre los bloques y así el movimiento de éstos es extremadamente lento. Las segundas, usualmente inducidas por terremotos, son extremadamente rápidas y peligrosas. Algunos autores prefieren incluir este último

tipo de movimiento en masa bajo la categoría de deslizamientos por flujo, los cuales se describen más adelante (Hung et al., 2001) o en los flujos.

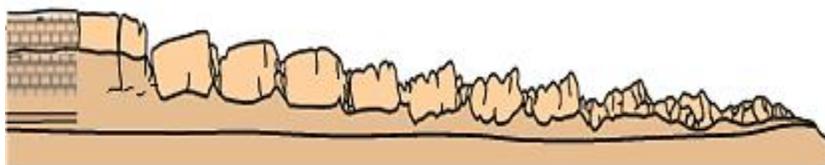


Ilustración 6. Esquema de expansiones laterales, (gemma, 2007)

- **FLUJOS**

Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978).

Hung et al. (2001), clasifican los flujos de acuerdo con el tipo y propiedades del material involucrado, la humedad, la velocidad, el confinamiento lateral y otras características que los hacen distinguibles; así mismo, aportan definiciones que enfatizan aspectos de uso práctico útiles para el estudio de amenazas.

Es importante hacer la distinción entre los diferentes tipos de flujos cuando se analiza la amenaza a que está sometida un área ya que, como se describe más adelante, el potencial destructivo es característico de cada tipo. Por ejemplo, es importante establecer la diferencia entre flujo de detritos y avalancha de detritos. En el caso del flujo de detritos (movimiento en masa canalizado) el estudio de amenaza se deberá concentrar en una trayectoria preestablecida o canal y en el área de deposición o abanico, áreas potencialmente afectadas.

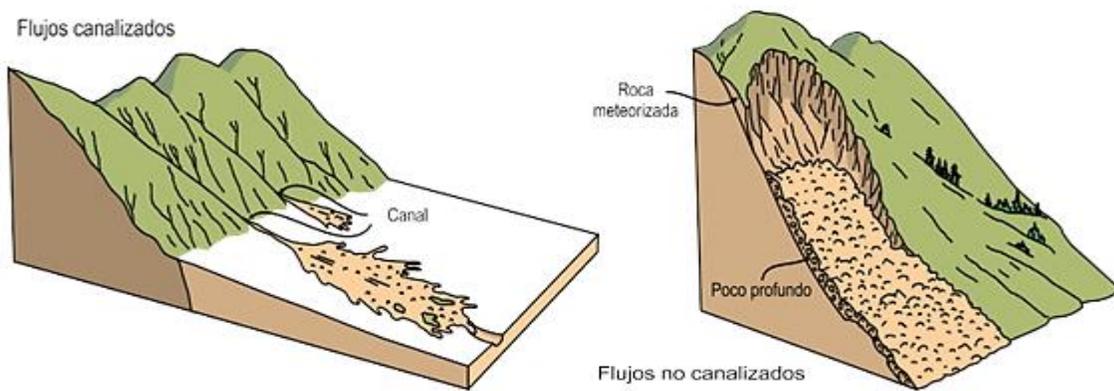


Ilustración 7 Esquema de flujos canalizados y no canalizados, según (gemma, 2007)

- **Flujos secos**

El término flujo trae naturalmente a la mente la idea de contenido de agua, y de hecho para la mayoría de los movimientos de este tipo se requiere cierto contenido de agua. Sin embargo, ocurren con alguna frecuencia pequeños flujos secos de material granular y se ha registrado un número considerable de flujos grandes y catastróficos en materiales secos (Varnes, 1978).

El flujo seco de arena es un proceso fundamental en la migración de dunas de arena. Los flujos secos de talud son importantes en la formación de conos de talud (Evans y Hungr, 1993). Los de limo a veces son desencadenados por el fallamiento de escarpes empinados o barrancos de material limoso (Hungr et al., 2001).

- **Flujo de detritos**

Es un flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos (Índice de plasticidad menor al 5%), que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce con pendiente pronunciada. Se inician como uno o varios deslizamientos superficiales de detritos en las cabeceras o por inestabilidad de segmentos del cauce en canales de pendientes fuertes. Los flujos de detritos incorporan gran cantidad de material saturado en su trayectoria al descender en el canal y finalmente los depositan en abanicos de detritos. Sus depósitos tienen rasgos característicos como albardones o diques longitudinales, canales en forma de u, trenes de bloques rocosos y grandes bloques individuales. Los flujos de detritos desarrollan pulsos usualmente con

acumulación de bloques en el frente de onda. Como resultado del desarrollo de pulsos, los caudales pico de los flujos de detritos pueden exceder en varios niveles de magnitud a los caudales pico de inundaciones grandes. Esta característica hace que los flujos de detritos tengan un alto potencial destructivo.

Muchos de los desastres más devastadores en el mundo, en términos de pérdidas económicas, han sido atribuidos a flujos de detritos. Entre otros, se pueden mencionar los casos de Vargas en Venezuela (1999), Taiwán (1996) y el lahar detonado por el derretimiento de nieve del Volcán Nevado del Ruiz, Colombia (1985). Además, una fracción significativa de muertes durante desastres regionales, causados por tormentas o terremotos, se debe a la ocurrencia de flujos y avalanchas de detritos en zonas de topografía abrupta (Jakob y Hungr, 2005).

- **Flujo de lodo**

Flujo canalizado muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados plásticos, cuyo contenido de agua es significativamente mayor al del material fuente (Índice de Plasticidad mayor al 5%). El carácter de este tipo de movimiento es similar al del flujo de detritos, pero la fracción arcillosa modifica la reología del material. También se distingue de los deslizamientos por flujo de arcilla, en que el flujo de lodo incorpora agua superficial durante el movimiento, mientras que el deslizamiento por flujo ocurre por licuación in situ, sin un incremento significativo del contenido de agua (Hungr et al., 2001). En algunos países de Sudamérica se denomina flujo o torrente de barro.

- **Flujo de tierra**

Es un movimiento intermitente, rápido o lento, de suelo arcilloso plástico (Hungr et al., 2001). Los flujos de tierra desarrollan velocidades moderadas, con frecuencia de centímetros por año, sin embargo, pueden alcanzar valores hasta de metros por minuto (Hutchinson, 1998). El volumen de los flujos de tierra puede llegar hasta cientos de millones de metros cúbicos.

Las velocidades medidas en flujos de tierra generalmente están en el intervalo de 10^{-5} a 10^{-8} mm/s, y por tanto son generalmente lentos o extremadamente lentos.

❖ AVALANCHAS

Las avalanchas, a diferencia de los deslizamientos, presentan un desarrollo más rápido de la rotura. Según el contenido de agua o por efecto de la pendiente, la totalidad de la masa puede licuarse, al menos en parte, fluir y depositarse mucho más allá del pie de la ladera (Varnes, 1978). Las avalanchas de detritos son morfológicamente similares a las avalanchas de rocas.

• **Avalancha de detritos**

Flujo no canalizado de detritos saturados o parcialmente saturados, poco profundos, muy rápidos a extremadamente rápidos. Estos movimientos comienzan como un deslizamiento superficial de una masa de detritos que al desplazarse sufre una considerable distorsión interna y toma la condición de flujo. Relacionado con la ausencia de canalización de estos movimientos, está el hecho de que presentan un menor grado de saturación que los flujos de detritos, y que no tienen un ordenamiento de la granulometría del material en sentido longitudinal, ni tampoco un frente de material grueso en la zona distal (Hungar et al., 2001).

• **Avalancha de rocas**

Las avalanchas de rocas son flujos de gran longitud extremadamente rápidos, de roca fracturada, que resultan de deslizamientos de roca de magnitud considerable (Hungar et al., 2001). Pueden ser extremadamente móviles y su movilidad parece que crece con el volumen. Sus depósitos están usualmente cubiertos por bloques grandes, aún cuando se puede encontrar bajo la superficie del depósito material fino derivado parcialmente de roca fragmentada e incorporada en la trayectoria. Algunos depósitos de avalanchas pueden alcanzar volúmenes del orden de

kilómetros cúbicos y pueden desplazarse a grandes distancias; con frecuencia son confundidos con depósitos morrénicos. Las avalanchas de rocas pueden ser muy peligrosas, pero afortunadamente no son muy frecuentes incluso en zonas de alta montaña. Algunas avalanchas de roca represan ríos y pueden crear una amenaza secundaria asociada al rompimiento o colmatación de la presa. Las velocidades pico alcanzadas por las avalanchas de rocas son del orden de 100 m/s, y las velocidades medias pueden estar en el rango de 30–40 m/s.

6.3.2.2 OTROS MOVIMIENTOS EN MASA

❖ DEFORMACIONES GRAVITACIONALES PROFUNDAS

Hay una variedad de procesos que podrían describirse como deformaciones de laderas (Hutchinson, 1988) o deformaciones gravitacionales profundas. Estos tipos presentan rasgos de deformación, pero sin el desarrollo de una superficie de ruptura definida y usualmente con muy baja magnitud de velocidad y desplazamiento.

Algunas deformaciones de laderas deben ser consideradas como precursoras de deslizamientos en gran escala. Las mediciones de velocidades de este tipo de movimiento están en el rango de 10^{-8} a 10^{-9} mm/s, extremadamente lentas.

❖ REPTACIÓN

La reptación se refiere a aquellos movimientos lentos del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La reptación puede ser de tipo estacional, cuando se asocia a cambios climáticos o de humedad del terreno, y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo.

Dentro de este movimiento se incluyen la soliflucción y la geliflucción, este último término reservado para ambientes periglaciales. Ambos procesos son causados por cambios de volumen de

carácter estacional en capas superficiales del orden de 1 a 2 metros de profundidad, combinados con el movimiento lento del material ladera abajo.

La reptación de suelos y la solifluxión son importantes en la contribución a la formación de delgadas capas de suelo coluvial a lo largo de laderas de alta pendiente. Estas capas pueden ser subsecuentemente la fuente de deslizamientos de detritos superficiales y de avalanchas de detritos.

6.3.2.3 AGENTES DETONANTES DE REMOCIONES EN REMOCIONES EN MASA

Un agente gatillante o desencadenante es un factor externo que genera una respuesta traducida en una remoción en masa mediante el rápido incremento de esfuerzos o la reducción de la resistencia del material de una ladera (Wieczorek, 1996). Un agente gatillante se caracteriza principalmente por la existencia de un corto lapso entre causa y efecto.

Entre los agentes desencadenantes más comunes de remociones en masa se cuentan principalmente las lluvias de gran intensidad y los sismos; secundariamente las erupciones volcánicas, la intervención antrópica, la fusión de nieve, la erosión de canales, entre otros.

❖ PRECIPITACIONES

González et al. (2002) destacan que las lluvias como factores detonantes de remociones en masa se encuentran relacionadas con su intensidad, duración y distribución. Así, precipitaciones de poca intensidad en periodos prolongados de tiempo y precipitaciones de gran intensidad en periodos cortos de tiempo podrían desencadenar eventos de remociones en masa en zonas donde el escenario sea favorable para ello. Dentro de este aspecto, las precipitaciones cortas e intensas serían susceptibles a provocar eventos superficiales, en tanto remociones generadas a más profundidad serían provocadas por eventos distribuidos en largo periodo de tiempo (Kim, 2004).

En general, distintas zonas necesitarán lluvias de intensidad y/o duración que superen un umbral característico para generar remociones en masa. El conflicto radica en la estimación de estos umbrales, para lo cual se requiere de datos idealmente continuos de precipitaciones o con alta frecuencia que permitan la realización de análisis estadísticos para la zona de estudio.

Por su parte, Hauser (1985) establece que las lluvias generadas en periodos estivales en la zona preandina de la Región Metropolitana, con un umbral de 60 mm/día en la zona preandina, son de crucial importancia para la generación de eventos de remoción en masa, ya que esto se asocia con las características mecánicas tanto de los suelos superficiales como de las rocas que experimentan resecaamiento por ausencia de lluvias, generándose un microfracturamiento superficial propicio para la generación de flujos ante la presencia de lluvias repentinas e intensas.

Tabla 5 Efectos de la saturación por precipitaciones.

Efectos asociados	Consecuencias	Inestabilidades producidas
Lluvias intensas -Infiltración-	Elevación del nivel freático	Deslizamientos (planos) de suelo sobre roca
		Deslizamientos circulares por empuje
	Carga de fisuras	Deslizamiento de taludes en suelo o en roca blanda
		Vuelco de masas rocosas
	Saturación	Movilización de taludes en equilibrio estricto. Reptaciones
		Hundimiento. Desplazamiento de bloques
Inundación de la base del talud	Disminución de resistencia en zonas críticas	Deslizamiento por falta de resistencia
	Efectos de desembalse	Deslizamientos por tracción de pie
	Arrastres superficiales	Flujos sólidos en torrentes
Erosión de laderas	Acumulaciones en pie de conos de deyección	Deflación del cono
	Erosión interna	Hundimientos generalizados
Socavación	Eliminación de zonas resistentes	Deslizamientos progresivos desde el pie
		Vuelco de cornisas

Disolución	Creación de cavernas y túneles	Hundimientos en la cima
		Retroceso de cantiles

Referencia: (Tambo Encalada, 2011)

❖ SISMOS

Los sismos son otros grandes factores desencadenantes de remociones en masa en diversos escenarios geológicos y topográficos. Las aceleraciones sísmicas generan un cambio temporal en el régimen de esfuerzos al que está sometido la ladera, tanto normales como de corte, pudiendo producir su inestabilidad.

Keefner (1984) ha realizado estudios a partir de sismos ocurridos principalmente en Los Ángeles, EEUU., estableciendo que los tipos de remociones más abundantes generados por terremotos corresponderían a caídas de rocas, deslizamientos desagregados de suelos con pendientes de laderas $>15^\circ$ y deslizamientos de roca con pendientes de laderas hasta 40° , y secundariamente derrumbes en suelo, deslizamientos en bloques de suelo y avalanchas de tierra. Los flujos y avalanchas de roca son estadísticamente los que han generado mayor cantidad de muertes y daños.

En sus estudios, Keefner (1984) estableció magnitudes mínimas aproximadas para la generación de cierto tipo de fenómenos de remociones en masa, en base a observaciones de eventos de remoción en masa generados por sismos de magnitud menores o iguales a 5,3, estableciendo distancias máximas de 50 km entre el foco del sismo y zonas con ocurrencia de caídas de rocas y deslizamientos desagregados, para un evento sísmico de magnitud cercana a 5,5 y de 10 km para flujos de detritos y deslizamientos masivos, ante similares eventos sísmicos. Así mismo, se establece que otros factores, y no sólo la magnitud, tendrían influencia en la distancia máxima entre el foco del sismo y el lugar donde se genera la remoción, como son las variaciones que podría tener el movimiento del suelo durante un sismo y las condiciones geológicas locales.

Tabla 6 Tipos de remociones en masa generadas por sismos.

Magnitudes mínimas aproximadas (M _L) según Keefer (1984)	Magnitudes mínimas aproximadas (M _L) según Rodríguez <i>et al.</i> (1999)	Tipo de remoción en masa
4,0	5,5	Caídas de rocas, deslizamientos de roca, caídas de suelo, deslizamientos desmembrados de suelo
4,5	5,5	Subsidencias de suelo, deslizamiento de suelo en bloques
5,0	6,5	Subsidencias de roca, deslizamientos de roca en bloque, flujos lentos de tierra, extensiones laterales de suelo, flujos rápidos de suelo, deslizamientos submarinos
6,0	6,5	Avalanchas de roca
6,5	6,0	Avalanchas de suelo

Fuente: Keefer, (1984)

Por otro lado, a partir de datos recopilados de 40 terremotos históricos, Keefer (1984) estableció abundancias relativas de remociones en masa generados por sismos, que se muestran a continuación.

Tabla 7 Abundancia de eventos de remoción en masa generadas por sismos.

Abundancia de eventos	Tipos de eventos
Muy abundante (>100.000, en 40 terremotos)	Caídas de roca, deslizamientos de suelo desagregado, deslizamientos de roca
Abundante (10.000 a 100.000, en 40 terremotos)	Extensiones laterales de suelo, subsidencias de suelo, deslizamientos de suelo en bloques, avalanchas de suelo
Moderadamente común (1.000 a 10.000, en 40 terremotos)	Caídas de suelo, flujos rápidos de suelo, subsidencias de roca
No común	Deslizamientos bajo agua, flujos lentos de suelo, deslizamientos de roca en bloque, avalanchas de roca

Fuente: Keefer, (1984)

En tanto, Sepúlveda *et al.* (2004, 2005) han estudiado factores como la amplificación topográfica de ondas sísmicas como causante de generación de fallas de laderas en roca, encontrando relaciones entre las dimensiones y forma de las laderas con la longitud de onda

dominante que favorecen la amplificación topográfica y la consecuente generación de deslizamientos.

