# ANALISIS DE PARAMETROS MORFOMETRICOS, MORFOLOGIA FLUVIAL Y RELACION DE LA COBERTURA VEGETAL CON LOS MOVIMIENTOS EN MASA DE LA CUENCA DEL RIO SUPÍA

# **LEIDY JOHANA ALZATE GÓMEZ**

UNIVERSIDAD DE CALDAS

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

MANIZALES

2019

# ANALISIS DE PARAMETROS MORFOMETRICOS, MORFOLOGIA FLUVIAL Y RELACION DE LA COBERTURA VEGETAL CON LOS MOVIMIENTOS EN MASA DE LA CUENCA DEL RIO SUPÍA

## **LEIDY JOHANA ALZATE GÓMEZ**

Asesor Universidad de Caldas: Diego Alberto Arango Arcila

(Esp. Computación)

Asesor JEDEGER: Rubén Darío García Jiménez

(Esp. Geotecnia)

UNIVERSIDAD DE CALDAS

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

MANIZALES

2019

# **TABLA DE CONTENIDO**

GLOSARIO	. 1
RESUMEN	2
1.INTRODUCCION	4
1.1 ANTECEDENTES	5
1.2 OBJETIVO GENERAL	6
1.3 OBJETIVOSESPECIFICOS	6
1.4 LOCALIZACION	. 7
1.5 METODOLOGIA	8
1.5.1 Consulta y revisión bibliográfica de la zona de estudio	8
1.5.2 Cartografía base	8
1.5.3 Elaboración de procesos de Software, apartir de modelos de elevación del terreno	8
1.5.4 Visita de campo de parte de la zona de estudio	8
1.5.5 Elaboración de mapas temáticos de la zona	8
1.5.6 Cualificar vulnerabilidad y susceptibilidad	9
2. DESCRIPCION GENERAL DE LA CUENCA	9
2.1 GENERALIDADES	9
2.2 COBERTURAS	10
2.2.1 Paramo	10
2.2.2 Bosque andino y subandino	10
2.2.3 Bosque seco tropical y humedales asociados	10
2.3 USOS ECONOMICOS DEL SUELO	11
2.4 NUCLEO URBANO DE SUPÍA, RIOSUCIO, MARMATO	11
2.4.1 Veredas de los municipios de Supía, Riosucio, y Marmato que comprenden la Cuenca.	11
2.5 COMPONENTE HIDRICO	12
3. COMPONENTE GEOLOGICO	12
3.1 ROCAS IGNEAS DEL TERCIARIO	12
3.1.1 Pórfido Dacitico (Td) y Pórfido Andesitico Hornblendico (Tadh)	12

3.2 ROCAS METAMORFICAS DEL PALEOZOICO	13
3.2.1 Esquistos Cuarzosericiticos (Pes)	13
3.3 ROCAS SEDIMENTARIAS DEL CENOZOICO	13
3.3.1 Formación Amaga	13
3.3.2 Formación Combia	13
3.4 ROCAS SEDIMENTARIAS CUATERNARIO	13
3.4.1 Aluviones Recientes (Qar)	13
4. GEOMORFOLOGIA	14
5. TECTONICA	14
6. PROCESOS DENUDATIVOS	15
6.1 EROSION	15
6.2 FENOMENO DE REMOSION EN MASA	15
7. CARACTERISTICAS MORFOMETRICAS DE UNA CUENCA	16
7.1 AREA DE DRENAJE (A)	17
7.2 PERIMETRO (P)	17
7.3 FORMA DE LA CUENCA	17
7.3.1 Índice de Gravelius o Coeficiente de Compacidad (kc)	17
7.3.2 Factor de Forma	18
7.3.3 Relación de Elongación	19
7.4 ANALISIS MORFOMETRICO DEL SISTEMA DE DRENAJE	19
7.4.1 Densidad de drenaje	19
7.4.2 Orden de las corrientes de agua	20
7.5 CONSTANTE DE ESTABILIDAD DE UN RIO	20
7.6 CARACTERISTICAS DEL RELIEVE DE UNA CUENCA	21
7.6.1 Pendiente de la Cuenca	21
7.6.2 Curva Hipsométrica	22
7.6.3 Elevación media de una Cuenca	22
7.6.4 Pendiente de la corriente principal	22
7.6.5 Pendiente media	22

8. RESULTADOS	23
8.1 MORFOMETRIA	. 23
8.1.1 Datos principales	. 23
8.1.2 Cotas características de la cuenca a intervalos de 255 m	. 24
8.1.3 Características morfológicas de la cuenca	. 26
8.1.4 Pendiente de la cuenca	. 27
8.2 PARAMETROS MORFOMETRICOS DEL SISTEMA DE DRENAJE	28
9. ANALISIS USO DEL SUELO Y SU RELACION CON LOS MOVIMIENTOS EN MASA	. 30
10. MORFOLOGIA FLUVIAL	. 43
11.CONCLUSIONES	55
12.RECOMENDACIONES	57
13. BIBLIOGRAFIA	58

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización regional de la zona de estudio, dentro del mapa se delimita la cuenca del Rio Supía y la red de drenaje7
Figura 2. Tramo del Rio Supía del sector "matadero" se observan clastos de gran tamaño en todo su recorrido y terrazas a ambas márgenes cubiertas por vegetación
Figura 3. Mapa Geología de la cuenca del Rio Supía, (Tomado de trabajo de grado Zonificación de la amenaza Relativa por movimientos en masa para las subregiones del departamento de caldas Centro-Sur, Nor Occidente, y Sur Occidente a escala 1:100.000)
Figura 4. clasificación de corrientes según el orden (Strahler A., 1964)20
Figura 5. Modelo de curvas hipsométricas del ciclo de erosión (Senciales y Ferre 1999)22
Figura 6. Curva hipsométrica25
Figura 7. Mapa de áreas entre curvas de nivel25
Figura 8. Mapa de valores de pendientes en porcentaje27
Figura 9. Mapa clasificación de orden de drenaje según el método de Strahler (1964)29
Figura 10. Proceso erosivo de pequeña escala del año 2009, en el sector "la quinta", se observa parcialmente cubierto por vegetacion35.
Figura 11. Proceso erosivo de mayor escala en el sector "la quinta" para el año 2012, se aprecia el incremento de su extensión35
Figura 12. Proceso erosivo del año 2014 en el sector "la quinta" nótese el aumento de su proporción para este año36
Figura 13. Zanja para manejo de aguas, la flecha amarilla indica la obstrucción del agua por sedimentos y basura38
Figura 14. Represamiento de agua, ocasionado por la obstrucción de zanja por sedimentos y basura, se aprecia
Figura 15. Sobresaturación del terreno, ocasionada por la obstrucción de zanjas, al desbordarse el agua sobresatura el terreno39.
Figura 16. Mapa de las coberturas del suelo y procesos erosivos, con sus respectivas áreas para los años 2009 -2012 -201440
Figura 17. tramo <b>A</b> del Rio Supía del año 2009, la línea amarilla indica el límite del rio43
Figura 18. Tramo <b>A</b> del Rio Supía en el año 2012, las flechas muestran como el límite del rio se desplaza lateralmente hacia la margen izquierda, dejando en evidencia un evento de crecida44
Figura 19. Tramo <b>A</b> del rio Supía en el año 2014, las flechas muestran la migración del Rio a su posición inicial, abandonando un brazo, viéndose este parcialmente cubierto por vegetación44