Por otro lado, las remociones en masa que involucran material suelto, sin cohesión, saturado y en pendientes de ladera bajas a moderadas comúnmente ocurren como resultado de una licuefacción del suelo inducida por el sismo. Este proceso es causado por perturbaciones rápidas en suelos saturados, sin cohesión, bajo condiciones de carga no drenada; estas condiciones hacen posible la generación de un exceso de presiones de poros y con ello una disminución de los esfuerzos efectivos actuantes sobre el suelo y su generación está condicionada por agentes de tipo histórico, geológico, composicionales y de estado (principalmente material suelto). Se ha observado y estudiado que este fenómeno puede darse tanto en arenas como gravas y limos (González et al., 2002)

❖ OTROS DETONANTES

En ambientes volcánicos, las erupciones pueden gatillar deslizamientos producto de la fusión de la nieve acumulada en las laderas de los volcanes, las cuales actuando por sí solas o en conjunto con precipitaciones intensas podrían generar flujos de gran magnitud al arrastrar el material depositado en las laderas durante la erupción volcánica.

Otro ejemplo de remociones en ambientes volcánicos son las avalanchas por colapso del edificio volcánico, por ejemplo, las ocurridas en 1980, por la erupción del Volcán St. Helens, en Estados Unidos.

Otros tipos de agentes detonantes mencionados corresponden a la erosión de canales, la intervención antrópica, entre otros, asociados a la pérdida de resistencia del material involucrado ya sea producto de precipitaciones o por factores artificiales como son las sobre excavaciones, la realización de obras de arte en zonas susceptibles de ser removidas, represamiento de cauces, falla de presas de tierra, etc.

6.3.3 MEDICION DE LA EROSION DE CUENCA HIDROGRAFICAS

La erosión es el resultado de la acción de las fuerzas de fricción de gases o fluidos en movimiento. Henao (1994) considera que existen diferentes tipos de erosión, entre ellas están: erosión laminar, erosión pluvial, erosión eólica, erosión hídrica. Además, menciona que el proceso inicia con el desprendimiento de las partículas de suelo, debido al impacto de las gotas de lluvia, debido que la gota de la lluvia es 1000 veces mayor que la partícula del suelo y al mismo tiempo ocurre el proceso de flujo superficial o escorrentía directa, la cual hace que las partículas removidas sean incorporadas a la corriente y transportada ladera abajo. Adicionalmente, el aumento de la intensidad erosiva puede generar la ocurrencia de movimientos complejos de suelo que ocurran simultáneamente.

6.3.3.1 TIPOS DE EROSIÓN

Según PMCC (1999), Gonghui y otros (2003) son:

- Erosión por el viento: El movimiento del viento ejerce fuerzas de fricción y levantamiento sobre las partículas de suelo, desprendiéndolas transportándolas y depositándola
- Erosión por gotas de lluvia: Cuando las gotas de agua impactan el suelo desnudo pueden soltar y mover las partículas a distancias realmente sorprendentes
- Erosión laminar: Las corrientes superficiales de agua pueden producir el desprendimiento de las capas más superficiales de suelo en un sistema de erosión por capas que se profundizan.
- Erosión en surcos: La concentración del flujo en pequeños canales o rugosidades hace que se profundicen estos pequeños canales formando una serie de surcos generalmente semiparalelos.
- Erosión por afloramiento de agua: El agua subterránea al aflorar a la superficie puede desprender las partículas de suelos subsuperficial formando cárcavas o cavernas.

- Erosión interna: El flujo de agua a través del suelo puede transportar partículas formando cavernas internas dentro de la tierra.
- Erosión en cárcavas: Los surcos pueden profundizarse formando canales profundos o la concentración en un sitio determinado de una corriente de agua importante puede generar canales largos y profundos llamados cárcavas. Una vez se inicie la cárcava es muy difícil de suspender el proceso erosivo.
- Erosión en cauces de agua (erosión lateral y profundización): La fuerza tractiva del agua en las corrientes y ríos produce ampliación lateral de los cauces profundización y dinámica general de la corriente.
- Erosión por oleaje: Las fuerzas de las olas al ascender y descender por una superficie de suelo producen el desprendimiento y el transporte de partículas.
- Erosión en masa (deslizamientos): El término erosión o remoción en masa se relaciona a movimientos de masas importantes de suelo conocido con el nombre genérico de deslizamientos. Dentro de los diversos tipos de movimiento del suelo en taludes y laderas algunos están íntimamente relacionados con los procesos típicos de erosión.(Sarasty,2017)

6.3.3.2 FACTORES QUE INCIDEN EN LA EROSIÓN

Con respecto a los factores a tener en cuenta, Martínez Mena y otros (2001) argumentan que la erosión del suelo es el resultado de cinco factores: naturaleza del suelo y del subsuelo, pendiente, régimen climático, vegetación artificial y régimen de cultivo.

- Naturaleza del suelo y del subsuelo: Influye en las dimensiones de los derrubios, su grado de coherencia y la permeabilidad; las arcillas son los elementos más sensibles a la formación d torrentes y las arenas a la deflación.
- La longitud de la pendiente es un factor tan importante como el declive; en una pendiente corta, los riachuelos no tienen tiempo de alcanzar una velocidad suficiente de escorrentía para arrastrar los materiales del suelo.

- El régimen climático interviene con cierto número de sus elementos: la desecación del suelo, ligada a la evaporación, que depende del calor y la duración de los intervalos entre las lluvias, actúa directamente, facilitando la delación al disminuir la coherencia del suelo; pero la formación de costras, fenómeno relacionado con el clima, disminuye la erosión. La cantidad y repartición de las lluvias constituyen el factor climático esencial; una precipitación de 25mm en diez minutos es peligrosa; si no disminuye durante los siguientes minutos, resulta desastrosa, aun en un terreno permeable, ya que el suelo se satura y se intensifica la arroyada.

- Vegetación artificial: Los cultivos que deja el suelo al desnudo (patatas, cacahuates, etc.) son los más peligrosos; por el contrario, la alfalfa, con sus hojas y raíces contribuye una protección excelente.

6.3.3.3 ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELOS (USLE)

Existen diversos enfoques para determinar la erosión hídrica en cuencas hidrográficas, los cuales generan información que puede ser utilizada con fines de restauración, producción agrícola, desarrollos urbanísticos, actividades recreativas y/o de protección. Estos han evolucionado a medida que ha incrementado la actividad productiva y la degradación de los suelos por el hombre (Oyarzun Ortega, 1993).

Dichos enfoques se han desarrollado con base en los factores antrópicos y naturales que intervienen en la erosión hídrica y analizan en su gran mayoría componentes tales como: suelos, topografía, clima, cobertura y uso de la tierra y prácticas culturales. Dentro de los enfoques para la determinación de la erosión hídrica se destacan USLE.

La USLE es un modelo diseñado para predecir la cantidad de pérdida de suelo por escurrimiento en áreas específicas bajo determinados sistemas de manejo y cultivos (Wischmeier y Smith, 1978) y se expresa en la ecuación 8:

$$A = R * K * LS * C * P \quad Ec(8)$$

Donde, A - pérdida de suelo en t/ha. año; R - factor erosividad de la lluvia en Mjmm/ha. año; K - factor erosionabilidad del suelo en (t/ha)/(Mj.mm/ha.h); L - factor longitud del terreno (adimensional); S - factor pendiente del terreno (adimensional); C - cobertura y manejo de la vegetación (adimensional); P - factor prácticas de conservación (adimensional).

Los factores que intervienen en la potencial erosión hídrica del suelo:

- Factor R, corresponde al factor erosividad de la lluvia es un índice numérico que expresa la capacidad de la lluvia para erosionar el suelo, Wischmeier y Smith, (1978) define como la suma del producto de la energía total de la precipitación por su máxima intensidad en treinta minutos para todos los eventos importantes de precipitación en un área durante un año promedio, como se indica en la ecuación 9:

$$R = \sum_{t=1}^K E * I_{30} \quad Ec(9)$$

Donde, E – Energía de precipitación; I – intensidad.

Entendiendo que la energía total de precipitación está dada por el producto de la energía unitaria (e) y la precipitación (p) como se define en la ecuación 10.

$$E = e * P \quad Ec(10)$$

- Factor K representa la erosionabilidad del suelo, es decir, muestra su vulnerabilidad a la acción del agua; es una característica inherente a los suelos, que es función de la acción individual y/o combinada de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, así como también del manejo que de ellos se haga (Barrios, 1995). Williams, (1998) define la ecuación 11 para estimar el factor K, el cual depende del contenido de arena, limo arcilla, carbono orgánico del suelo y un parámetro relacionado con la arena

$$K = 0.1317 * Fc_{arena} * Fc_{limo-arcilla} * Fc_{corg} * Fh_{arena} Ec(11)$$

- Factor "LS" es considerado como el factor topográfico LS es la relación entre el suelo perdido en un terreno cualquiera con pendiente p y longitud λ , y la correspondiente a la parcela piloto utilizada en el desarrollo de la USLE. Se refiere entonces al efecto combinado de la pendiente y la longitud de los terrenos expuestos a la erosión laminar y en surcos. Su valor se obtiene por multiplicación de dos subfactores: longitud (L) y pendiente (S).

Con los sistemas de información geográficos, Velázquez, (2008). Propone un modelo matemático para encontrar el Factor L y se expresa en la ecuación 12.

$$L_{(i,j)} = \frac{[A_{(i,j)} + D^2]^{(m+1)} - A_{(i,j)}^{(m+1)}}{X^m D^{(m+1)} (22.13)^m} Ec(12)$$

Donde, A – acumulación del flujo a nivel del pixel; X – coeficiente de forma (x=1 para sistemas pixelados); D – longitud del lado del pixel; m – pendiente al nivel del pixel.

Según Foster, (1997) para determinar, el parámetro m se utiliza dos fórmulas las cuales se muestra en ecuación 13y 14:

$$F = \frac{\sin\left(\frac{\beta}{0.0896}\right)}{3 * (\sin \beta)^{0.8} + 0.56} Ec(13)$$

$$m = \frac{F}{F + 1} Ec(14)$$

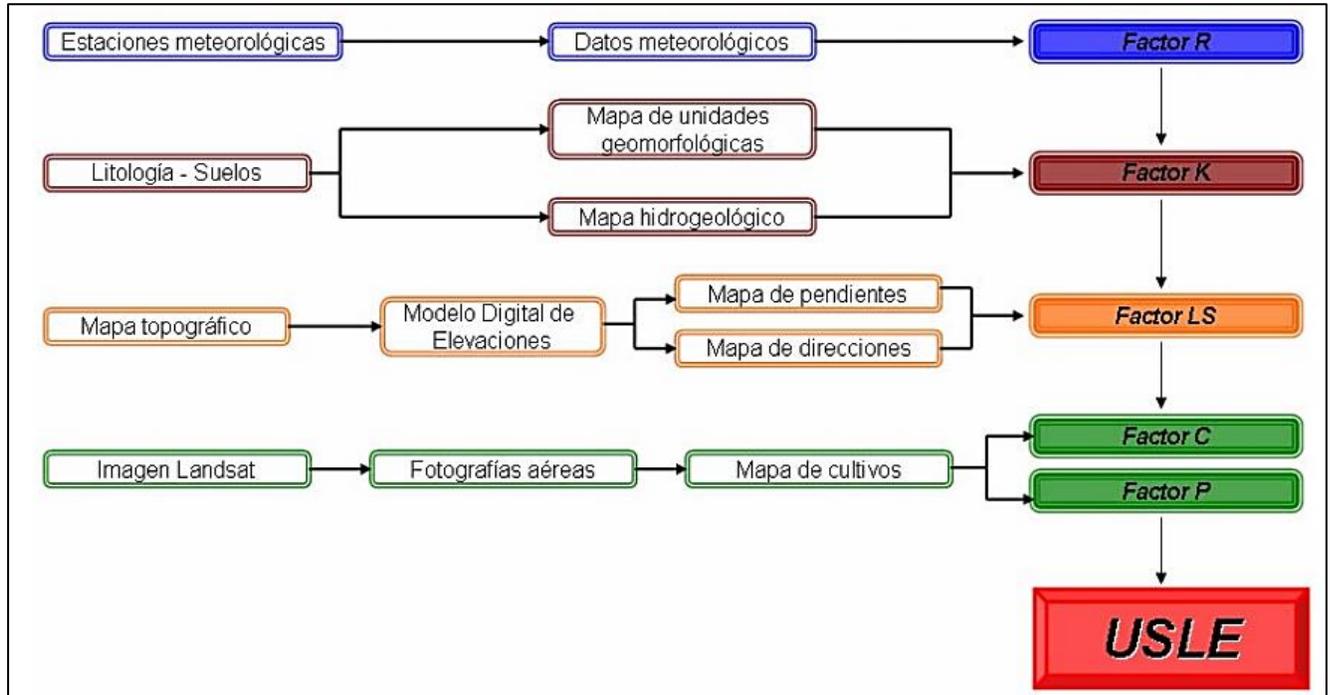
Para determinar el factor S nos basamos en el modelo matemático propuesto por Mc Cools (1987) el cual propone un condicionante dependiendo si la tangente de pendiente es mayor o menor a 0.009. como lo observamos en la ecuación 15.

$$S_{(i,j)} = \begin{cases} 10.8 * \sin(\beta_{(i,j)}) + 0.03, \tan \beta_{(i,j)} < 0.09 \\ 16.8 * \sin(\beta_{(i,j)}) - 0.50, \tan \beta_{(i,j)} \geq 0.09 \end{cases} Ec(15)$$

Factor C indica el efecto de la cubierta vegetal en la pérdida de suelo. Se expresa como la relación entre la pérdida de suelo de un área o parcela con una vegetación dada y sistemas de manejo específicos, y la pérdida de suelo en una parcela en barbecho continuo, limpia y arada, en el sentido de la pendiente, a intervalos regulares. Los valores de C son pequeños cuando el suelo está protegido del impacto del agua de lluvia y de la acción de la escorrentía superficial, y viceversa; es decir, a mayor valor de C, menor es la cobertura del suelo, es decir, hay menor protección (Barrios, 1995).

Factor P es la relación de pérdida de suelo entre una parcela donde se han aplicado prácticas mecánicas de conservación de suelos (contornos, terrazas, cultivos en fajas, etc) para el control de la erosión, y las pérdidas que se producen en una parcela si tales prácticas no se utilizan y el laboreo se efectúa en el sentido de la pendiente. Cuando las prácticas de conservación no se aplican o son muy pocas el valor de P es igual a 1 (Wischmeier y Smith, 1978).

Ilustración 8. Esquema metodológico USLE



Fuente: Rodríguez, (2007)

6.4 MARCO LEGAL

Tabla 8. Normas y Políticas aplicables al proyecto.

Norma	Descripción
Ley 23 del 12 de diciembre de 1973	Concede facultades extraordinarias al presidente de la República para expedir el código de Recursos Naturales y de protección al medio ambiente, para la prevención y control de la contaminación del medio ambiente. La búsqueda del mejoramiento, conservación y restauración de los Recursos Naturales Renovables y la defensa de la salud y el bienestar de todos los habitantes del territorio Nacional. Fue la primera norma en imprimirle responsabilidad a quienes causen daño al medio ambiente.
Decreto N° 2811 de diciembre 18 de 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
Ley 99 de diciembre 22 de 1993.	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones.
Ley 388 de 1997	Establece como determinantes de superior jerarquía, que los municipios y distritos deben tener en cuenta en la elaboración y adopción de los planes de ordenamiento territorial, las relacionadas con la conservación y protección del medio ambiente, los recursos naturales y la prevención de amenazas y riesgos naturales, así como las políticas, directrices y regulaciones sobre prevención de amenazas y riesgos naturales, el señalamiento y localización de las áreas de riesgo para asentamientos humanos y las estrategias de manejo de zonas expuestas a amenazas y riesgos
Decreto N° 1729 (agosto 6 de 2002)	Por el cual se reglamenta la Parte XIII, Título 2, Capítulo III del Decreto-ley 2811 de 1974 sobre cuencas hidrográficas, parcialmente el numeral 12 del artículo 5° de la Ley 99 de 1993 y se dictan otras disposiciones. Disposiciones generales de la cuenca, Finalidades, principios y directrices del plan de ordenación,

	elaboración, ejecución y fuentes de financiación de los planes de ordenación.
Decreto N° 3600 / 20 de septiembre de 2007	. Por el cual se reglamentan las disposiciones de las Leyes 99 de 1993 y 388 de 1997 relativas a las determinantes de ordenamiento del suelo rural y al desarrollo de actuaciones urbanísticas de parcelación y edificación en este tipo de suelo y se adoptan otras disposiciones.
Decreto-ley 019 de 2012	Por el cual el Gobierno Nacional reglamentaría las condiciones y escalas de detalle para la delimitación y zonificación de las áreas de amenaza y de las áreas con condiciones de riesgo además de la determinación de las medidas específicas para su mitigación teniendo en cuenta la denominación de los planes de ordenamiento territorial, prevista en el artículo 9° de la Ley 388 de 1997;
Ley 1523 de 2012 (abril 24)	Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones. Establece que los planes de ordenamiento territorial deberán integrar el análisis del riesgo en el diagnóstico biofísico, económico y socio ambiental y considerar el riesgo de desastres, como un condicionante para el uso y la ocupación del territorio, procurando de esta forma evitar la configuración de nuevas condiciones de riesgo
Decreto 1640 de 2012	Por medio del cual se reglamentan los instrumentos para la planificación, ordenación y manejo de las cuencas hidrográficas y acuíferos, y se dictan otras disposiciones.
Resolución 1907 de 2013	Expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible para incorporar la gestión del riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas (POMCA).
Decreto 1807 de 2014	Por el cual se reglamenta el artículo 189 del Decreto-ley 019 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial y se dictan otras disposiciones.

Decreto 308 de 2016	Por medio del cual se adopta el Plan Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres
Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa /2016/ Servicio Geológico Colombiano	El Servicio Geológico Colombiano (SGC) y la Universidad Nacional de Colombia (UNAL) suscribieron el Convenio Especial de Cooperación 020 de 2013, con base en el cual se desarrolla la presente guía metodológica, seguimiento y monitoreo de las amenazas geológicas para la gestión integral del riesgo, ordenamiento territorial y la planificación del territorio
Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa / 2017 / Servicio Geológico Colombiano	. Propuestas metodológicas y herramientas para el estudio de amenaza por movimientos en masa, para contribuir con la seguridad, el bienestar y la calidad de vida de las personas y el desarrollo sostenible; y es producto de la experiencia acumulada por el SGC en más de 30 años en el estudio de las amenazas geológicas.

Fuente: RICO Q,(2019.)

7.METODOLOGIA

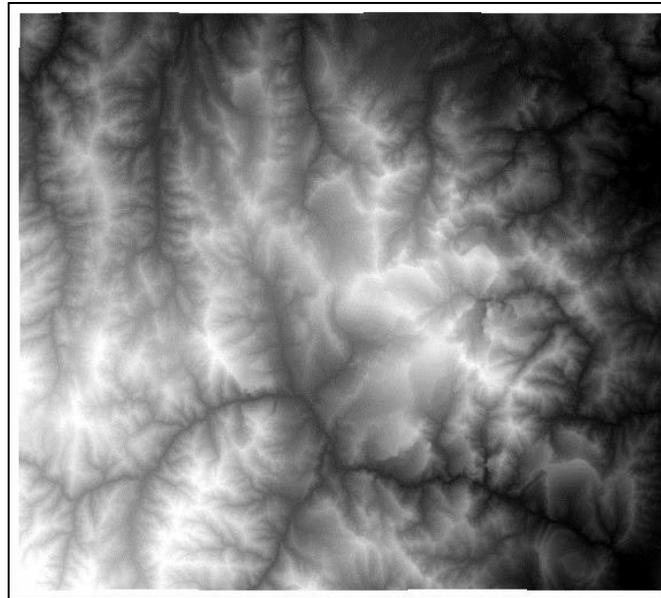
Al realizar una investigación sobre un deslizamiento o un movimiento de masa en una zona susceptible a los mismos, consiste en obtener toda la información posible sobre las características geológicas, litológicas, geomorfológicas, hidrológicas, vegetación, clima, actividad antrópica que permitan realizar un diagnóstico con información a la mano que beneficie la comunidad. Para el propósito de la investigación es necesario conocer el procedimiento para obtener los resultados esperados.

7.1 ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMORFOMÉTRICAS, GEOLÓGICA, LITOLÓGICA DE LA MICROCUENCA ULAGÁ

Se llevó a cabo la recopilación de información y antecedentes para la zona de estudio para la evaluación de peligro geológico, mediante revisión bibliográfica, prensa, fotografías aéreas, mapas, cartas geológicas, entre otros.

Se contó con la plancha 110 a una escala de 1:100000 de la base de datos del Servicio Geológico Colombiano (SGC) de la zona de estudio para la descripción geológica y litológica de la zona. Además, se determinaron los parámetros físicos, de relieve, de forma, de drenaje de la zona estudio utilizando un DEM de 12,5x12,5 pixeles (ver figura 9) tomado de la plataforma del satélite Alos Palsar por su gran resolución y el software ArcGis para trabajarla según la metodología descrita (ver figura 10) utilizando el software ArcGis. Por último, se hizo el reconocimiento de la microcuenca mediante visitas de campo.

Ilustración 9. Modelo Digital de Elevación (DEM), para la zona de estudio.



Fuente: Alos Palsar, (2011)

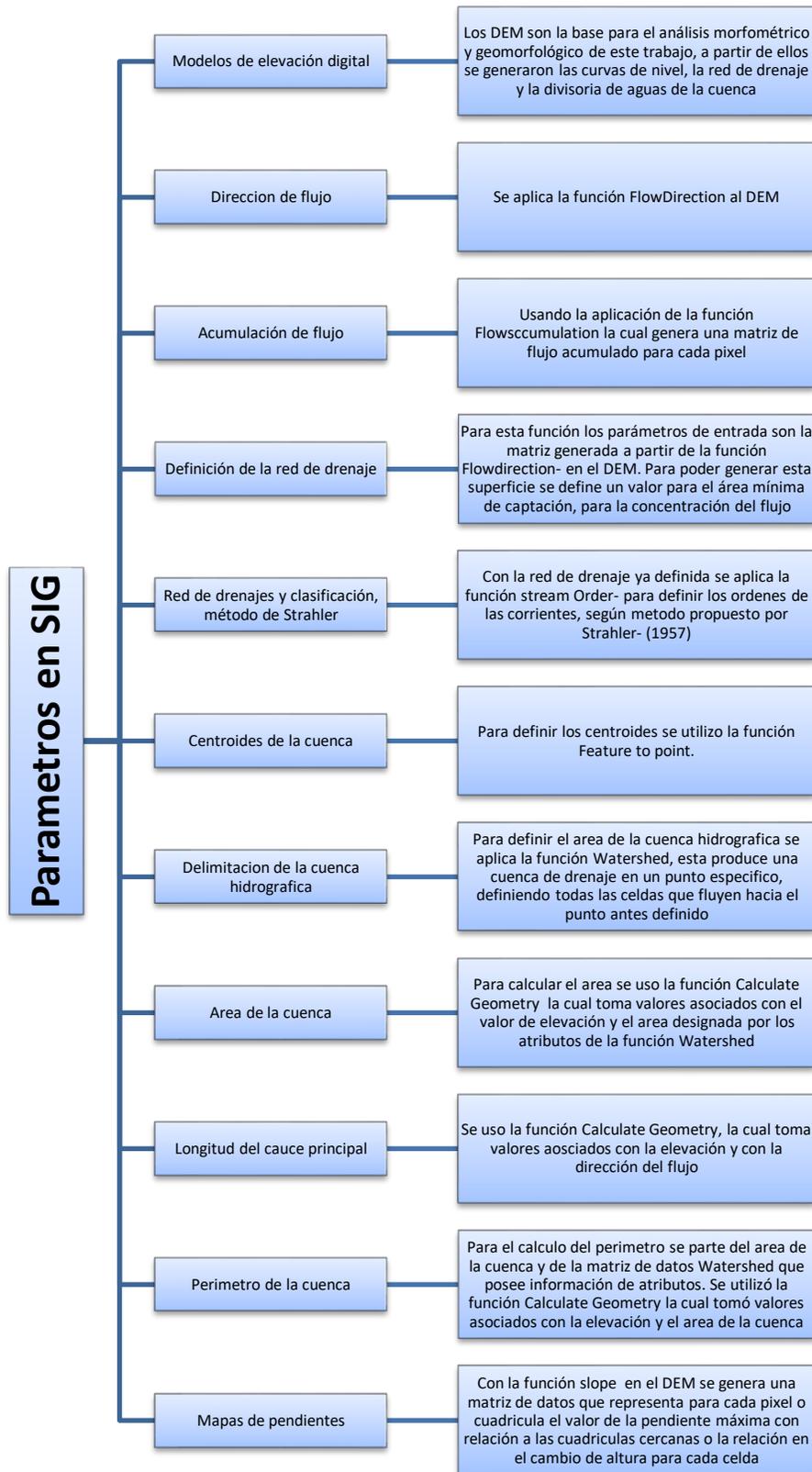


Ilustración 10. Parámetros morfométricos calculados en Arcgis .

Fuente: Solano V, (2017)

7.2 FACTORES DETERMINANTES EN LA RELACIÓN ENTRE LA REMOCIÓN EN MASA Y LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA ZONA DE ESTUDIO.

Para el cálculo del potencial de erosión, en la Microcuenca Ulagá, se realizó a través de la metodología de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE).

La estimación de la erosión hídrica requirió de información temática sobre suelos, clima, pendiente y cobertura y uso de la tierra, la cual se automatizó a través del sistema de información geográfico y mediante análisis espacial (superposición) se obtuvo un mapa resultante que indica los rangos de erosión. Este proceso lleva un sinnúmero de procesos ya que las variables de la ecuación universal de USLE, tiene su propio conjunto de ecuaciones.

7.2.1 CÁLCULO FACTOR R Y CONSTRUCCIÓN DEL MAPA INDICE DE AGRESIVIDAD DE LLUVIAS

Para estimación del factor R, se utilizaron las precipitaciones medias mensuales de 4 estaciones pluviométricas, cercanas a la zona de estudio, las cuales fueron suministrados por el IDEAM; luego, se evaluaron los eventos mensuales por estación para determinar la intensidad en 30 minutos, y así determinar la energía unitaria, posteriormente, se obtuvo el mapa del Factor R y, por último, se llevó a cabo la interpolación del factor R

7.2.2 CÁLCULO FACTOR K Y CONSTRUCCION DEL MAPA DE LA ERODABILIDAD DEL SUELO

El Factor K o erodabilidad del suelo se determinó el potencial erosionable que tienen los suelos en la micro cuenca Ulagá y para ello, se tuvo en cuenta contenido de arena, limo, arcilla y carbono orgánico, descargando el mapa edafológico elaborados por la FAO con información sobre las unidades de suelo. Para las zonas donde se encuentran macizos rocosos se determinó el factor

K de acuerdo a los tipos de rocas formadoras superficiales de acuerdo a la clasificación establecida por Wischmeier y Smith (1978) establecidos en la tabla 8, se procedió a extraer el área en estudio utilizando el programa ArcGis, generando un mapa de los suelos existentes y se le asignó los valores respectivos de acuerdo a la unidad de suelo presente, para proceder a realizar el cálculo de la erodabilidad en la micro cuenca.

Tabla 8 Facto K según el tipo de roca formadora del substrato superficial.

Tipos de rocas formadoras del substrato superficial o litofacies	Rango del factor K (máx. – mín.)
Rocas correspondientes al estrato cristalino	0,05 – 0,15
Rocas silíceas compactas	0,10 – 0,25
Rocas sedimentarias bien consolidadas	0,20 – 0,40
Rocas sedimentarias blandas	0,40 – 0,60
Rocas cuaternarias	0,40 – 1,00

Fuente: Wishmeier y Smith, (1978)

7.2.3 CÁLCULO FACTOR LS, Y CONTRUCCION DEL MAPA DE LONGITUD (FACTOR L) Y GRADO (FACTOR S) DE LA PENDIENTE

Se calcularon el grado de la pendiente en porcentaje (S), así como la longitud de la pendiente (L), para la obtención del factor S, así mismo, se procedió mediante el Modelo de Digital de Elevación (MDE) de la microcuenca, se generó el mapa de pendientes en valores porcentuales, por medio del programa de análisis espacial ArcGis 10.2.2, mediante la herramientas Spatial Analyst>Surface Analysis>Slope, generando un mapa con la inclinación en porcentaje. Para la obtención del factor LS, se multiplicaron los mapas de factor L y S, mediante el Sistema de Información Geográfica del programa ArcGis empleando la herramienta Spatial Analyst/raster calculator, Cuyo resultado fue un raster del factor LS con una resolución espacial de 12,5 metros.

7.2.4 CALCULO FACTOR C

En la determinación del factor C se trabajó la imagen Landsat 8 de la USGS, la cual fue procesada con correcciones atmosféricas y geométricas y la aplicación de una máscara de nubes para obtener el Índice Normalizado de Diferencia de Vegetación (NDVI), con valores normalizados entre 1 y -1, donde los valores cercanos a 1 representan vegetación vigorosa muy densa, mientras que los valores tendientes a -1 indican regiones con escasa o nula vegetación, posteriormente mediante una clasificación supervisada se establecieron 9 categorías de coberturas para la zona de estudio verificadas en campo .

Para obtener los diversos usos de suelos se reclasifica utilizando la clasificación propuesta por Dumas Salazar (2012), la cual se presenta a continuación en la tabla 2 que representa el factor c respecto al tipo de cobertura según la metodología Land Cover.

Tabla 9 Factor C para coberturas según clasificación Land Cover.

USO DEL SUELO CORINE LAND COVER	FACTOR C
Zonas industriales o comerciales	1,0
Zonas de extracción minera	1,0
Viñedos	0,525
Tierras de labor seco	0,435
Terrenos regados permanentemente	0,507
Terrenos principalmente agrícolas con vegetación natural	0,435
Tejido urbano discontinuo	1,0
Tejido urbano continuo	1,0
Pastizales naturales	0,130
Olivares	0,525
Mosaico de cultivos	0,435
Matorrales esclerófilos	0,153
Matorral boscoso en transición	0,153
Lámina de agua	0,0
Frutales	0,525
Espacios con vegetación escasa	0,9
Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes	0,435
Bosque mixto (inferior al 2%)	0,186
Bosque mixto (>2% hasta 7%)	0,086
Bosque mixto (superior al 7%)	0,041

Bosque de frondosas (inferior al 2%)	0,186
Bosque de frondosas (>2% hasta<7%)	0,086
Bosque de frondosas (superior al 7%)	0,041
Bosque de coníferas (inferior al 2%)	0,186
Bosque de coníferas (>2% hasta <7%)	0,086
Bosque de coníferas (superior al 7%)	0,041

Fuente: Salazar (2012)

7.3 CARACTERIZACIÓN DE LA CLIMATOLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO.

7.4 CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO DE LA ZONA DE ESTUDIO.

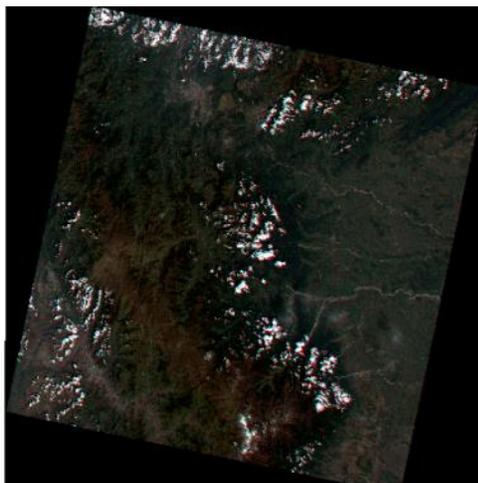
Para la determinación de este factor en la zona de estudio se utilizaron herramientas para sacar las muestras de suelo, con estas se realizaron apiques de una muestra alterada a 40 cm de profundidad y la muestra inalterada a 200cm, también se tomaron muestras de 6 deslizamiento o movimientos en masa ocasionados por desprendimientos o erosión hídrica dentro de la quebrada. Las muestras se cuartearon en campo, obteniendo una muestra representativa de 2 kg y este material muestreado fue almacenado en bolsas plásticas con sus respectivas etiquetas (indicando : fecha, nombre y coordenadas de ubicación de la zona de muestreo). Posteriormente a la recolección, las muestras de suelos fueron llevadas al laboratorio de análisis de suelos de la Universidad de Pamplona., para su posterior secado y tamizado, para la realización de los análisis necesarios para la obtención de la información que se desea obtener como los análisis de granulometría, como también la clasificación de suelos según el sistema unificado de clasificación de suelos USCS

7.5 GENERACIÓN DEL MAPA DE COBERTURA VEGETAL Y EL USO DEL SUELO DE LA ZONA DE ESTUDIO.

Adquiriendo imágenes digitales del satélite Landsat 8 (Ilustración 11) de la USGS de diferentes años para contrastar el cambio sobre la cobertura vegetal, que fueron procesadas con

correcciones atmosféricas y geométricas y la aplicación de una máscara de nubes y a partir de una clasificación supervisada en el software ArcGis y verificando información en campo con las imágenes satelitales. Contrastada la información con la de trabajo de campo se establecieron las coberturas pertenecientes al área de influencia, evaluando como ha cambiado en el tiempo y como ha influido en los procesos erosivos.