Figura 20. Tramo <b>B</b> del Río Supía del año 2009, las líneas amarillas muestran el límite del Rio44
Figura 21. Tramo <b>B</b> del Río Supía del año 2012, las flechas indican la dirección de movimiento del Rio, migrando lateralmente hacia ambas márgenes45
Figura 22. Tramo <b>B</b> del Río Supía del año 2014, las flechas indican migración a su posición inicial, quedando cubierto por vegetación las terrazas y brazos abandonados, que produjo en el año 201245
Figura 23. Tramo <b>C</b> del Río Supía del año 2009, a la izquierda casco urbano del municipio de Supía, las líneas amarillas muestran límite del espacio que ocupa el Rio46
Figura 24. Tramo <b>C</b> del Río Supía, las flechas me indican migración lateral a ambas márgenes, involucrando parte del casco urbano del municipio de Supía46
Figura 25. Tramo <b>C</b> del Río Supía del año 2014, se observa nuevamente la migración a la posición original, las flechas me indican el movimiento producido, quedando cubierto por vegetación las terrazas que dejo anteriormente47
Figura 26. Tramo <b>D</b> del Río Supía, del año 2009, la flecha indica brazo del Río abandonado, las líneas muestran límite del Rio48
Figura 27. Tramo <b>D</b> del Río Supía, del año 2012, se observa migración del Río y de terrazas a ambas márgenes, las flechas indican movimiento que se produjo, la flecha larga muestra recuperación del brazo abandonado anteriormente48.
Figura 28. tramo <b>D</b> del Río Supía del año 2014, las líneas indican el nuevo movimiento para este año, se observa nuevamente abandonado el brazo y cubierto por vegetación49
Figura 29. Tramo <b>E</b> del Río Supía, del año 2009la línea me muestra límite de ocupación del Rio50
Figura 30. Tramo <b>E</b> del rio Supía del año 2012, las flechas indican la migración del Rio hacia el casco urbano del municipio de Supía, sector la Playita50
Figura 31. Tramo <b>E</b> del Rio Supía, del año 2014, se observa migración del Río a su posición inicial, las flechas indican el movimiento, quedando cubierto por vegetación lo que anteriormente pertenecía a llanuras de inundación51
Figura 32. muro de contención, averiado por la acción del agua, observado en visita de campo en el mes de diciembre del año 201851
Figura 33. Mapa dinámica fluvial del Río Supía, tramo comprendido entre el sector "matadero" y barrio la "playita", nótese el cambio de su forma, depósito de terrazas y migración lateral izquierda52
Figura 34. Mapa de zona inundable para el municipio de Supía, representa el área de alto riesgo de inundación a escala 1:9.00054

# LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de pendientes según ARAYA-VERGARA & BORGEL (1972), YOUNG (1975) y FERRANDO (1993), modificada y presentada por MESINA (2003)	21
Tabla 2. Resultados cuantitativos de los parámetros morfometricos	24
Tabla 3. Áreas entre curvas de nivel a intervalos de 255 m, los rangos de cotas con mayor porcentaje d áreas son alturas desde 1517- 1771 msnm., hasta 1772 -2026 msnm, con valores mayores al 14%	
tabla 4. Resultado parámetros de forma de la cuenca	.26
Tabla 5. Resultado de parámetros morfometricos de la red de drenaje	.28
Tabla 6. Inventario de movimientos en masa para el periodo (2009-2019), extraído de visitas técnicas realizadas por Corporación Autónoma Regional de Caldas	
Tabla 7. Inventario de movimientos en masa para el periodo (2008-2018), extraído De visitas técnicas realizadas por Jefatura de Gestión del Riesgo Medio Ambiente y Cambio Climático	
Tabla 8. calificación de susceptibilidad a los grupos de cobertura vegetal, tomado del servicio geológio colombiano en la memoria explicativa de la susceptibilidad y la amenaza relativa por movimientos en masa, escala 1:100.000	1
Tabla 9. Áreas de las coberturas del suelo en las que se han desarrollado los procesos erosivos para lo años 2009-2012-20143	

### **LISTA DE ANEXOS**

Mapa de localización y red de drenaje.

Mapa de geología de la cuenca.

Mapa de orden de Strahler (1964).

Mapa de pendientes.

Mapa de la cobertura vegetal y procesos erosivos para los años 2009 – 2012 -2014.

Mapa de morfología fluvial Para los años 2009 – 2012 – 2014.

Mapa de zona inundable del municipio de supia.

# Nota de Aceptación

Δ	P	R	0	R	Δ	D	O		
_			v	u	_	_	v		

**Diego Alberto Arango Arcila** 

Diego A. Arango A.

**Asesor practica** 

Universidad de Caldas

### **GLOSARIO**

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

Alerta: Estado que se declara, con anterioridad a la manifestación de un fenómeno peligroso, con el fin de que los organismos operativos de emergencia activen procedimientos de acción preestablecidos y para que la población tome precauciones específicas debido a la inminente ocurrencia del evento previsible. Además de informar a la población acerca del peligro, los estados de alerta se declaran con el propósito de que la población y las instituciones adopten una acción específica ante la situación que se presenta. (Lavell, A.2001)

Antrópico: De origen humano o de las actividades del hombre, incluidas las tecnológicas. (Lavell, A.2001)

**Desastre**: Situación o proceso social que se desencadena como resultado de la manifestación de un fenómeno de origen natural, tecnológico o provocado por el hombre que, al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en una población, causa alteraciones intensas, graves y extendidas en las condiciones normales de funcionamiento de la comunidad; representadas de forma diversa y diferenciada por, entre otras cosas, la pérdida de vida y salud de la población; la destrucción, pérdida o inutilización total o parcial de bienes de la colectividad y de los individuos así como daños severos en el ambiente, requiriendo de una respuesta inmediata de las autoridades y de la población para atender los afectados y restablecer umbrales aceptables de bienestar y oportunidades de vida. (Lavell, A.2001)

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

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

**Cuenca**: Área definida topográficamente, drenada por un curso de agua, o un sistema conectado de cursos de agua, tal que todo el curso del caudal es descargado atravez de una salida simple. (SAENZ, M GERMAN)

### RESUMEN

La identificación y valoración de riesgos por inundación y Movimientos en masa en los diferentes municipios del departamento de Caldas se ha convertido en una preferencia para las organizaciones relacionadas con la gestión del riesgo responsables de la sostenibilidad y seguridad territorial, y así mismo para las comunidades, ya que la escasa información y ausencia de estudios rigurosos, hacen que se tenga mayor incertidumbre al momento de tomar decisiones de medida de prevención y reducción de los desastres. teniendo en cuenta este panorama se desarrolló un proyecto donde atravez de parámetros morfometricos tales como, Coeficiente de Compacidad, Factor de forma de Horton, Relación de elongación, Relación de Circularidad, Densidad de drenaje, Orden de las corrientes de agua, Constante de estabilidad del Río, Pendiente de la cuenca, Curva hipsométrica entre otros, obtenidos a partir de procesamiento de datos en el software ArcGis, análisis de los movimientos en masa y su relación con la cobertura vegetal atravez de un estudio multitemporal de uso del suelo y cambios en la morfología fluvial del Río Supía atravez del tiempo, mediante imágenes satelitales (fuente Google Earth), fotografías aéreas, en conjunto con información suministrada por la Jefatura de Gestión del Riesgo Medio Ambiente y Cambio Climático de la Gobernación del Departamento de Caldas y la Corporación Autónoma Regional de Caldas (CORPOCALDAS) complementado con trabajo de campo, se caracterizó la cuenca del Rio Supía, afluente del Río Cauca lo que nos permite tener una primera aproximación, acerca del comportamiento del Rio en posibles crecidas. La información geológica base para este estudio está dada por la plancha geológica 186 con escala 1:100.000 del año 1982, del Servicio Geológico Colombiano y la cartografía base escala 1:25.000 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Palabras clave: Parámetros Morfometricos, Cuenca, movimientos en masa, morfología fluvial.