Ilustración 11 Imagen Landsat 8



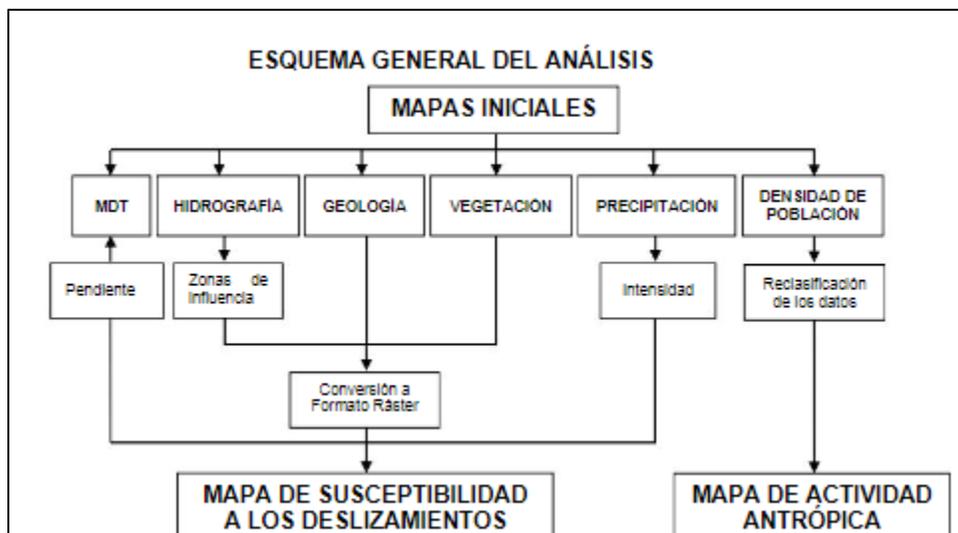
Fuente: USGS, (2019)

En la determinación del uso potencial, se utilizó el Modelo de Digital de Elevación (MDE) de la microcuenca obtenido de la USGS con un pixel de 12,5 m; luego, se procedió a generar el mapa de pendientes en valores porcentuales, por medio del programa de análisis espacial ArcGis 10.5, cuya aplicación para el análisis se utilizó la herramienta >Slope, generando un mapa con la inclinación en porcentaje, se reclasificó Spatial Analyst>Surface Analysis>Reclass determinando el potencial que tiene una unidad específica de suelo para ser utilizada en forma sostenida sin afectar su capacidad productiva. Para el caso del uso del suelo, se analizaron los sistemas productivos y los usos del suelo apoyados por imágenes satelitales Landsat 8 y trabajo de campo.

7.6 GENERACIÓN DEL MAPA SE SUSCEPTIBILIDAD A REMOCIÓN EN MASA DE LA ZONA DE ESTUDIO

Tres principios orientan la evaluación del peligro de deslizamiento. Primero, los deslizamientos futuros probablemente ocurrirán bajo las mismas condiciones geomórficas, geológicas y topográficas en que se han producido en el pasado y en la actualidad. Segundo, las condiciones y procesos subyacentes que causan los deslizamientos son comprendidos. Tercero, la importancia relativa de las condiciones y procesos que contribuyen a la ocurrencia de los deslizamientos puede ser determinada y se puede asignar a cada cual alguna medida que refleje su contribución (Varnes, 1985). La mayoría de los procedimientos de evaluación para la zonificación del peligro de deslizamiento, emplean unos pocos factores físicos importantes o significativos para estimar el peligro relativo. El método aquí descrito requiere un mínimo de tres factores que ya fueron mencionados: la distribución de deslizamientos anteriores, el tipo de roca firme, y la calidad de la pendiente, y se puede añadir un cuarto, el factor hidrológico, para reflejar el importante rol que frecuentemente tienen las aguas subterráneas en la ocurrencia de deslizamientos (Varnes, 1985, y USGS, 1982).

Ilustración 12 Esquema para la construcción del mapa de susceptibilidad y amenaza



Fuente: Rico Q, (2019).

8.RESULTADOS

En el comportamiento de la cuenca inciden las características geomorfológicas propias de la cuenca, la mayor parte de estas propiedades actúan incrementando el volumen del flujo y la velocidad de su movimiento. (Ward y Robinson, 2000).

La cuenca de la quebrada Ulagá es una cuenca pequeña con 16,43 km² y perímetro de 18,7 km, se puede observar que al ser el factor de forma un valor bajo 0,4274 se estima que la cuenca es menos propensa a que una tormenta cubra toda la superficie. De acuerdo con Campos (1992), la cuenca es de forma oval, según el Índice de Compacidad (Kc) de 1,2689, según la Relación de Forma de Horton (Rf) de 0,4274.

De la tabla 9 y 10 se infiere que las características físicas, de relieve, forma indican es una microcuenca con pendientes abruptas y escarpadas, además se observa que el agua captada tiene recorridos cortos con escurrimientos rápidos, es decir, la recarga de agua es escasa, además por ser una cuenca oval oblonga tiende a presentar un flujo de agua más rápido en comparación con las cuencas alargadas logrando la evacuación del agua más rápido, lo cual se corrobora con lo dicho por Vich (1996).

Tabla 10 Característica morfométricas de la microcuenca quebrada Ulagá.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
Área	km ²	16,43
Perímetro	km	18,37
COTAS		
cota mínima	msnm	1920
cota máxima	msnm	3300
CENTROIDE PCS: GCS_MAGNA		
x_centroide	m	1163746
y_centroide	m	1309093
z_centroide	msnm	2669,13
ALTITUD		
altitud media	msnm	2669,1
altitud más frecuente	msnm	2980
altitud de frecuencia media	msnm	3015

PENDIENTE		
pendiente promedio de la cuenca	%	22,02
DE LA RED HIDRICA		
longitud del curso principal	km	6,20
orden de la red hídrica	und	3
longitud de la red hídrica	km	16,15
pendiente promedio de la red hídrica	%	7,4

Fuente: Elaboración Propia

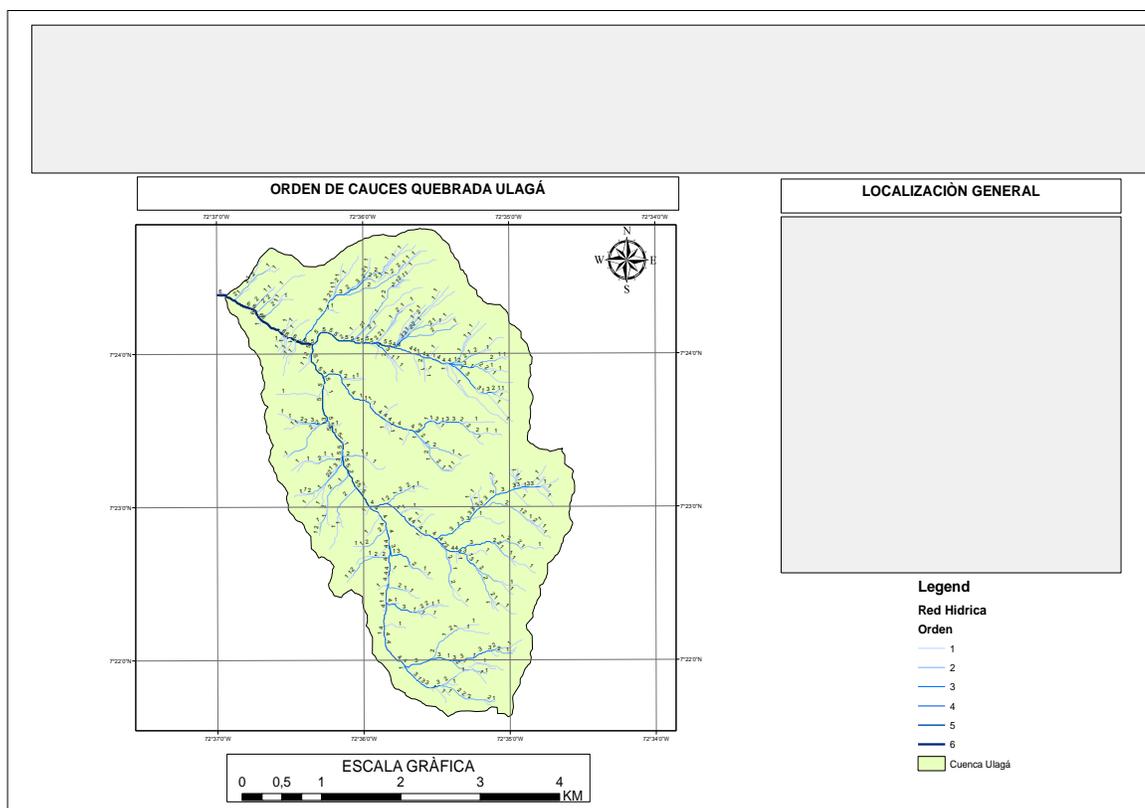
Tabla 11 Parámetros geomorfológicos de la microcuenca quebrada Ulagá

PARÁMETRO	SÍMBOLO	UNIDAD	VALOR	MÉTODO USADO
Factor forma	Kf	Adimensional	0,4274	Aritmético
Índice de compacidad	Kc	Adimensional	1,2689	Aritmético
Índice de homogeneidad	ih	Adimensional	0,6103	Aritmético
Índice de alargamiento	ia	Adimensional	0,6869	Aritmético
Relación de bifurcación	Rb	Adimensional	0,8543	Aritmético
Densidad de drenaje	D	Km^{-1}	2,2732	Aritmético
Pendiente	S	Adimensional	22,02	Aritmético
Frecuencia de cauces	F	Km ²	6,8322	Aritmético
Pendiente media del cauce	Pm	Adimensional	7,4	Aritmético
elevación media	E	Metros	2669,1	Aritmético
Coefficiente de masividad	cm	Adimensional	0.6587	Aritmético
Coefficiente orográfico	Co	Adimensional	15.34	Aritmético

Fuente: Rico Q, (2019)

La topografía de la cuenca puede tener más afluencia sobre la respuesta hidrológica que la forma de la misma (Vich, 1996). Siendo estos parámetros de relieve determinantes en el análisis de los procesos erosivos presentes en la microcuenca de la quebrada Ulagá, por presentar gran cantidad de escurrimiento aumenta la capacidad de coleccionar agua y mayor erosión, además a mayor pendiente mayor velocidad de desplazamiento del agua, menor tiempo de concentración y menor infiltración.

Con respecto a los parámetros de relieve se determina que es una cuenca montañosa con altitudes medias y elevadas, el relieve es accidentado que presenta un Coeficiente Orográfico de 15,34 y con pendientes de la cuenca muy pronunciadas con un promedio de 22,02% y del cauce principal de 7,4%.



Mapa 1. Red Hídrica Quebrada Ulagá y su respectivo orden según Strahler.

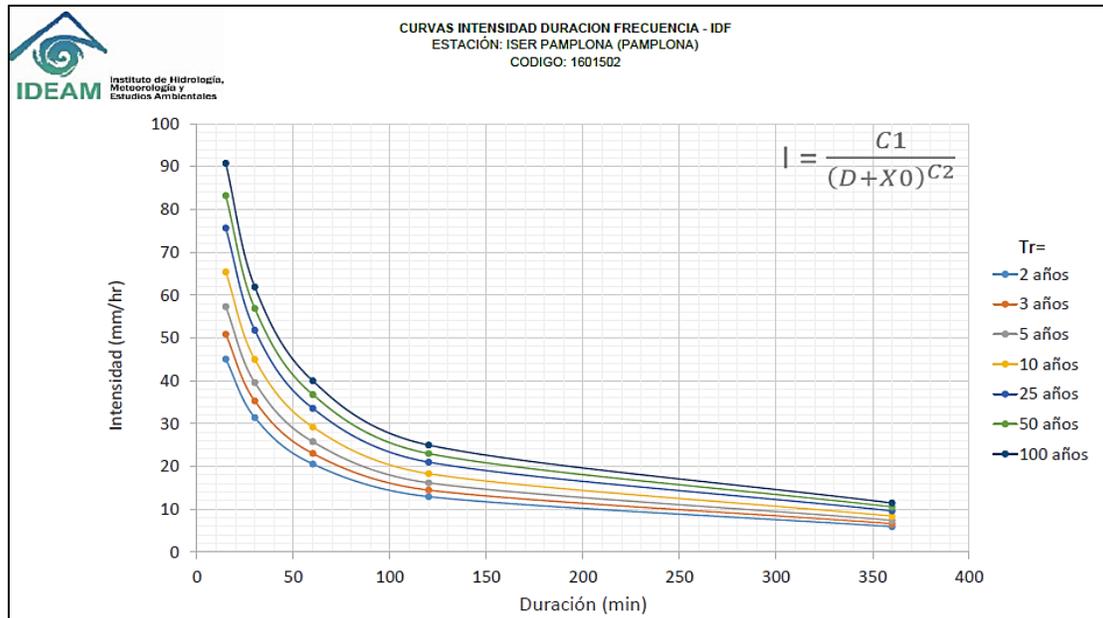
Fuente: Rico Q, (2019).

PRECIPITACIONES

Las curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF) son curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno (Témez, 1978). Junto con la definición de las curvas, surgen otros elementos a considerar, como son la intensidad de precipitación, la frecuencia o la probabilidad de excedencia de un determinado evento para la

microcuenca quebrada Ulagá, las curvas IDF fueron suministradas por el IDEAM (Figura 13). Para determinar las precipitaciones y conocer su distribución temporal, para determinar la agresividad de las lluvias en la zona de estudio, en base a las intensidades de precipitación, para distintos períodos de retorno y así evaluar el índice de erosividad de la lluvia para diferentes frecuencias.

Ilustración 13. Curvas IDF para la microcuenca Ulagá

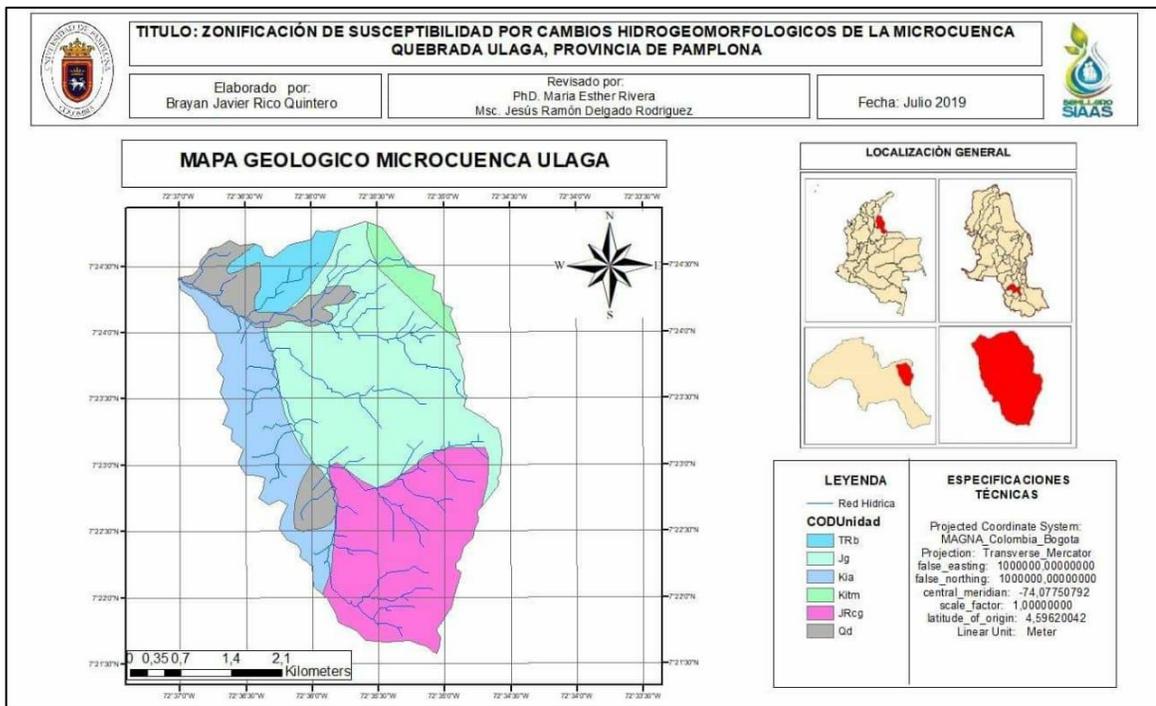


Fuente: IDEAM, (2016)

De la ilustración 13 se infiere que a menor duración mayor intensidad, por ejemplo, para la duración de 50 minutos se presenta una intensidad de 22 mm/h aproximadamente.

GEOLOGÍA

Las unidades geológicas presentes en el municipio están compuestas por un registro litológico muy importante, en su mayoría conformado por rocas sedimentarias con algunos afloramientos de rocas ígneas volcánicas y rocas metamórficas antiguas. La sucesión estratigráfica comprende rocas de diferentes edades y con diversa distribución.



Mapa 2. Mapa de la Geología de la Microcuenca, Quebrada Ulagá.

Fuente: Rico Q, (2019).