### **ABSTRACT**

The identification and assessment of flood risks and mass movements in the different municipalities of the Caldas' department has become a preference for organizations related to risk management responsible for territorial sustainability and security, and also for communities, since the scarce information and absence of rigorous studies, make that there is greater uncertainty at the time of taking decisions of measure of prevention and reduction of disasters. keeping in mind this panorama, a project was developed where morphometric parameters such as Coefficient of Compactness, Horton Form Factor, Elongation Ratio, Circularity Ratio, Drainage Density, Order of Water Currents, Stability Constant River, slope of the basin, hypsometric curve among others, obtained from data processing in ArcGis software, analysis of mass movements and their relationship with plant cover through a multi-temporal study of land use and changes in the fluvial morphology of the River Supía through time, through satellite images (Google Earth source), aerial photographs, together with information provided by the lidership of Risk Management Environment and Climate Change of the Government of the Department of Caldas and Corporación Autónoma Regional de Caldas (CORPOCALDAS) complemented with field work, the Río Supía basin was characterized, a tributary of the Cauca River, which allows us to have a first approximation about the behavior of the river in possible floods. The geological information base for this study is given by geologic plate 186 with scale 1: 100.000 of the year 1982, of the

Colombian Geological Service and the cartography base scale 1: 25.000 of the Geographic Institute Agustín Codazzi.

Key words: Morphometric Parameters, Basin, mass movements, fluvial morphology.

### 1.INTRODUCCION

La gestión del riesgo se entiende como: "Política de desarrollo indispensable para asegurar la sostenibilidad, la seguridad territorial, los derechos e intereses colectivos, mejorar la calidad de vida de las poblaciones y las comunidades en riesgo" (Ley 1523 de 2012). esto se ve impulsado en Colombia de acuerdo a la política nacional de gestión del riesgo de desastres a partir del año 2012, pero cuando se habla de evaluar el riesgo no existen los suficientes recursos, tanto económicos como tecnológicos, necesarios para este proceso, y de esta misma forma la falta de información y concientización de la comunidad.

Actualmente estamos viviendo los efectos causados por la variabilidad climática, que afecta de forma directa al planeta, dentro de estos los problemas que se presentan con mayor frecuencia son las inundaciones y deslizamientos, esto debido a las altas precipitaciones que se presentan cada año, las cuales se intensifican durante el denominado fenómeno de la niña, en diferentes zonas y esto provoca que los ríos y diferentes cuerpos de agua sufran desbordamientos.

El presente trabajo se orientará a determinar los parámetros morfometricos, y realizar análisis multitemporal del uso del suelo y morfología del Río Supía y su relación con los movimientos en masa e inundaciones en este municipio, para determinar escenarios vulnerables.

"las características físicas de una cuenca son elementos que tienen una gran importancia en el comportamiento hidrológico de la misma. dichas características físicas se clasifican en dos tipos según su impacto en el drenaje, las que condicionan el volumen de escurrimiento como el área y el tipo de suelo de la cuenca, y las que condicionan la velocidad de respuesta en las que se encuentran, el orden de corriente (según Strahler 1964), la pendiente, y la sección transversal" (Moreno, 2015, pág. 8)

El propósito final de este trabajo es reunir la máxima información posible para así ampliar el conocimiento y proporcionar posibles soluciones.

### 1.1 ANTECEDENTES

Los estudios referentes a la prevención se hacen cada día más esenciales y comunes sin embargo para cuencas hidrográficas de Colombia son limitados estos estudios y en los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas solo son incluidas las grandes cuencas de cada departamento, dejando a un lado lo que se refiere a microcuencas y subcuencas, debido a la ausencia de estudios en la el área de la cuenca del Río Supía, se tuvo la necesidad de consultar con estudios similares en otras cuencas del país:

- UNIVERSIDAD DE CALDAS, López en el año 2018, elaboro un estudio para tesis de grado denominado "Análisis hidrológico y morfometrico de la cuenca del Río Tuluá, Valle del Cauca" realizado con la finalidad de obtener información fundamental del Río Tuluá, apartir de su morfología, de igual manera aportar y complementar el conocimiento hidrológico que se tiene del territorio nacional.
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, Ocampo en año 2012, elaboro un estudio para tesis de magister, denominado "Análisis de vulnerabilidad de la Cuenca del Río Chinchiná para condiciones estacionarias y de cambio climático" donde se hace el uso de parámetros morfometricos con el fin de caracterizar la cuenca y aportar información básica y estratégica para el plan de gestión integral del recurso hídrico.
- UNIVERSIDAD DE CARTAGENA, Moreno y Sierra en el año 2015, elaboraron un estudio para tesis
  de grado, denominado "Correlación entre características de los parámetros morfometricos y
  variables del drenaje superficial de las cuencas que desembocan en la ciénaga grande del
  Magdalena" donde, se analizó la relación que existe entre los parámetros morfometricos de una
  cuenca y sus respectivos caudales de escorrentía teniendo en cuenta factores como drenajes,
  tipos de suelo y pendientes.

La Jefatura de Gestión del Riesgo Medio Ambiente y Cambio Climático (JEDEGER), está comprometida con adelantar estudios que apunten a la prevención de desastres naturales y de esta manera hacer de Caldas un departamento más preparado y con mejor capacidad de respuesta ante los fenómenos y amenazas naturales.

### 1.2 OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de este trabajo, es realizar un análisis detallado de las propiedades morfométricas del Río Supía, afluente del Río Cauca, para caracterizarla mediante el software ArcGis, apoyándose en información recolectada como imágenes satelitales (fuente de Google Earth), modelos de elevación digital del terreno y cartografía base.

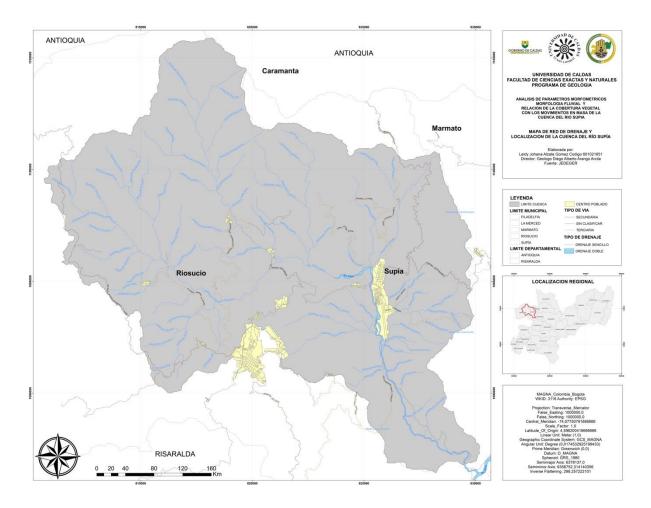
Realizar un análisis de los movimientos en masa y su relación con la cobertura vegetal, de diferentes años, reconociendo comunidades vulnerables y presentar posibles soluciones ante estos fenómenos, acompañado de un análisis multitemporal de la morfología del Río Supía.

### 1.3 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Caracterizar la cuenca del Río Supía de acuerdo a los parámetros morfometricos extraídos mediante recopilación de información necesaria y actual para evaluar su comportamiento en posibles crecidas.
- Generar relaciones entre coeficientes de clasificación, de parámetros espaciales de la cuenca tales como factor de forma, compacidad, relación de elongación y de circularidad.
- Determinar el área que existe entre diferentes rangos de altura establecidos y construir la curva hipsométrica
- Calcular la densidad de drenaje, orden de corrientes según Strahler (1964), y la constante de estabilidad del sistema del drenaje.
- Hacer un análisis multitemporal de la cobertura vegetal para relacionar sus cambios con los movimientos en masa presentes dentro de la zona.
- Realizar análisis multitemporal de la morfología del río Supía y de esta manera determinar escenarios de riesgos por inundación en el área urbana del municipio.
- Proponer posibles soluciones que aporten a la prevención de posibles movimientos en masa y así mismo inundaciones que eventualmente puedan presentarse.