Sobre La Formación Girón (Jg) que se encuentra dentro de nuestra área de estudio , se determinó inicialmente el término “Girón Series” fue creado por Hettner (1892) para designar una megasecuencia aflorante al occidente de Bucaramanga en los alrededores de Girón, Santander. Se adelantaron varios estudios y entre éstos se destaca el de Trumpy (1943) pero fue Langenheim (1954) quien fijó la sección tipo en la angostura del Río Lebrija y la dividió en tres miembros: uno inferior arenoso (750 m), uno intermedio lodoso (1.250 m) y otro superior arenoso (1.500 m) para un espesor total de 3.500 m. La Formación Girón está compuesta por areniscas de grano medio, grueso a ligeramente conglomerático, de color rojo violáceo, rojo grisáceo y gris verdoso, estratificación cruzada, en capas gruesas, con interestratificaciones de limolitas y lodolitas, de color rojo violeta, grisáceo y algunos niveles delgados de conglomerados con guijos de cuarzo hasta de 4 cm. El espesor de esta unidad varía considerablemente de un sitio a otro, desde unos pocos metros hasta 4.650 m en el Río Lebrija. El ambiente de sedimentación es continental, fluvial a lacustrefluviátil.

Otra de las formaciones que se encuentran dentro de la Quebrada Ulagá, es la Formación de Tibú-Mercedes (Kitm). Estas unidades por separado fueron descritas en el área de la Concesión Barco como miembro inferior y medio del Grupo Uribante (Notestein, et al., 1944), que posteriormente fueron elevados al rango de formaciones Tibú y Mercedes. Por razones de sus contactos confusos se consideran como una sola unidad, denominada Formación Tibú-Mercedes. Está constituida por una alternancia de calizas biomicríticas de color gris oscuro, localmente arenosas y arcillosas, lodolitas y areniscas gris oscuras, fosilíferas, micáceas. Hacia la parte inferior se encuentran areniscas de grano medio a conglomeráticas, levemente calcáreas, micáceas e interpuestas por capas de lodolitas grises, con nódulos ferruginosos. Estos sedimentos se depositaron en un ambiente marino de aguas tranquilas o con corrientes ligeramente reductoras (Fabre, 1981).

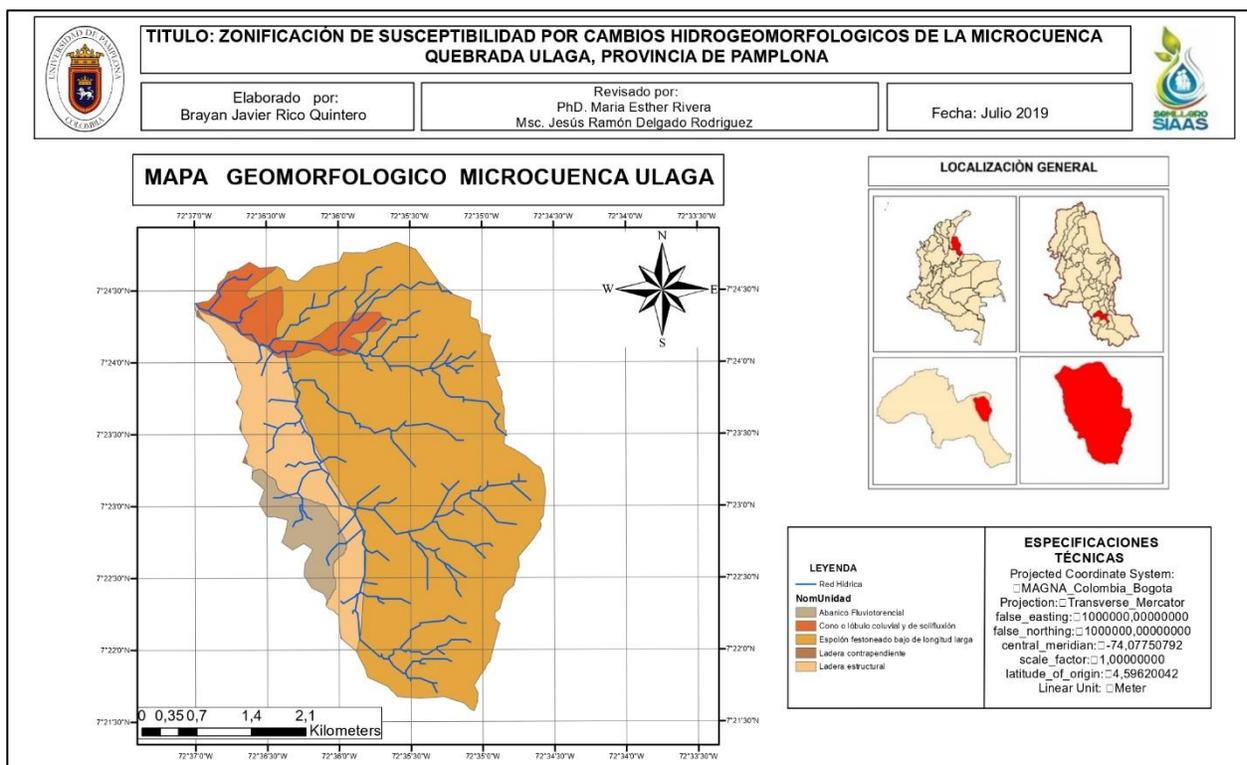
La Formación Aguardiente (Kia). Está constituido por areniscas de cuarzo, grises a gris claras, de grano fino, medio y grueso, glauconíticas, con estratificación cruzada e intercalaciones delgadas de lodolitas grises a negras, carbonosas y micáceas. El espesor generalmente varía de 150 a 480 m. Los contactos inferior y superior de esta unidad son concordantes con las formaciones Tibú-Mercedes y Capacho, respectivamente. La edad de la Formación Aguardiente con base en análisis paleontológicos es determinada del Cenomaniano al Turoniano (Richards, 1968). Es correlacionable con la parte inferior de la Formación Simití y con la Formación Chipaque del flanco oriental de la Cordillera Oriental en el área de la Sabana de Bogotá.

Depósitos de Derrubio (Qd): Están conformados por acumulación de fragmentos de rocas formados por la caída de bloques y escombros de formaciones preexistentes, presenta una extensión de 13Ha y hay presencias de Cuarzo monzonita y granitos (jRcg). Delgado, (2011)

GEOMORFOLOGÍA

Nuestra capa de la Geomorfología de la cuenca cuenta con unidades de Espolón festoneado bajo de longitud larga (Sefesbl) Laderas y crestas simétricas con morfología alomada, posee cimas agudas y en general pendientes inclinadas a muy abruptas, tiene formas cóncavas a rectas que se

disponen de manera perpendicular al rumbo de las estructuras geológicas relacionadas, de manera que se definen salientes cortas y largas. Se presentan sobre lavas, depósitos piroclásticos de flujo y caída, al igual que en rocas ígneas plutónicas ácidas del Monzogranito Mocoa al sur de la plancha.



Mapa 3. Mapa de Geomorfología de la Microcuenca Quebrada Ulagá.

Fuente: Rico Q, (2019)

En las uniones de las Unidades eventualmente se generan pequeños movimientos de tierras y flujos donde los suelos se encuentran saturados. El relieve relativo de esta unidad es menor que 250 m y la longitud del eje principal es mayor que 1000 m.

Abanico fluviotorrencial(Faa), es una superficie con forma de cono cuya morfología es en general plana o aterrazada, puede abarcar varios kilómetros de largo y ancho. Se genera por una acumulación en forma radial de un flujo de agua y sedimento, al presentarse un cambio abrupto en la pendiente cuando una corriente alcanza una zona plana. Los canales tienden a fluir cortando el abanico, siendo más profundos en el ápice y más someros al alejarse de éste. Dentro de la zona de estudio estas unidades se ubican principalmente en las laderas que rodean o limitan zonas más

planas como es apreciable en el Valle de Sibundo y al occidente de la plancha o en el valle del Río Mocoa al oriente de la misma, esta unidad corresponde en inmediaciones del municipio de Colón y en el norte de Mocoa a la unidad Qt1 de la cartografía geológica.

Cono y lóbulo coluvial y de soliflucción (Dco) Estructura en forma de cono o lóbulo de morfología alomada baja. Su origen se relaciona a procesos de transporte y depósito en la base de las laderas por efecto de procesos hidro-gravitacionales en suelos saturados y no saturados. Son depósitos caóticos con bloques y fragmentos de diferente tamaño y composición dentro de una abundante matriz arcillosa lodosa.

La unidad de Ladera de contrapendiente de cuesta (Sclc), son laderas escarpadas generadas por los estratos de la Formación Rumiayaco compuestos de arcillolitas, arenitas cuarzosas y niveles calcáreos dispuestos en contra de la pendiente del terreno y de longitudes muy cortas a cortas de forma irregular o escalonada. Esta unidad se encuentra hacia el extremo suroriental de la plancha, donde el trazo del Sistema de Fallas El Conejo y de la Falla de Urcusi que cortan las rocas de la Formación Rumiayaco al occidente y al oriente respectivamente. Sobre estas unidades son frecuentes las caídas de roca debido al diaclasamiento y las altas pendientes de los estratos.

La Ladera estructural de cuesta (Scle), es la que presenta superficies compuestas por estratos de arcillolitas, arenitas cuarzosas y niveles calcáreos de la Formación Rumiayaco, dispuestas a favor de la pendiente, con una inclinación entre 10° - 25° , de longitud larga a extremadamente larga, forma recta a irregular, relacionada a una estructura de cuesta.

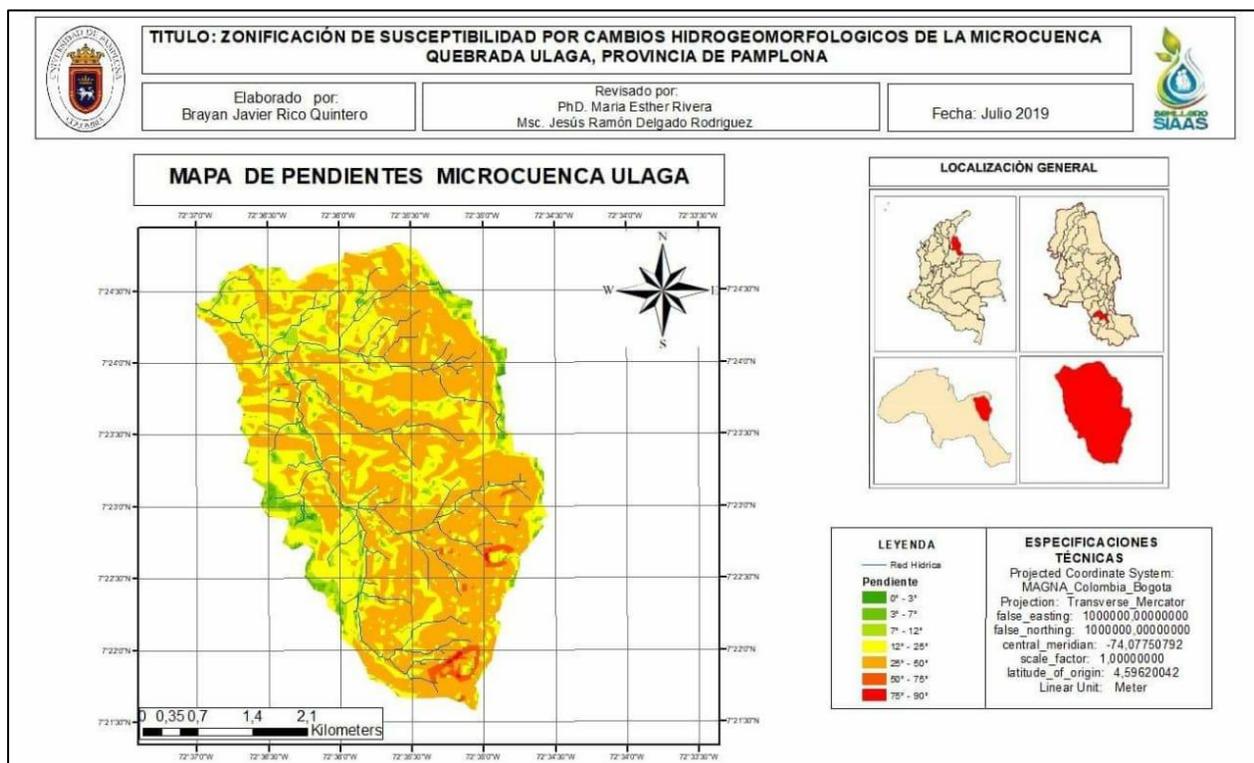
FALLAS

El área del municipio de Pamplona se caracteriza por una tectónica compresiva intensa que ha generado pliegues y principalmente fallas inversas. De W a E se destacan la Falla de Pamplona, la Falla de Chitagá, la Falla de Morro Negro y la Falla de Mutiscua, las cuales son de carácter regional y tienen una dirección general N-S (las dos primeras) y NW-SE (la última). Estas fallas limitan bloques tectónicos que son los responsables de la estratigrafía del área del municipio de Pamplona, en donde aparecen en términos generales de W a E, rocas del Jurásico; rocas cretácicas

y terciarias; rocas precámbricas y paleozoicas; y nuevamente rocas cretácicas y terciarias. Quizás la estructura de plegamiento a destacar es el Sinclinal Pamplona, con orientación general N-S, situado a unos 6 Km al W del municipio de Pamplona y formado por rocas terciarias, incluida la Formación Los Cuervos que es roca fuente de carbón como se verá más adelante

PENDIENTES

Nuestra zona de estudio se caracteriza por tener pendientes bastante escarpadas, según el (Mapa 4), las pendientes que predominan van desde los 25° a los 60° de pendiente, estas se presentan en la parte alta de la Microcuenca Ulagá, donde también hay pendientes demasiado escarpadas que superan los 75° de pendientes ubicadas cerca del nacimiento de la quebrada Ulagá



Mapa 4. Mapa de Pendientes de la Microcuenca, Quebrada Ulagá.

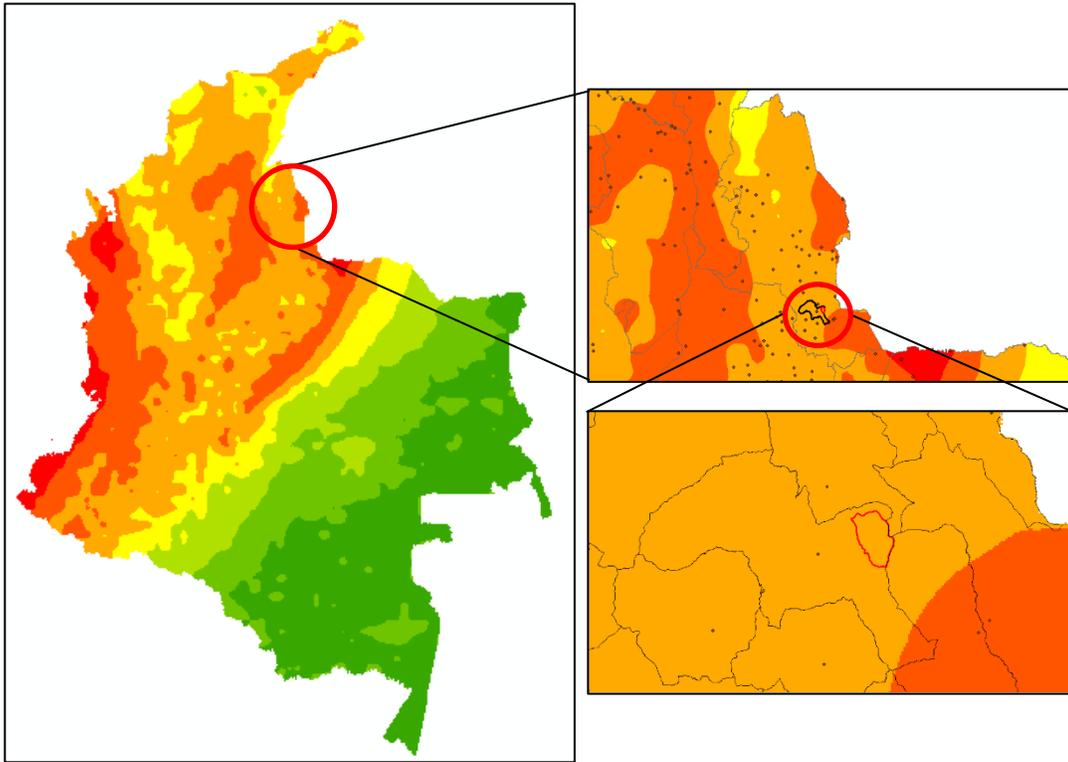
Fuente: Rico Q, (2019).

SISMOS

La región occidental de Suramérica se encuentra dentro del denominado Cinturón de fuego del Pacifico; una compleja franja de fosas tectónicas, en donde las mayores placas de la corteza

terrestre interactúan mediante procesos de expansión y colisión, originando terremotos y erupciones volcánicas.

Ilustración 14 Esquema de la intensidad sísmica dentro de la Microcuenca Ulagá.



Fuente: Servicio Geológico Colombiano, (2017)

El Servicio Geológico Colombiano posee en su base de datos abiertos al público el mapa de intensidad sísmica, para todo nuestro país. En base a la zona de estudio que es la Quebrada Ulaga ubicada en Pamplona, Norte de Santander se puede observar que es una zona altamente propensa a sismos, según la escala de colores podemos observar que el color naranja claro que abarca casi toda la zona del Norte de Santander y abarca nuestra zona de estudio, indica que la percepción de los sismos es Muy Fuerte, con un potencial Moderado. Esto nos da entender que, dentro de nuestra microcuenca, un factor importante que puede ser detonante de movimiento en masa es la sismicidad.