### 1.4 LOCALIZACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde a la cuenca hidrográfica del Rio Supía, localizada al Noroccidente del departamento de Caldas, en los municipios de Supía, Riosucio y Marmato, Limita al norte con el municipio de Caramanta, departamento de Antioquia, al occidente municipio de Riosucio, departamento de Caldas, al sur con el departamento de Risaralda y al suroriente con el Río Cauca (figura 1).



**Figura 1.** mapa de localización de la zona de estudio, nótese como el cauce principal afecta directamente la cabecera del municipio de Supía.

### 1.5 METODOLOGIA

Para llevar a cabo los objetivos que se plantean en el presente estudio, fue necesario programar y seguir una serie de etapas, las cuales consistieron, en principio a una recopilación de información acerca de estudios similares previos para la cuenca en mención y complementar con estudios de parámetros morfométricos para otras cuencas, apartir de modelos de elevación digital del terreno que para el área de estudio se disponía con tamaño de pixel 12,5 metros (Fuente NASA), se procesó la información en el software ArcGis, posterior a esto se consignó la información de visitas técnicas realizadas por CORPOCALDAS entre los años (2009 – 2019) en la tabla resumen (tabla 6), registrando eventos de inundaciones y movimientos en masa que se presentaron dentro del área de la cuenca, estos fueron especializados y analizados en el Software ArcGis, en conjunto con las delimitaciones de cobertura vegetal multitemporal y morfología fluvial del Río Supía realizado a partir de Google Earth, para finalmente obtener una aproximación al conocimiento de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo al que se encuentra expuesto el municipio de Supía.

### 1.5.1 Consulta y revisión bibliográfica disponible de la zona de estudio

Durante esta etapa se recopilo y organizo la información extraída de los inventarios que se realizaron de Corporación Autónoma Regional de Caldas y la Jefatura de Gestión del Riesgo Medio Ambiente y Cambio Climático, también se revisó información existente de parámetros morfometricos para otras cuencas, y se descargó información digital para el trabajo en el software, también se nos suministró datos de la alcaldía de Supía y universidad de Caldas.

### 1.5.2 Cartografía base

La JEDEGER, suministro la cartografía básica del departamento, esta consta de centros poblados, drenaje sencillo, drenaje doble, vías, limite departamental, limite municipal, limite veredal, esta información suministrada en formato Shapefile a escala de 1.25.000

### 1.5.3 Elaboración de procesos de Software, apartir de modelos de elevación del terreno

Mediante el software ArcGis, atravez de las múltiples rutinas que este nos ofrece y con un modelo de elevación digital del terreno (tamaño pixel 12.5m) se obtuvieron datos y valores, que fueron empleados para obtener los parámetros morfometricos por medio de fórmulas y cálculos, en esta etapa se especializaron y analizaron los datos de visitas técnicas, se realizó análisis multitemporal del uso del suelo, y de la morfología fluvial a partir de imágenes históricas de Google Earth.

### 1.5.4 Visita de campo a la zona de estudio

Se realizaron visitas para reconocimiento de la zona y toma de datos con la comunidad y la alcaldía del municipio de Supía, observar varios puntos de la cuenca que se localizan en el casco urbano del municipio de Supía.

### 1.5.5 Elaboración de mapas temáticos de la zona

Se espacializaron las diferentes capas temáticas tales como pendientes, geología, cobertura vegetal, clasificación de orden de los drenajes (Strahler 1964), y áreas entre curvas de nivel.

### 1.5.6 Cualificar vulnerabilidad y susceptibilidad

Dentro de los fenómenos de inundación y deslizamientos con base en mapas de pendientes en porcentaje, longitud de red hídrica, densidad y orden de la cuenca según (Strahler 1964), y relacionarlos con el área y la morfología de la cuenca, se determina gráficamente la vulnerabilidad en que se encuentra el municipio de Supía (figura 34).

### 2. DESCRIPCION GENERAL DE LA CUENCA

### 2.1 GENERALIDADES

El Rio principal de la cuenca del Río Supía, nace a una altura de 3300 msnm en el municipio de Riosucio, donde recibe el nombre de Rio Estancias y desciende en un trayecto de 33,7 km, pasando por el municipio de Supía (Figura 2), donde recibe el nombre de Rio Supía, hasta desembocar en el Río Cauca a una altura de 750 msnm, alimentan a este rio 75 tributarios entre los cuales constan de ríos, quebradas, y cañadas.

La cuenca abarca 112 veredas pertenecientes a los municipios de Supía, Riosucio y Marmato.



**Figura 2.** tramo del rio Supía localizado en el sector "Matadero", se observan clastos de gran tamaño en todo su recorrido, y terrazas a ambas márgenes cubiertas parcialmente por vegetación.

### 2.2 COBERTURAS NATURALES DEL SUELO

### 2.2.1 Páramo

Las regiones donde se localizan zonas de paramo, son estimados como ecosistemas de montaña, en una altura que varía de 2500 a 3000 msnm, a esta región corresponden temperaturas multianuales de 3 a 6 °C, (CUATRECASAS, 1958), en el páramo tiene precipitaciones entre 500 y 1000 milímetros promedio multianual, predomina la vegetación de tipo arbusto o matorral, estas regiones son estratégicas por su gran capacidad para retener agua y la regulación hídrica.

### 2.2.2 Bosque andino y subandino

El bosque andino crece en la franja de clima frio de Colombia, se encuentra a altitudes que van desde los 1900 - 2500 msnm, , las precipitaciones se estiman de 900 y 100 mm y las temperaturas promedio oscilan entre 6 y 15 °C, tiene un aporte arbóreo que no suele pasar de los 25 metros, en él se encuentran helechos arborescentes, palmas, briofitas.

El bosque andino cumple varias funciones, entre las cuales está la regulación de agua, protección del suelo, hábitats de fauna, sin embargo, se estima que en Colombia solo se mantiene en 31% de la cobertura original, el bosque andino se ha convertido en zonas de pastoreo, áreas de cultivos o asentamientos humanos. en la cuenca del Río Supía esta zona se encuentra al extremo superior.

El bosque subandino es de clima templado y se desarrolla entre la franja altitudinal comprendida entre los 1200 y 2500 msnm, estas alturas dentro de la cuenca se ubican en la parte central de esta, comprende temperaturas promedio de 16 y 23 °C, y precipitaciones de 1000 y 1800 mm.

Estos ecosistemas son de los más intervenidos por el hombre, fragmentando y reduciendo las coberturas de este tipo de suelo.

### 2.2.3 Bosque seco tropical y humedales asociados

El bosque seco tropical se define entre las cotas 900 y 1200 msnm, presenta temperaturas mayores de 24 °C, (piso térmico cálido), y precipitaciones entre 700 y 2000 mm anuales, cobertura boscosa continua, con uno o dos periodos marcados por sequía al año (Espinal 1985; Murphy & Lugo 1986, IAVH 1997).

Asociado al bosque seco tropical, en el valle geográfico se encuentran los humedales, reconocidos como valores ecológicos, sociales y paisajísticos.

### 2.3 USOS ECONOMICOS DEL SUELO

Dentro del área que comprende la cuenca, según información entregada por CORPOCALDAS los principales renglones económicos del sector son:

Cultivos de café, caña panelera, plátano, caucho, árboles frutales, en la minería el oro en primer lugar, la plata y el carbón, en el municipio de Supía se explotan arcillas para la producción de ladrillos.

En la parte baja de la cuenca, se encuentran en su mayoría pastos arbolados, caña panelera, pastos limpios, mosaico de pastos y cultivos, en la parte media predomina el cultivo de café con semisombrio, y mosaico de cultivos, y en la parte alta de la cuenca se hace más notorio los bosques altos de tierra firme, bosques y áreas seminaturales, áreas de vegetación herbácea y/o arbustiva y áreas agrícolas heterogéneas como mosaico de cultivos pastos y espacios naturales.

### 2.4 NUCLEO URBANO DE SUPÍA, RIOSUCIO Y MARMATO

Los municipios en los que se desarrolla la cuenca pertenecen a la Región Occidental del Departamento de Caldas y específicamente a la Sub-región Nor- Occidental de la misma, conformada por Riosucio, Marmato y Supía.

El municipio de Supía se encuentra ubicado en un valle, al noroccidente del departamento de caldas, rodeado por los cerros de la cordillera occidental, Cerro Tacón, Cerro Buenavista, Cerro Carbunco, Cerro el Gallo y Cerro de la Pava, tiene una extensión de 124km2, una altura de 1183 msnm, el casco urbano cuenta con 22 barrios y un asentamiento el municipio es cruzado de sur a norte por el Río Supía.

El municipio de Riosucio está ubicado en el costado Nor- Occidental del departamento de caldas sobre la estribación oriental de la Cordillera Occidental en forma descendente hacia el rio cauca, tiene una extensión de 429,1 km2, una altura máxima de 3200 msnm, cuenta con un total de 49.370 habitantes.

Marmato está localizado en el flanco oriental de la cordillera occidental y en la vertiente occidental del río Cauca, está ubicado a una altura de 1310 msnm, tiene una extensión de 44 km2.

### 2.4.1 Veredas de los municipios de Supía, Riosucio y Marmato que compren la cuenca del Río Supía

La cuenca del Rio Supía, incluye 112 veredas comprendidas entre los municipios de Supía, Riosucio y Marmato las cuales son:

Supía: San Joaquín, La Divisa, La Torre, Murillo, Taborda, La Quinta, La Loma, La Pava, Mochilón, Caracolí, La Quiebra, Alto Obispo, Bajo Obispo, Buena Vista, El Porvenir, La Clara, Alto Sanfrancisco, Bajo Sanfrancisco, Guamal, Mochilón, Arcón, Hojas Anchas, La Amalia, La Bodega, Bajo Cabuyal, Cabuyal, El Rodeo, Palmasola, El Descanso, Dos Quebradas, Mudarra, Tizamar, Alto Sevilla, San Marcos, San Pablo, El Brasel, La Clara, La Trina, Guascal, Las Vegas, Santa Ana, Bajo Sevilla, La Playita, San Cayetano, Santa Cruz.

Riosucio: Tres Cruces, Cabarga, Los Chancos, El Limón, San Jerónimo, Lomitas, Ubarba, Blandón, Pasmi, Playa Bonita, La Pradera, La Esperanza, La Floresta, El Salado, La Zulia, El Getsemaní, Cañamomo, Amolador, La Arboleda, Imurra, Portachuelo, Mejial, Jaguero, Panesso, Tunzara, San Jose, Llano Grande, San Jerónimo, 64, La Palma, Aguas Claras, El Danubio, Honduras, Buenos Aires, Santa Inés, Travesías, La Candelaria, Samaria, Quiebralomo, Partidas, Pulgarin, Arroyo Hondo, La Antioque, El Palmar, El Roble, La Florida, Veneros, Costa Rica, Las Estancias, Las Minas, Partidas, Pueblo Viejo, Santa Cecilia, La Unión, Las Pilas, Tumbabarreto, Sipirra, Tabuyo, Jagual, Aguacatal, La Iberia.

Marmato: San Juan, La Cuchilla, El Vergel, Cabras, Echandia.

### 2.5 COMPONENTE HIDRICO

La cuenca del Río Supía nace en la vereda Arroyo Hondo del municipio de Riosucio, esta cuenta con una altura de 3300 msnm, con temperaturas entre 6 y 12 °C, entre sus principales afluentes se encuentra Quebrada Grande, responsable de abastecer el acueducto del municipio de Supía, esta población cuenta con suficiente agua para fines domésticos y agropecuarios, alrededor de 75 afluentes alimentan al Rio Supía que fluyen como tributarios con coberturas boscosas, buenas y medianas los cuales son:

Quebrada Chambitraquia, Quebrada Guaimaral, Quebrada San Fernando, Quebrada Veleros, Quebrada Chontaduro, Quebrada Oscura, Quebrada Tata, Quebrada Congolo, Quebrada Ahogagato, Quebrada Peñas Blancas, Quebrada El Cedro, Quebrada Los Angeles, Cañada Bosque, Quebrada Alegrías, Rio Aguas Claras, Cañada Media Caral, Quebrada San Polo, Quebrada Grande, Quebrada Alejandria, Quebrada Pescado, Quebrada Bermejal, Quebrada Ahogapuercos, Quebrada Arconcito, Quebrada Santa Rosa, Rio Arcon, Quebrada Agua Bonita, Cañada Palestina, Quebrada Maquencal, Quebrada Toro, Quebrada Palmar, Quebrada Trocadero, Quebrada Ingruptao Cloirra, Quebrada Moral, Quebrada Chancos, Quebrada Salladera, Quebrada Chuscal, Quebrada Carrizal, Cañada Playa, Quebrada Los Zancudos, Quebrada La Salina, Quebrada Catabral o Estancias, Quebrada Varal, Quebrada Santa Inés, Quebrada Mogán, Quebrada Carbonera, Quebrada Rol, Quebrada Ansermaña, Quebrada Charco Hondo, Quebrada Grande, Quebrada Caracol, Quebrada San Juan, Quebrada Caño Monto, Quebrada Ia Honda, Quebrada El Hato, Quebrada Celebrina, Quebrada Yolombo, Quebrada Manasa, Quebrada Temblaco, Quebrada El Obispo, Quebrada El Diablito, Quebrada Cusumbi, Quebrada Amolador, Quebrada La Obra, Quebrada Rodas, Quebrada Fermin, Quebrada Guarino, Quebrada Pasmin, Quebrada Honduras, Quebrada Triste, Quebrada El Caramelo, Quebrada Costa Rica, Quebrada La Ceja, Quebrada La Cumba.

Las variaciones del caudal del río Supía, están ligadas a los meses lluviosos o secos, incrementándose su caudal y sedimentación en los meses con más precipitaciones.

### 3. COMPONENTE GEOLOGICO

En la zona de estudio afloran rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, con edades que van desde el Paleozoico hasta el Cuaternario, descritas así según el inventario de la plancha 186 (1982) del Servicio Geológico Colombiano:

### 3.1 ROCAS IGNEAS DEL TERCIARIO

### 3.1.1 Pórfido dacitico (Td) y pórfido Andesitico hornblendico (Tadh)

Los Pórfidos Dacitico (Td) constituidos principalmente por un pórfido Andesitico de color gris claro moteado de tono blanco y verde oscuro, es una roca maciza, con textura porfiríticas o afanitica, se encuentra localizado entre los municipios de Marmato entre los sectores de La Portada, Echadía y El Llano, al Oriente de Supía, en Riosucio entre los sectores de Lorenzo y Sipirra y finalmente al Norte de la Merced, los Pórfidos Andesitico hornblendico (Tadh), constituidos por rocas de textura porfiríticas que posee fenocristales de plagioclasas y de hornblenda de igual o menor dimensión, en una pasta gris clara,

afanitica, se ubica entre los Municipios de Aguadas, Caramanta, Marmato, Quinchia, suroriente de Riosucio, Pacora y Filadelfia; y por último se encuentran los Pórfidos Andesitico y Dacitico de Irra.

### 3.2 ROCAS METAMORFICAS PALEOZOICO

### 3.2.1 Esquistos Cuarzosericiticos (Pes)

Corresponde a roca metamórficas constituidas por Esquistos de cuarzo sericíticos (Pes), constituidos principalmente por cuarzo, plagioclasas, moscovita, clorita, biotita, calcita, sericita, grafito, ocasionalmente clinozoisita y cloritoide o granates y como accesorios comunes: esfena, circón e ilmenita.