ORIENTACIÓN DE LAS VERTIENTES

La Orientación identifica la dirección de la pendiente descendente de la tasa de cambio máxima en un valor desde cada celda hacia sus vecinas(ArcGIS,2016). Esta se mide en sentido de las agujas del reloj en grados desde 00 (hacia el norte) a 360 (hacia el norte, nuevamente), como se indica en la (Ilustración 15).

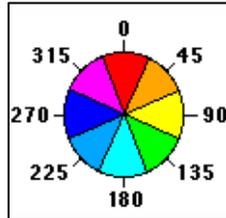
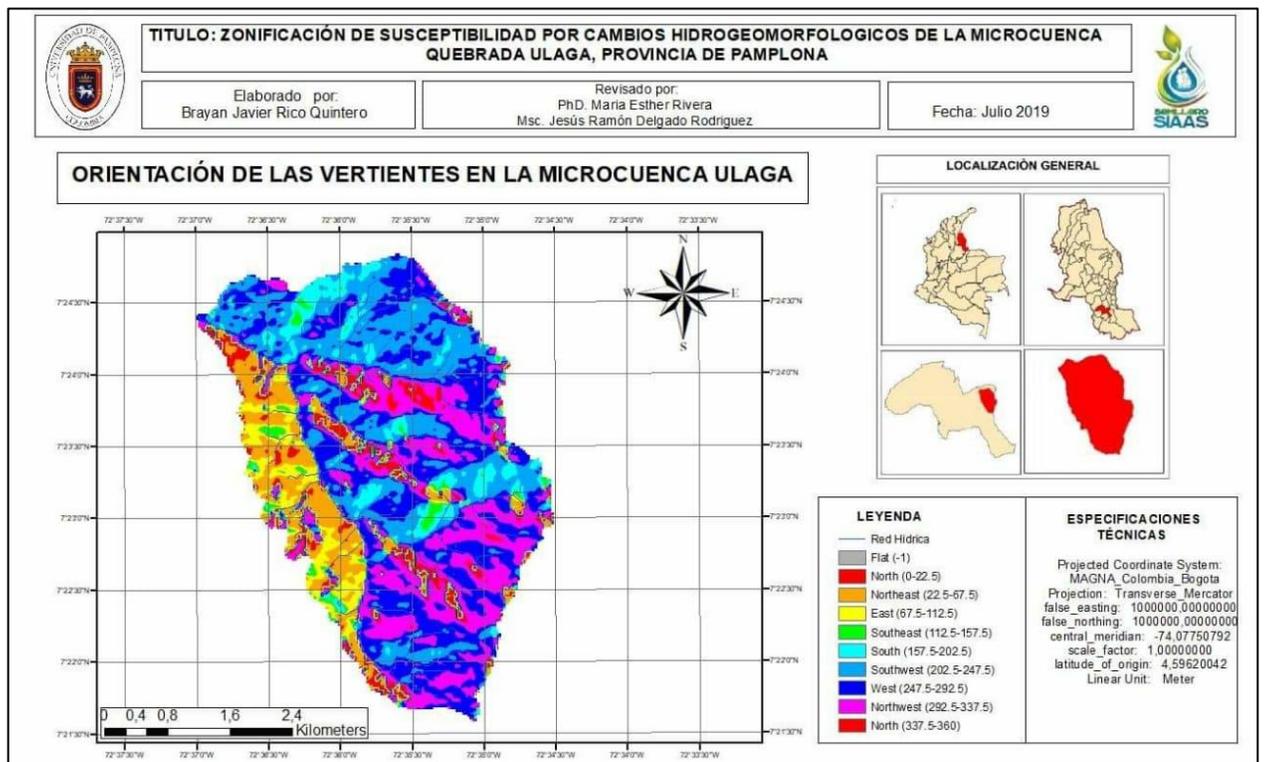


Ilustración 15. Direcciones de orientación

Fuente: ArcGIS,(2016) .



Mapa 5. Mapa de la Orientación de las Vertientes dentro de la Microcuenca, Quebrada Ulagá.

Fuente: Rico Q, (2019)

Se puede observar que casi el 50% de las pendientes, poseen dirección hacia el Noroeste (color morado), ubicada entre los 292,5° y 337,5°.

COBERTURA VEGETAL

La vegetación cumple una función muy importante dentro de microcuenca actúa como cubierta protectora sin embargo la influencia del hombre han modificado las coberturas propias del lugar vegetación de paramo y bosque, para introducir coberturas de como pastizales, frutales, pastizales, cultivos transitorios.

En la parte media se encontró un mosaico con parches de bosque andino secundario, la microcuenca aflora en el páramo de tierra zona donde se encuentra vegetación de paramo y subpáramo que, a pesar de ser un área estratégica destinada a la conservación del ecosistema, se realizan actividades agropecuarias que degradan el suelo generando erosión y pérdida de vegetación nativa.

En la parte media de la microcuenca donde las vertientes se ven altamente afectadas por procesos erosivos, aunque se presenta mayor densidad de la cobertura superficial y se observan especies arbóreas con copa alta con hojas palmadas y lobuladas que forman gotas de mayor tamaño dando lugar a procesos erosivos ya que las gotas se concentran en áreas focalizadas, excediéndose las tasas de infiltración y dando lugar al indeseado escurrimiento superficial que sumado a otros factores aceleran la erosión en la microcuenca , en la parte media y baja de la quebrada se observa arbustos y cultivos.

Ilustración 16 Cultivos de cebolla, papa, durazno, tomate de árbol en la microcuenca Ulagá



Fuente: Elaboración Propia, (2019)

Ilustración 18 Matorral boscoso y arbustos en la microcuenca Ulagá.



Fuente: Elaboración Propia

Ilustración 17 Pastizales y Matorral en la microcuenca Ulagá



Fuente: Elaboración Propia

SUELOS

En el área de la microcuenca de la quebrada Ulagá, se encontraron procesos activos en los taludes y laderas; estos ocurren generalmente, a lo largo del cauce de la

quebrada, propiamente en las laderas donde se pudieron identificar deslizamientos por falla, por caída libre, flujos, movimientos de masa o erosión hídrica siendo frecuente la presencia de cárcavas y surcos en el material expuesto.

En la microcuenca el tipo más común de movimiento fueron los deslizamientos tanto rotatorios como traslacionales, seguidos por los movimientos de tipo reptación, erosión hídrica presente a lo largo de la quebrada que provocan más deslizamientos y eventual caída-desprendimiento, con secuencias de repetición. Casi todos los procesos identificados se encuentran en estado activo, mientras que hay otros que se encuentran en recuperación y han recuperado la cobertura vegetal y su estabilidad; la velocidad predominante es rápida, los materiales involucrados son arenas, gravas y bloques.

Ilustración 19. Presencia de deslizamientos y erosión hídrica dentro de la Microcuenca Quebrada Ulagá.



Fuente: Rico Q ,(2019).

Ilustración 20. Avalancha de detritos y corriente de derrubios, Quebrada Ulagá



Fuente: Rico Q, (2019).

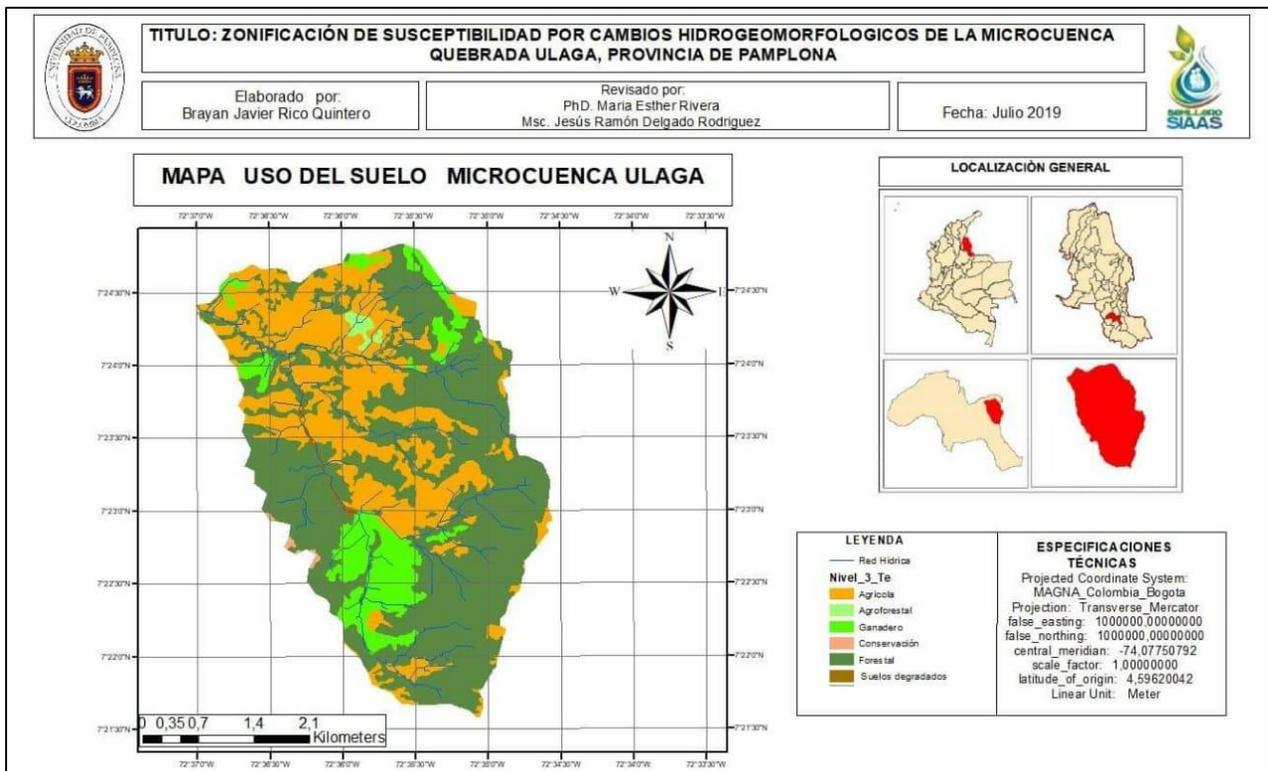
Ilustración 21. Deslizamiento de derrubio en bloque y Movimiento de tipo Reptación, Quebrada Ulagá.



Fuente: Rico Q, (2019)

USO DEL SUELO

La clasificación técnica del uso del suelo busca cumplir objetivos prácticos específicos mediante la evaluación de limitantes, que permiten definir el marco global de su manejo, buscando siempre que el recurso suelo sea sostenible como productor de bienes y servicios. En la microcuenca Ulagá objeto de estudio, el uso inadecuado del suelo, es el principal factor en la inestabilidad de laderas ya que según el uso potencial son suelos destinados a la protección y uso forestal y en menor medida a actividades agropecuarias.



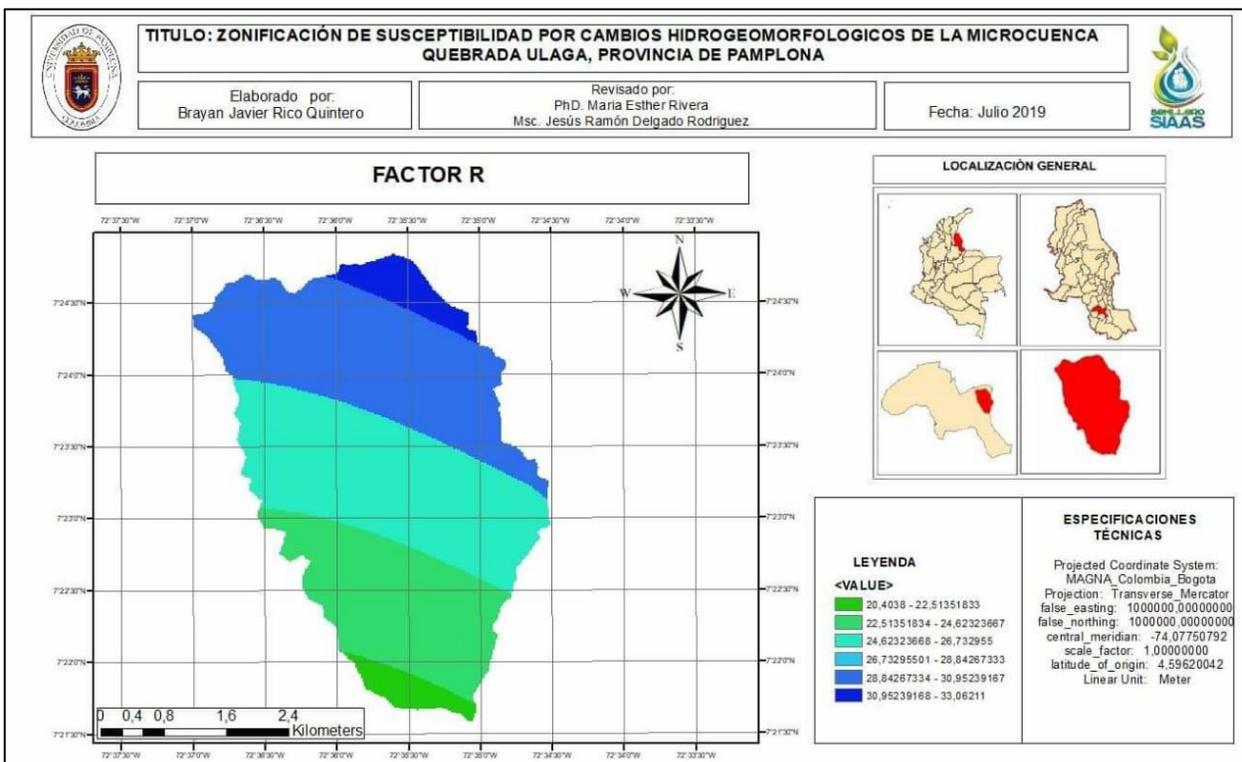
Mapa 6. Mapa de Uso de Suelo de la Microcuenca, Quebrada Ulagá.

Fuente: Rico Q, (2019).

FACTOR R

En la se muestra el Mapa del Factor R para la Cuenca de la quebrada Ulagá, presentándose valores mayores de erosividad de lluvia en las partes altas y media de la quebrada donde se han presentado deslizamientos y se evidencia la agresividad de las lluvias.

Para hallar factor R en base a las precipitaciones se interpoló y se hallaron las precipitaciones totales de la zona, en base en eso halló la intensidad en 30 minutos y luego la energía unitaria y energía total, con esto se estableció el factor R.



Mapa 7. Mapa del Factor R para la Microcuenca, Quebrada Ulagá.

Fuente: Rico Q, (2019).

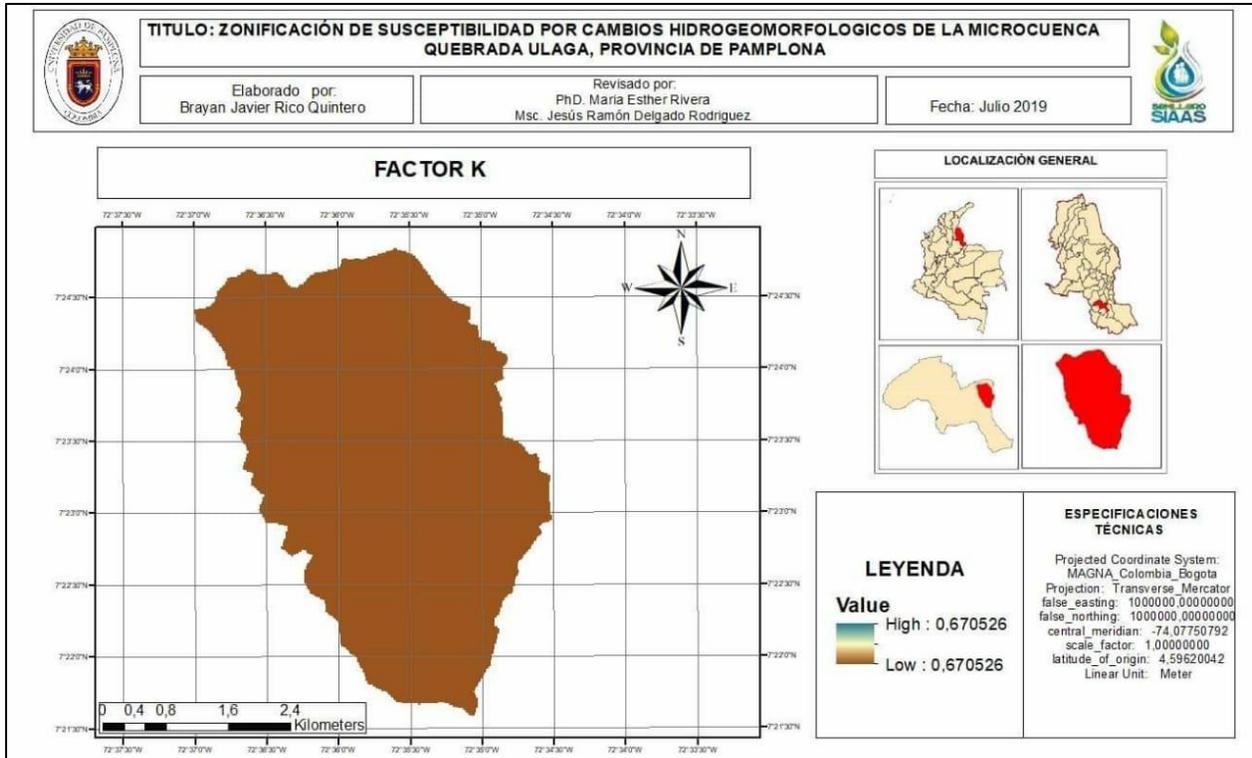
FACTOR K

De acuerdo con la textura presente en la cuenca, se estableció que el contenido de arena, limo, arcilla y materia orgánica presentes en la tabla 11, determino la permeabilidad. Además se estableció los valores de K para las formaciones de rocas teniendo en cuenta las unidades litológicas presentes en la zona de estudio. En la tabla --- se establecen los valores de K para las unidades de suelo y formaciones de rocas presentes en la cuenca que varían de --- a--- Mjmm/ha.a, así mismo se establece que la zona donde se ubican los depósitos es más susceptible a erosionarse seguido de las formaciones de rocas sedimentarias blandas.

Tabla 12. Factor K para la microcuenca Ulagá

UNIDAD DE SUELO	ARENA %	LIMO %	ARCILLA %	CARBONO ORGANICO %	FACTOR K(WILLIAMS) (Mjmm/ha.a)
LC	64.3	12.2	23.5	0.63	0.082971

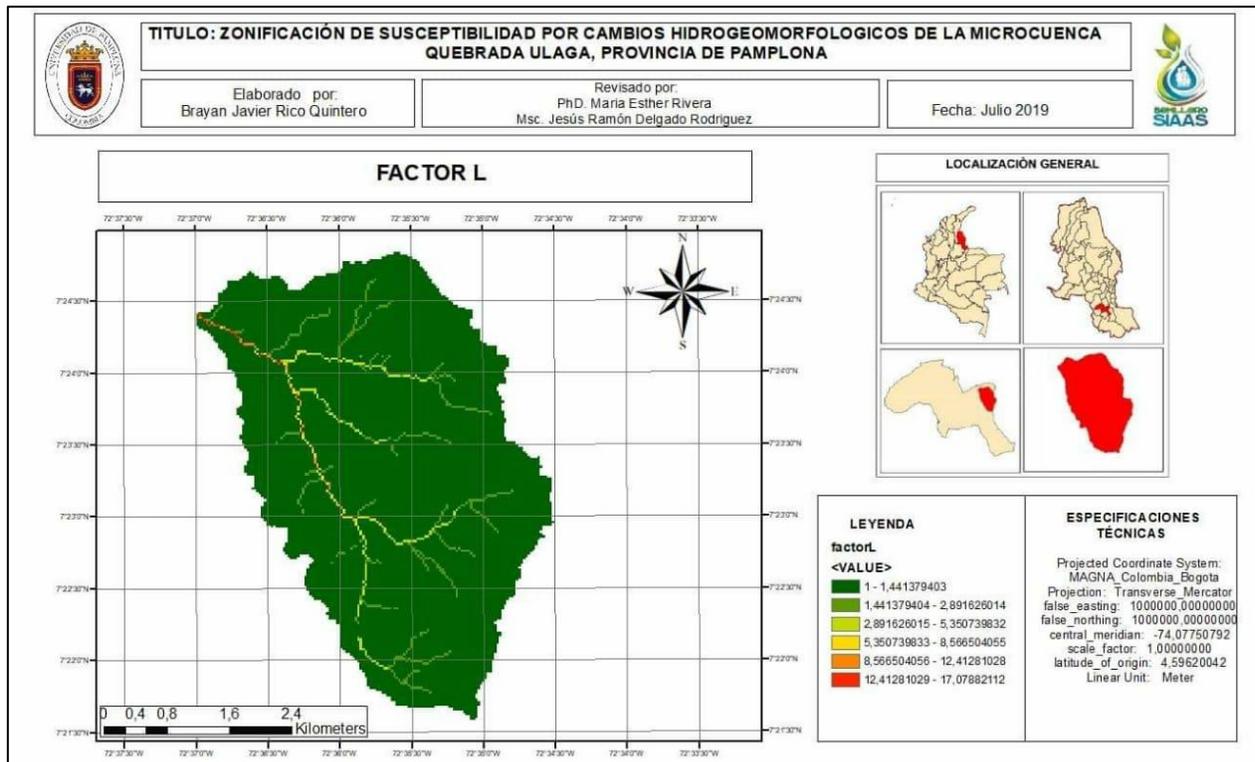
Fuente: Rico Q, (2019).



Mapa 8. Mapa del Factor K para la Microcuenca, Quebrada Ulagá.

Fuente: Rico Q, (2019).

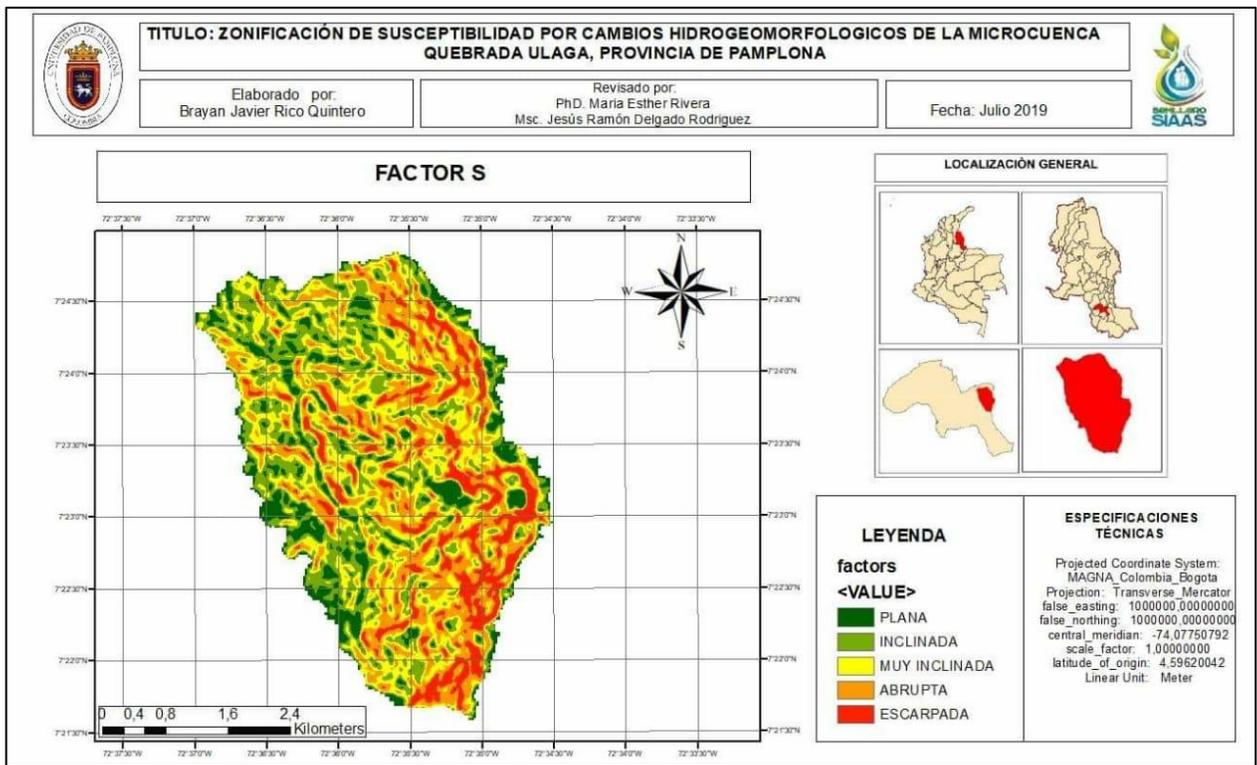
FACTOR LS



Mapa 9. Mapa del subfactor L para la Microcuenca, Quebrada Ulagá.

Fuente: Rico Q, (2019)

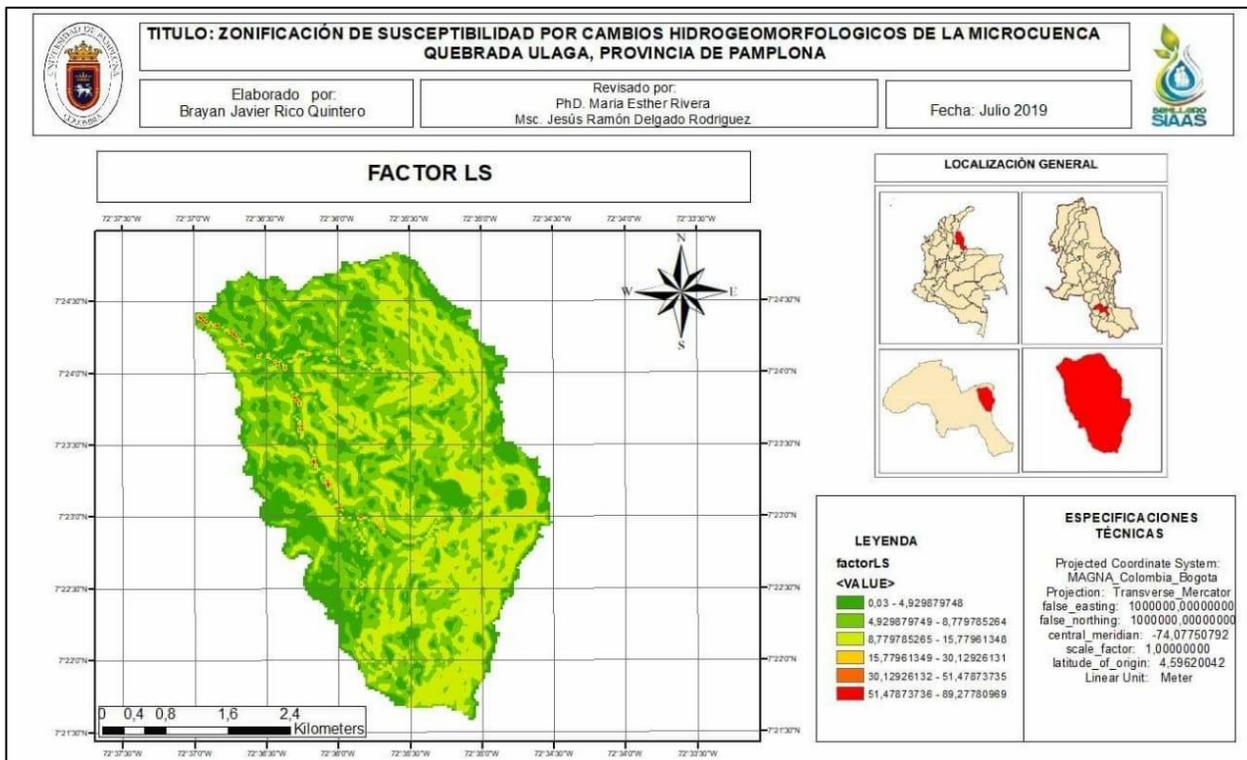
Dado que el factor L hace alusión a las longitudes de las pendientes este presenta valores altos y por ende una mayor concentración en las zonas de ladera donde las pendientes son similares (Mapa 9). Caso contrario se evidencia en la figura (Mapa 10) que representa el factor S el cual al depender exclusivamente de las pendientes presenta sus valores más altos en zonas donde hay variaciones fuertes de pendientes, es por eso que las pendientes más fuertes se presentan en segmentos de las zonas de ladera.



Mapa 10. Mapa del Subfactor S para la Microcuenca, Quebrada Ulagá.

Fuente: Rico Q, (2019).

Los dos factores presentan un comportamiento similar en las zonas más planas y sobre el cauce de la quebrada Ulagá, por ende, no hay una variación notable de pendientes, que representa el factor LS, el efecto combinado de la pendiente y la longitud de los terrenos expuestos a la erosión laminar y en surcos. La mayor parte del área de la cuenca presenta susceptibilidad de erosión alta y muy alta con respecto a la pendiente donde se evidencia suelos degradado deslizamientos rotacionales y traslacionales.

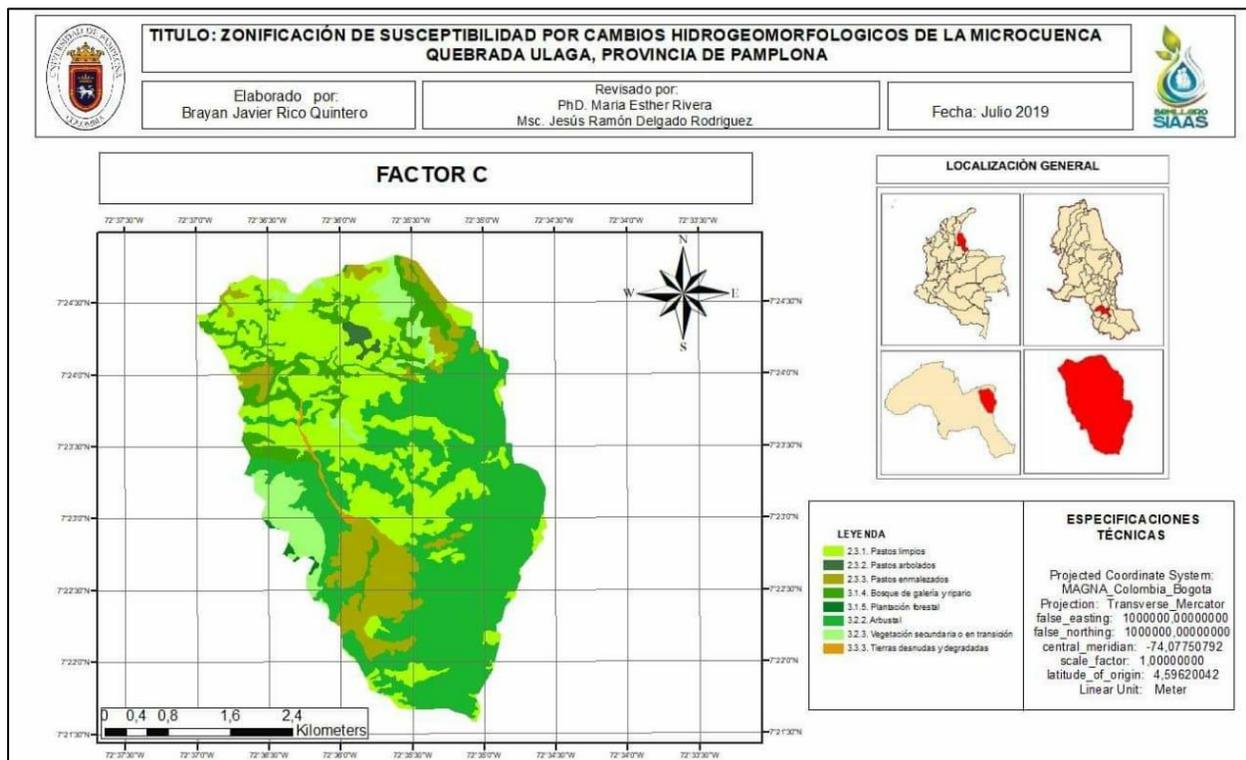


Mapa 11. Mapa del Factor LS para la microcuenca Ulagá.

Fuente: Rico Q, (2019).

FACTOR C

El factor c mostrado en el (Mapa 12.) representa este mismo factor LS para cada una de las coberturas que se presentan en la microcuenca Ulagá. En las zonas donde hay cobertura vegetal de bosque natural denso identificada en el mapa con color verde oscuro, se ubica en las zonas más altas de la microcuenca, cerca de las zonas de paramo y subpáramo, esto se debe a que la misma vegetación no permite la pérdida del suelo ya que de una u otra forma esta amortigua las fuertes precipitaciones que se pueda presentar durante el año, con sus variantes de duración e intensidad que son las que provocan erosión y es un detonante a deslizamientos en masa así mismo se aprecia que en las zonas con colores verdes claros encontramos cobertura vegetal baja y por ende la pérdida de suelo por salpicadura del agua es mayor.



Mapa 12. Mapa del Factor C para la Microcuenca, Quebrada Ulagá.

Fuente: Rico Q, (2019).

En la (Tabla 13) se establece la clasificación de coberturas para la cuenca de la quebrada Hato Viejo según la metodología Land Cover, donde se definieron 9 categorías: bosque natural denso, matorral boscoso en transición, arbustos y matorral, vegetación de paramo y subpáramo, pastos arbolados, tierras degradadas, cultivos transitorios, frutales, pastizales naturales, siendo las zonas de bosque natural las de mayor abundancia.