### 3.3 ROCAS SEDIMENTARIAS DEL CENOZOICO

### 3.3.1Formación Amaga

Definida por González H. (1976) la Formación Amagá, se divide en tres miembros: Miembro Inferior (Toi) compuesto por conglomerados que en algunos puntos constituye la base de la unidad y la ocurrencia de mantos delgados de carbón y areniscas conglomeráticas y arcillolitas arenosas; el Miembro Medio (Tom) este miembro contiene el mayor número de mantos de carbón inexplorables, se compone de arenisca con cemento Silicio-arcilloso, arcillolitas bien estratificadas que suelen contener concreciones de siderita; y, el Miembro Superior (Tos) es el más representativo, está caracterizado por la ausencia de mantos de carbón explotables, por la escasez de conglomerados, la abundancia de areniscas y la presencia de arcillolitas de color ocre, deleznable.

esta unidad aflora en Riosucio en los sectores del salado y san Lorenzo, en Supía (veredas La Amalia, El Brasil, Panesso, Palmasola y La Trina.

### 3.3.2 Formación Combia

La Formación Combia (Tmc) compuesta por flujos de lava basáltica, rocas piroclásticas de composición intermedia y rocas sedimentarias de ambiente continental, se ubica en la parte central de la plancha, se extiende en una franja gruesa de norte a sur, abarcando los municipios de Támesis, Jardín, Riosucio, Caramanta, Guatica y Quinchía.

### 3.4 ROCAS SEDIMENTARIAS CUATERNARIO

### 3.4.1 Aluviones Recientes (Qar)

Estos están constituidos principalmente por gravas y arenas de variada composición, se localizan principalmente a lo largo del Rio Caldas.

### 4.GEOMORFOLOGIA

La zona Occidente tiene características morfológicas bien definidas; corresponde a áreas de montaña con pendientes que van de cortas a largas, cuyo basamento rocoso corresponde a rocas de tipo metamórfico como ígneo, así como rocas sedimentarias, las cuales afloran en superficie en gran parte del territorio. la localización en la zona andina les atribuye a estos municipios alta meteorización y susceptibilidad al desarrollo de procesos denudativo, factores como alta pendiente, pluviosidad, factores de origen antrópico.

Entre los ambientes geomorfológicos existen condiciones morfogeneticas denudaciones, como son las laderas prolongadas con control estructural, laderas fuertemente afectadas por procesos de remoción en masa, rellenos torrenciales y de avalanchas antiguas, depósitos coluviales recientes, depósitos coluviales laterales.

Entre las unidades geomorfológicas se encuentran:

- Unidad de colinas escarpadas, relacionadas principalmente a rocas ígneas porfiríticas, en las cuales también se presentan fenómenos erosivos como caída de roca y flujos de lodo y escombros encausados por los drenajes que corren por las altas pendientes
- Unidad de colinas levemente onduladas, relacionadas con rocas sedimentarias, y volcanosedimentarias, en las que ocurren procesos erosivos, rotacionales, translacionales, reptación y algunos asentamientos diferenciales.
- **Unidad de colinas suavizadas**, relacionadas principalmente a depósitos coluviales, con presencia de asentamientos diferenciales
- **Unidad de colinas suavizadas**, asociadas a depósitos aluviales cuaternarios, con presencia de fenómenos de socavación de orillas.

### **5.TECTONICA**

Estructuralmente la zona se encuentra afectada por las fallas Supía- San Lorenzo, Arcon- la Iberia, rodasel palo, y el lineamiento Rapao – La Comparsita.

Los municipios de Riosucio y Supía se localizan en una zona de amenaza sísmica alta, por la presencia de varias fallas del sistema tectónico regional Cauca- Romeral, que afecta el pie de monte de la cordillera occidental en su sector oriental.

### **6.PROCESOS DENUDATIVOS**

Los movimientos de tierra representan modificaciones del terreno dentro del ciclo geomorfológico natural y continuo (Scheidegger, 1998), su ocurrencia en las últimas décadas ha estado íntimamente ligada al crecimiento de la población mundial y consecuente expansión urbana sobre laderas susceptibles a este tipo de procesos.

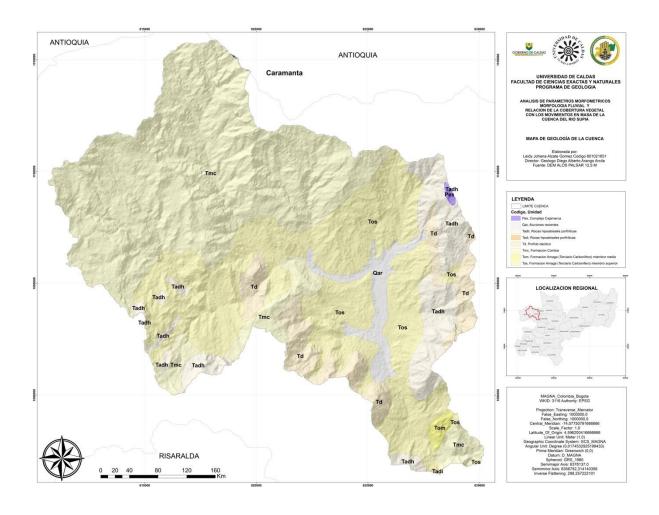
### **6.1 EROSION**

En esta zona que involucra la cuenca, se presentan problemas de inestabilidad donde se conjugan varios procesos, según los inventarios realizados para hace diez años de la corporación autónoma regional de caldas, CORPOCALDAS y la Jefatura de Gestión del Riesgo Medio Ambiente y Cambio Climático, (JEDEGER), estos son:

- **Erosión Superficial**: proceso de erosión laminar que se inicia por el impacto en la caída de las gotas de agua de lluvia contra la superficie del suelo, complementada por la fuerza de la escorrentía, produce el desprendimiento de material de las laderas o pendientes.
- **Reptación:** Movimiento muy lento manifestado por las pequeñas ondulaciones o terracetas, relacionado con la humedad del terreno y el sobrepastoreo en zonas de altas pendientes
- **Deslizamientos translacionales**: Desplazamiento superficial, del suelo en forma plana u ondulada, originada por la saturación del suelo en laderas de altas pendientes con escasa cobertura vegetal.
- **socavación lateral del cauce**: este fenómeno se presenta en el drenaje natural, favoreciendo la generación de escarpes y deslizamientos sobre el terreno.
- **deslizamientos rotacionales:** estos deslizamientos se dan a lo largo de una superficie cóncava, originados por infiltración de agua, es decir saturación y escasa cobertura vegetal.

### **6.2 FENOMENO DE REMOSION EN MASA**

Hacia la parte alta de la cuenca del Río Supía, se han identificado procesos de remoción en masa, como grandes deslizamientos de cubren áreas considerables, estos fenómenos han generado en el pasado represamientos en el rio y afluentes de este, proceso que seguirá ocurriendo debido a los materiales en que se encuentran modeladas las montañas, fenómenos tectónicos, precipitaciones elevadas durante algunas épocas del año y el impacto humano. por lo tanto, la parte alta de la cuenca del Rio Supía, representa una alta susceptibilidad a este fenómeno, pudiendo llegar a generar grandes descargas torrenciales con riesgo alto para el municipio de Supía.



**Figura 3**. Geología de la cuenca del Rio Supía, (Tomado de trabajo de grado Zonificación de la amenaza Relativa por movimientos en masa para las subregiones del departamento de caldas Centro-Sur, Nor Occidente, y Sur Occidente a escala 1:100.000)

### 7. CARACTERISTICAS MORFOMETRICAS DE UNA CUENCA

### 7.1 ÁREA DE DRENAJE (A):

Es la variable más usada, para el cálculo de otras que, consecuentemente serán dependientes de ella, la unidad de esta medida será en kilómetros cuadrados, la medida de este parámetro permite hacer una primera clasificación entre diversas cuencas en orden a su tamaño, esta al no ser una variable aleatoria, dependerá de otra variable de la cuenca "la escorrentía superficial provoca un efecto erosivo que se traduce en un vaciado de material, atravez de los canales en que jerarquiza la red fluvial, dicha jerarquización dependerá entre otros factores de la litología, presente en la zona y del espacio que tiene para desarrollarse, deduciéndose aquí que la litología tiene una intervención decisiva, en el tamaño de la cuenca, y la forma de la misma", se puede decir que a mayor área mayor caudal medio.