Tabla 13. Factor C establecido para las coberturas de la microcuenca Quebrada Ulagá

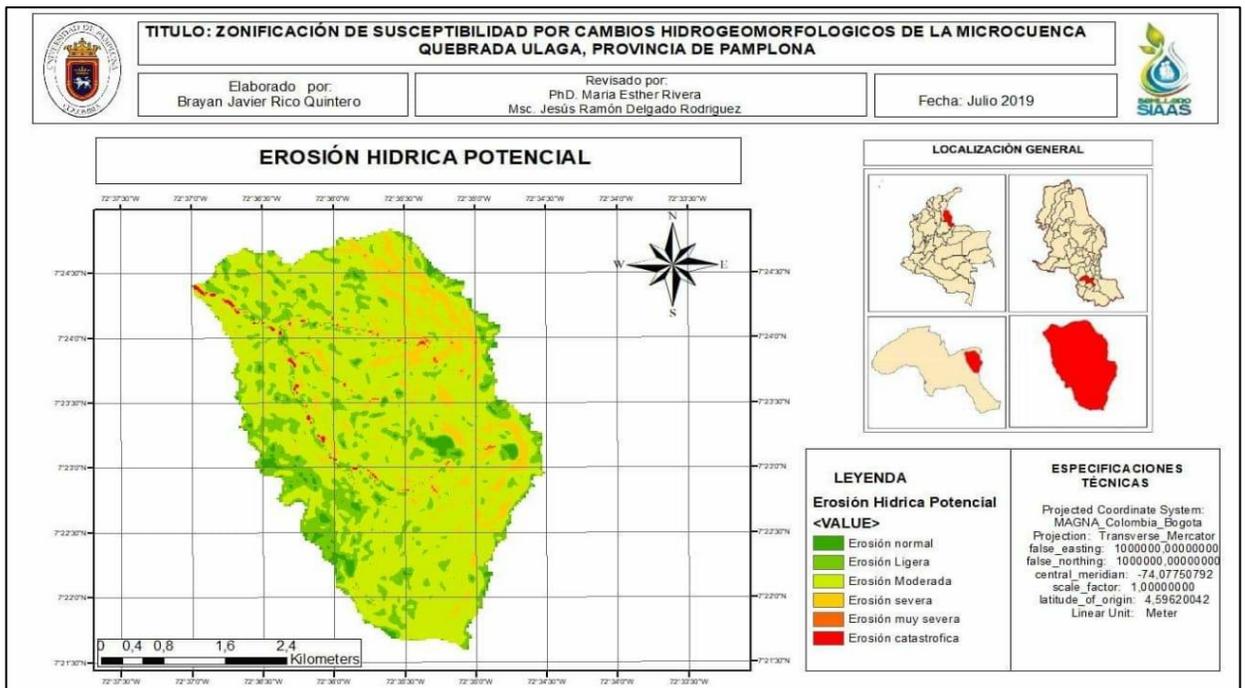
COBERTURA	FACTOR C
Bosque Natural Denso	0,041
Matorral Boscoso en transición	0,086
Arbustos y Matorral	0,186
Vegetación de paramo y subpáramo	0,001
Pastos Arbolados	0,1

Tierras Degradadas	1
Cultivos Transitorios	0,435
Frutales	0,525
Pastizales Naturales	0,13

Referencia: Solano V, (2017)

EROSIÓN HÍDRICA POTENCIAL

En el (Mapa 13) se puede observar que la erosión potencial para la microcuenca Ulagá, se inclina con mayor atenuación hacia las zonas de mayor pendiente, mientras que en las zonas con menor inclinación se aprecia menor pérdida de suelo.



Mapa 13. Mapa del Factor de Erosión Hídrica Potencial para la Microcuenca, Quebrada Ulagá.

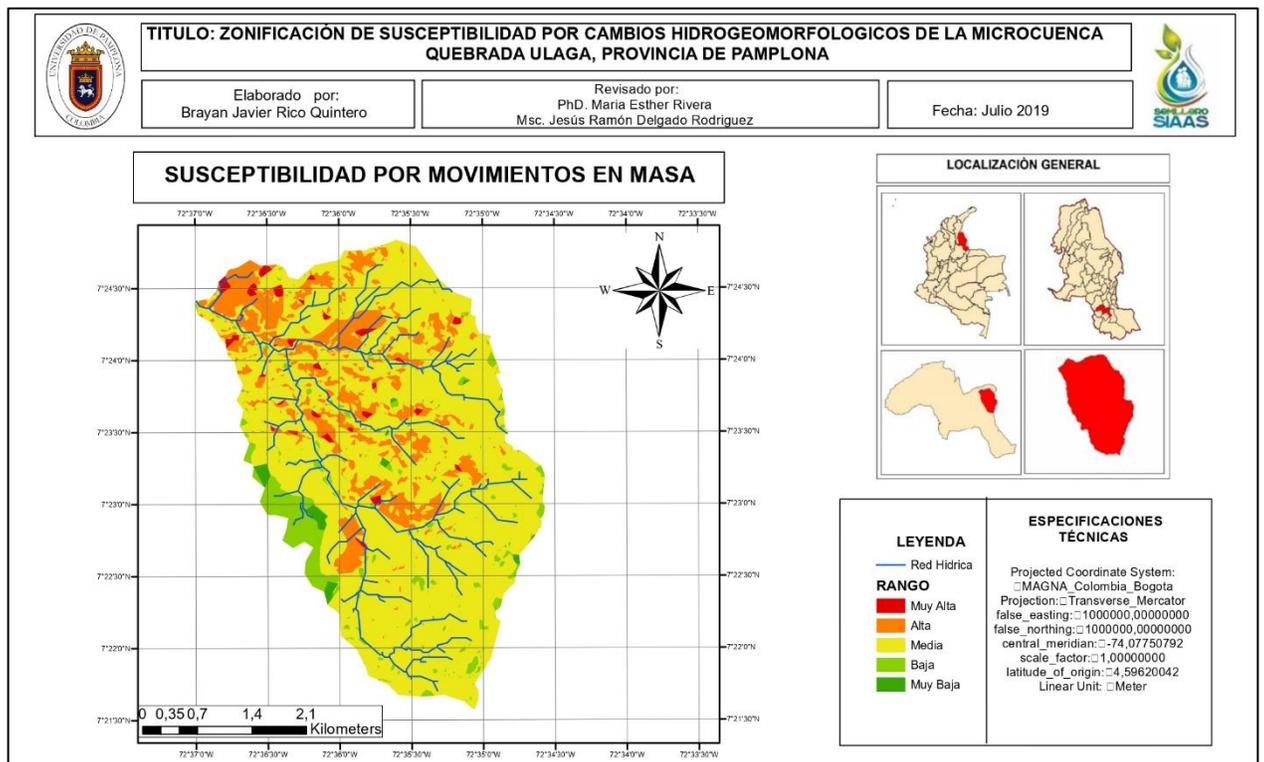
Fuente: Rico Q, (2019).

Dentro del cauce también se demarca con color rojizo erosión catastrófica, que se evidencia. Existe un factor que ayuda a que la pérdida de suelo sea poca en algunas zonas es la topografía, tal y como se puede apreciar en las zonas con mayores pendientes tenemos una mayor tendencia hacia la pérdida del suelo. Como se ha definido anteriormente la erosión hídrica potencial es la susceptibilidad que presenta la zona sin tener en cuenta la mano del hombre, esta es importante

porque aporta al estudio una tendencia de cómo se comporta la pérdida de suelo en condiciones naturales.

MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A DELIZAMIENTOS

Siguiendo la metodología y obtenido todos los mapas necesarios de los factores que inciden en mayor medida en la susceptibilidad de deslizamientos, se realizó el mapa de susceptibilidad a deslizamientos, donde según la información de campo y análisis de los anteriores mapas, se puede corroborar la información que este contiene. A lo largo de la quebrada Ulagá dentro del cauce y en las laderas se puede identificar movimientos en masa importantes y que pueden ser de consideración en un futuro, localizados dentro de las zonas de susceptibilidad Media, Alta y Muy Alta establecidos en el mapa, según la combinación de estos y su posterior reclasificación según la



Mapa 14. Mapa de susceptibilidad a deslizamientos en la Quebrada Ulagá.

Fuente: Rico Q, (2019).

CONCLUSIONES

Dentro de los factores detonantes, existen dos en especial que afectan en mayor medida en la microcuenca Ulagá: Ausencia de cobertura vegetal, o la eliminación de ella. La masiva explotación del suelo con fines agropecuarios, se traducen en elevadas pérdidas de suelo, sobre todo si una vez eliminada la cubierta vegetal se efectúan labores agresivas en laderas, además se presentan pendientes abruptas y escarpadas en más del 75% del área que favorecen los procesos erosivos y por ser una zona montañosa, presenta desniveles importantes que aumentan la torrencialidad.

RECOMENDACIONES

Lista de tablas

Tabla 1 Factores que condicionan a cada tipo de movimiento en masa.....	20
Tabla 2. Clasificación de Remociones en Masa.....	32
Tabla 3. Escala de velocidad de remociones en masa.....	32
Tabla 4 Clasificación de remociones en masa basada en generación por sismos.	33
Tabla 5 Efectos de la saturación por precipitaciones.	45
Tabla 6 Tipos de remociones en masa generadas por sismos.	47
Tabla 7 Abundancia de eventos de remoción en masa generadas por sismos.	47
Tabla 8 Facto K según el tipo de roca formadora del substrato superficial.	61
Tabla 9 Factor C para coberturas según clasificación Land Cover.	62
Tabla 10 Característica morfométricas de la microcuenca quebrada Ulagá.	66
Tabla 11 Parámetros geomorfológicos de la microcuenca quebrada Ulagá	67
Tabla 12. Factor K para la microcuenca Ulagá	84
Tabla 13. Factor C establecido para las coberturas de la microcuenca Quebrada Ulagá	88

Lista de ilustraciones

Ilustración 1. Localización quebrada Ulagá , municipio de Pamplona.	16
Ilustración 2. (a) Esquema de caída de rocas (b) Movimiento denominado "Colapso", (gemma, 2007)	34
Ilustración 3. Esquema de vuelco en bloque , (gemma, 2007).....	35
Ilustración 4. (a) y (b) Esquema de un deslizamiento traslacional, llamado resbalamiento y corrimiento (gemma, 2007).....	36
Ilustración 5. Esquema de un deslizamiento rotacional mostrando los rasgos morfológicos característicos.	37
Ilustración 6. Esquema de expansiones laterales, (gemma, 2007)	39
Ilustración 7. Esquema de flujos canalizados y no canalizados, según (gemma, 2007)	40
Ilustración 8. Esquema metodológico USLE	54
Ilustración 9. Modelo Digital de Elevación (DEM), para la zona de estudio.	58
Ilustración 10. Parámetros morfométricos calculados en Arcgis	59
Ilustración 11. Imagen Landsat 8	64
Ilustración 12. Esquema para la construcción del mapa de susceptibilidad y amenaza.....	65
Ilustración 13. Curvas IDF para la microcuenca Ulagá	69
Ilustración 14. Esquema de la intensidad sísmica dentro de la Microcuenca Ulagá.	75
Ilustración 15. Direcciones de orientación.....	76
Ilustración 16. Cultivos de cebolla, papa, durazno, tomate de árbol en la microcuenca Ulagá	78
Ilustración 17. Pastizales y Matorral en la microcuenca Ulagá	79
Ilustración 18. Matorral boscoso y arbustos en la microcuenca Ulagá.	79
Ilustración 19. Presencia de deslizamientos y erosión hídrica dentro de la Microcuenca Quebrada Ulagá.	80

Ilustración 20. Avalancha de detritos y corriente de derrubios, Quebrada Ulagá.....81

Ilustración 21.Deslizamiento de derrubio en bloque y Movimiento de tipo Reptación, Quebrada
Ulagá.81

Lista de Mapas

Mapa 1. Red Hídrica Quebrada Ulagá y su respectivo orden según Strahler.	68
Mapa 2. Mapa de la Geología de la Microcuenca, Quebrada Ulagá.	70
Mapa 3. Mapa de Geomorfología de la Microcuenca Quebrada Ulagá.	72
Mapa 4. Mapa de Pendientes de la Microcuenca, Quebrada Ulagá.	74
Mapa 5. Mapa de la Orientacion de las Vertientes dentro de la Microcuenca, Quebrada Ulagá..	76
Mapa 6. Mapa de Uso de Suelo de la Microcuenca, Quebrada Ulagá.	82
Mapa 7. Mapa del Factor R para la Microcuenca, Quebrada Ulagá.	83
Mapa 8. Mapa del Factor K para la Microcuenca, Quebrada Ulagá.	84
Mapa 9. Mapa del subfactor L para la Microcuenca, Quebrada Ulagá.	85
Mapa 10. Mapa del Subfactor S para la Microcuenca, Quebrada Ulagá.	86
Mapa 11. Mapa del Factor LS para la microcuenca Ulagá.	87
Mapa 12. Mapa del Factor C para la Microcuenca, Quebrada Ulagá.	88
Mapa 13. Mapa del Factor de Erosión Hídrica Potencial para la Microcuenca, Quebrada Ulagá.	89
Mapa 14. Mapa de susceptibilidad a deslizamientos en la Quebrada Ulagá.	90

Referencias

GEMMA, G. (2007). Una Guía para la Evaluación de Amenazas. Movimientos en Masa en la Región Andina.

TAMBO ENCALADA, W. S. (2011). Estudio del peligro de deslizamiento del norte de la ciudad de Loja, provincia de Loja. Ecuador. 84.

VÉLEZ M. (1999). Pérdida de suelo y relación erosión-productividad en cuatro sistemas de manejo del suelo.

JARAMILLO, TARAZONA Y NAVARRO (2007). Los suelos de la microcuenca hidrográfica de Ulaga y su vínculo con la disponibilidad del recurso hídrico. Docente Programa de Ingeniería Ambiental Grupo de Investigaciones Ambientales (GIAAS) Facultad de Ingenierías y Arquitectura - Universidad de Pamplona, (2007)

HURST, D., MUDD, S.M., WALCOTT, R., ATTAL, M., YOO, K., (2012,) Using hilltop curvature to derive the spatial distribution of erosion rates: Journal of Geophysical Research.

HENAO, D. (2012). Análisis de riesgos naturales, a partir del método directo, en el municipio de San Francisco Antioquia. San Francisco. Antioquia. San Francisco: s.n.

PMCC. (1999). Informe Final. Proyecto Monitoreo de la Cuenca del Canal de Panamá. Balboa: USAIDANAM-STRI. Obtenido de <http://ctfs.si.edu/Public/pdfs/HeckadonIbanezCondit1999.pdf>

MARTÍNEZ MENA ET AL. (2001). Diseño experimental mediante lluvia simulada para el estudio de los cambios en la erosión del suelo durante la tormenta. Cuaternario y Geomorfología. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/V_Castillo/publication/40745165_Diseño_experimental_con_lluvia_simulada_para_el_estudio_de_los_cambios_en_la_erosion_del_suelo_durante_la_tormenta/links/541f28f80cf241a65a1aa9ba/Diseño-experimental-con-lluvia-simulada-

OYARZUN ORTEGA, C. E. (1993). Evaluación del modelo U.S.L.E. para predecir pérdidas de suelo en áreas forestadas de la cuenca del río Bío-Bío. Valdivia: Instituto de Geociencias, Universidad Austral de Chile. Obtenido de <http://mingaonline.uach.cl/pdf/bosque/v14n1/art06.pdf>

MACARIO RODRÍGUEZ, (2007). Potencialidad de las técnicas sig para la gestión medioambiental: aplicación al estudio de la erosión. Revista electrónica de la UCM. URL <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-41233/2007%201%20RODRIGUEZ.pdf>

KEEFER, D.K., (1984). Landslides caused by earthquakes. Geological Society of America Bulletin, vol. 95, p. 406-421.

PIERSON, T.C.; COSTA, J.E.,(1987). A rheological classification of subaerial sediment-water flows. Geological Society of America, Reviews in Engineering Geology, vol.7, p. 1-12.

PRIETO.C, (1985). Inestabilidades y erosión de laderas asociadas a riadas. Geología y prevención de riesgos por inundaciones, Instituto Geológico y Minero de España, p. 117-192.

SELBY, M.J., (1993). Hillslope materials and processes. Second Edition, Oxford University Press, 451 p.

SOLANO V, (2017). Análisis de los procesos erosivos en las vertientes de la microcuenca hato viejo municipio de chitagá.p.32

SIGAC, (2012). Sistema de Información Ambiental de Colombia, Uso del Suelo URL: <http://www.siac.gov.co/sueloscolombia>

ARCGIS, (2016). Conceptos del conjunto de herramientas de superficie, como funciona la orientación. URL: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-aspect-works.htm>

DELGADO, (2011). Informe geológico ambiental preliminar para el área de pamplona http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portaig/home_1/recursos/noticias-2011/mayo/06052011/informegeologico.pdf

ALCALDÍA DE PAMPLONA(2012-2015). Plan básico de ordenamiento territorial

municipio de pamplona.URL: <http://www.pamplona-nortedesantander.gov.co/Transparencia/PlaneacionGestionControl/DIAGN%C3%93STICO%20PBOT%20PAMPLONA.pdf>