"no existe un consenso general sobre los rangos, de las áreas a utilizar para la clasificación. sin embargo, existen algunas clasificaciones con uso frecuente y ampliamente distribuidas, tal es el caso de la recomendada por el Centro Interamericano de Desarrollo Integral de aguas y Suelos (CIDIAT- MARNR, 1987) en el ecuador el sistema de clasificación aceptado es el siguiente:

- A. Sistema hidrográfico (+ de 300.000 ha)
- B. Cuencas (100.000 -300.000 ha)
- C. Subcuentas (15.000 100.000 ha)
- D. Minicuenca o Quebrada (< 4000 ha)

### 7.2 PERIMETRO (P):

Este parámetro por sí solo, no nos da ningún tipo de información, respecto al tamaño o forma de la cuenca, solo si comparamos cuencas de igual superficie, el valor del perímetro podrá darnos una idea de su forma. el perímetro y su forma están íntimamente relacionados con la litología y edad de la cuenca, de drenaje, materiales blandos darán formas redondeadas, mientras que materiales duros darán formas más quebradas o lobuladas, igualmente ya que las tendencias de las cuencas son de conseguir formas redondeadas, a igualdad de litología, una cuenca redondeada implicara, mayor desarrollo (basado en el documento FORMA DE UNA CUENCA DE DRENAJE, ANALISIS DE LAS VARIABLES MORFOMETRICAS QUE NOS LA DEFINEN, 1985)

### 7.3 FORMA DE LA CUENCA:

Esta característica es importante ya que se trata de la relación entre el ancho promedio de la cuenca, y la longitud del cauce principal, nos permite determinar la probabilidad de ocurrencia de crecida ya que relaciona el tiempo que toma el agua desde los limites más extremos de la cuenca hasta llegar al punto de salida. también permite comprender, los elementos geométricos básicos del sistema cuantificando, por medio de índices o coeficientes el movimiento del agua y las respuestas de la cuenca a este movimiento. (basado en el documento "FORMA DE UNA CUENCA DE DRENAJE, ANALISIS DE LAS VARIABLES MORFOMETRICAS QUE NOS LA DEFINEN", 1985)

### 7.3.1 Indicé de Gravelius o Coeficiente de Compacidad (Kc):

Indicador adimensional de la forma de la cuenca, que relaciona el perímetro de la cuenca, con el área de un circulo igual al de la cuenca (circulo equivalente), la razón por la que se usa el área equivalente, comparada con la de un circulo es porque una cuenca circular tiene mayores posibilidades de producir una avenida superior dada su simetría. (Basado en el documento "CONCEPTOS BASICOS DE MORFOMETRIA DE CUENCAS HIDROGRAFICAS, 2012)

teniendo en cuenta la relación anterior, el índice de compacidad se define como:

$$Kc = 0.28 \times \left[\frac{P}{\sqrt{A}}\right]$$
 Gravelius (1914)

Donde:

P: Perímetro de la cuenca

A: Área de drenaje de la cuenca

El valor del índice de compacidad de una cuenca varía según la forma de esta, para cuencas redondeadas el valor será mínimo muy próximo a 1, por el contrario, para una cuenca irregular, este valor será mayor.

Este coeficiente define la forma de la cuenca, respecto a la similaridad con formas redondas, dentro de rangos que se muestran a continuación (FAO, 1985):

- Clase Kc1: Rango entre 1 y 1.25. Corresponde a forma redonda a oval redonda.
- Clase Kc2: Rango entre 1.25 y 1.5. Corresponde a forma oval redonda a oval oblonga.
- Clase Kc3: Rango entre 1.5 y 1.75. Corresponde a forma oval oblonga a rectangular oblonga.
- Clase Kc4: Rango mayor a 1.75. Corresponde a forma rectangular oblonga.

### 7.3.2 Factor de forma de Horton:

Esta variable intenta definir la elongación de una cuenca, esta define la relación entre el área de la cuenca y el cuadrado de la longitud de la misma. este parámetro adimensional mide la tendencia de las cuencas hacia las crecidas, rápidas y muy intensas a lentas y sostenidas. (Basado en el documento "CONCEPTOS BASICOS DE MORFOMETRIA DE CUENCAS HIDROGRAFICAS, 2012)

El factor de forma de se define como:

$$F: \frac{A}{(Lm)2}$$
 Horton (1932)

Donde:

L: Longitud axial de la cuenca en Km

A: Área de drenaje en Km2

La geología es la principal encargada de moldear la fisiografía de una región y la forma que tienen las cuencas hidrográficas, un valor de factor de forma superior a la unidad nos indica el grado de achatamiento de ella, y por lo tanto con tendencia a concentrar el escurrimiento de una lluvia intensa formando fácilmente mayores crecidas.

Una cuenca con un factor de forma alto está más sujeta a crecientes que una cuenca de igual área con un factor de forma menor.

F>1 Cuenca achatada, tendencia a ocurrencia de avenidas

F<1 Cuenca alargada, baja susceptibilidad a las avenidas.

### 7.3.3 Relación de Elongación:

Se define como la relación entre el diámetro de un circulo, que tenga la misma área de la cuenca, y la longitud máxima de la cuenca, definida por Schumm (1956), se expresa como:

$$Re = \frac{D}{Lm} = 1.128 \frac{\sqrt{A}}{Lm} Schumm (1956)$$

Donde:

Re: Relación de elongación (adimensional)

D: Diámetro de un circulo de igual área que la cuenca en Km

Lm: Longitud máxima de la cuenca en Km

A: Área de la cuenca

La relación de elongación se acerca a la unidad cuando la cuenca es muy plana y circular, para valores de Relación de Elongación, inferiores a 1, implicará formas alargadas con porciones accidentadas y cuanto menor sea el valor más alargada será la forma de la cuenca.

### 7.4 ANALISIS MORFOMETRICO DEL SISTEMA DE DRENAJE

El sistema o la red de drenaje están constituidos por el cauce principal y sus tributarios, se traza considerando la constancia en el transporte de caudal de las corrientes (Díaz Et Al., 1999), ignorando aquellos que se consideran intermitentes.

### 7.4.1 Densidad de drenaje

La cantidad de ríos y quebradas que llegan o tributan al Río principal dentro del área de la cuenca se conoce como densidad de drenaje, es otro parámetro muy importante ya que este define el estado erosivo, de una cuenca mediante la fórmula que relaciona, la sumatoria de la longitud de todos los cauces y el área de la cuenca, de esta manera los valores altos reflejan un fuerte escurrimiento, define la densidad de drenaje o longitud de cauces por unidad de área, este parámetro se expresa en Km/Km2 (Basado en el documento "PLAN DE ORDENACION Y MANEJO AMBIENTAL DE LA MICROCUENCA DE LAS QUEBRADAS LAS PANELAS Y LA BALSA")

$$Dd = \frac{L}{A} en Km / Km2 Horton (1945)$$

Donde:

L: Longitud total de las corrientes de agua en Km

A: Área total de la cuenca en Km2

Comúnmente toma valores entre 0.5 Km/ Km2 para cuencas con drenajes pobres, y hasta 3.5 Km/Km2, para cuencas bien drenadas.

### 7.4.2 Orden de las corrientes de agua

Este parámetro expresa la relación de jerarquía entre los diferentes tramos de la corriente acorde a la metodología propuesta por Strahler (1964).

Corriente de orden 1: pequeños canales que no tiene tributarios.

Corrientes de orden 2: se forman con la unión de dos canales de orden uno.

Corrientes de orden 3: se forman con la unión de dos canales de orden dos.

Corrientes de orden n+1: cuando dos canales de orden n se unen.

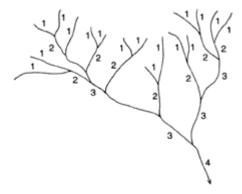


figura 4. clasificación de corrientes según el orden (Strahler A., 1964).

### 7.5 CONSTANTE DE ESTABILIDAD DE UN RIO

"Representa físicamente la superficie de cuenca necesaria para mantener condiciones hidrológicas estables en una unidad de longitud de canal, se considera como una medida de erodabilidad de la cuenca, regiones con suelo rocoso muy resistente o con suelos altamente permeables, que implican una elevada capacidad de infiltración o regiones con densa cobertura vegetal, tienen valores altos de la constante de estabilidad y bajos de densidad de drenaje, por el contrario una baja constante de estabilidad o una elevada densidad de drenaje, es características de cuencas con rocas débiles, escasa o nula vegetación y baja capacidad de infiltración del suelo" (GERARDO ESQUIVEL ARREAGA).

Numéricamente se calcula mediante la fórmula propuesta por Schumm (1956), como el valor inverso de la densidad de drenaje.

$$C: \frac{A}{L_t}$$
 Schumm (1956)

### 7.6 CARACTERISTICAS DEL RELIEVE DE UNA CUENCA

### 7.6.1 pendiente de la cuenca

En una cuenca hidrográfica la velocidad de escurrimiento de las corrientes de agua depende de la pendiente de los canales fluviales, cuando la pendiente tome valores altos la velocidad del flujo será mayor, y por esta razón se convierte en un factor característico del tiempo de respuesta de la cuenca ante determinada precipitación. (Basado en el documento "CONCEPTOS BASICOS DE MORFOMETRIA DE CUENCAS HIDROGRAFICAS, 2012)

Zonas con altas pendientes son más susceptibles a presentar problemas de erosión, y por el contrario zonas con bajo grado de inclinación, planas, se presentan problemas de drenaje y sedimentación.

Para encontrar los valores de las variables que participan en el cálculo de la pendiente media, se aplican métodos estadísticos que se relacionan en una tabla de ocurrencias y frecuencias acumuladas, dando como resultado final la curva de distribución de pendientes, donde en el eje x se presentan las pendientes y en el eje Y las frecuencias acumuladas.

La siguiente tabla muestra la clasificación de las cuencas según su pendiente:

Pendiente %	Concepto	Umbral Geomorfológico
0 – 4.5	Horizontal	Erosión nula a leve
4.6 -11	Suave	Erosión débil, difusa. <i>Shett Wash.</i> inicio de regueras. solifluxión fría.
11.1 - 22	Moderada	Erosión moderada a fuerte. Inicio de erosión lineal Rill Wash o desarrollo de regueras
22.1 – 44.5	Fuerte	Erosión intensa, Erosión lineal frecuente. cárcavas incipientes
44.6 - 67	Muy Fuerte a  Moderadamente	Cárcavas frecuentes, movimientos en masa reptación.
67.1 - 100	Escarpada Escarpada	Coluvionamiento, Solifluxión intensa.
Mayor de 100	Muy Escarpada a Acantilada	Desprendimiento y derrumbes Corredores de derrubios frecuentes.

**Tabla 1**. Clasificación de pendientes según ARAYA-VERGARA & BORGEL (1972), YOUNG (1975) y FERRANDO (1993), modificada y presentada por MESINA (2003).

### 7.6.2 Curva hipsométrica

Describe la distribución del área acumulada, de acuerdo a la altitud. mediante la gráfica resultante refleja cuencas con gran potencial erosivo (fase de juventud), cuencas en equilibrio (fase de madurez), cuencas sedimentarias (fase de vejez), dicho grafico se determina con la planimetría de las áreas entre curvas de nivel.

La curva hipsométrica relaciona en el eje de las ordenadas los valores correspondientes a las diferentes alturas, y en el eje de las abscisas los valores de área que se encuentran por encima de los valores correspondientes, referidos al área total de la cuenca. (Figura 5)

En base al análisis hipsométrico podemos determinar el ciclo erosivo y la etapa evolutiva, en que se encuentra la cuenca. (Figura 6).

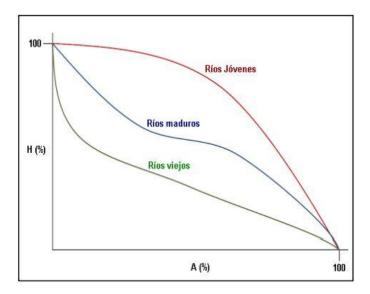


Figura 5. Modelo de curvas hipsométricas del ciclo de erosión (Senciales y Ferre 1999).

### 7.6.3 Elevación media de una cuenca

La elevación media de una cuenca corresponde a la cota del punto medio de una curva de nivel que divide la cuenca en dos zonas de igual área, para determinar la elevación media, se miden las áreas entre las curvas de nivel limitadas por la divisoria.

### 7.6.4 Pendiente de la corriente principal

La pendiente de la corriente principal, normalmente tiene menor pendiente que sus afluentes, la rapidez con que fluyen las corrientes de agua, está relacionado con las pendientes de sus canales fluviales. a medida que una cuenca presente mayor pendiente estás serán más susceptibles a presentar crecidas ya que la capacidad de arrastre de sedimentos y rapidez se acrecienta en cuencas con alto grado de pendiente, acrecentando el caudal pico.

### 7.6.5 Pendiente media

La pendiente media indica la relación altitud- distancia según el eje central de la cuenca.

### 8.RESULTADOS

### **8.1 MORFOMETRIA**

Para la obtención de los datos principales, característicos de la cuenca en estudio, mediante los cuales se hace un análisis cuantitativo y cualitativo, se utilizó un modelo digital del terreno ALOS PALSAR de 12,5 metros de resolución, con el cual se pudo procesar y extraer información relacionada con niveles, distancias, pendientes, áreas, en los cuales se extrae valores numéricos que pueden ser utilizados en las diferentes fórmulas para la obtención de otros parámetros.

El análisis morfometrico de una cuneca de drenaje es de gran importancia para comprender e interpretar su comportamiento morfodinámico y su respuesta hidrológica (Méndez y Marcucci 2006). desde este punto de vista la cuenca puede complementar la caracterización morfológica con aspectos edáficos, de la cobertura vegetal y uso del suelo (Henaos, 1988; Mintegui Aguirre y López Unzu 1990; Gaspari 2002).

La obtención de los parámetros morfometricos, es de gran ayuda para tener un primer conocimiento acerca de la respuesta a posibles crecidas que eventualmente puedan presentarse, además en función de estos se puede hacer toma de decisiones tempranas en caso de una emergencia.

### 8.1.1 Datos principales

Para determinar características de la cuenca como el área y el perímetro, fue necesario delimitar la cuenca en el software ArcGis 10.1 mediante las herramientas de análisis espacial.

Para la clasificación de cuencas según su área, es usado usualmente la recomendada por el centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Suelos (CIDIAT- MARNR 1978). Expuesto anteriormente. Para el caso de la cuenca del rio Supía tiene un área de 202 Km2, equivalente a 20.200 Ha, lo que según esta clasificación estaría incluida en el rango de SUBCUENCA, considerada como parte integrante de una cuenca, se define como el área cuyos escurrimientos superficiales son captados y conducidos por un afluente secundario.

El perímetro, comparado con el de un circulo revela que la cuenca tiene una forma aproximadamente alargada de contorno lobulado, característico de cuencas modeladas en materiales duros en desarrollo.

### PARAMETROS MORFOMETRICOS DE LA CUENCA DEL RIO SUPÍA

Descripción	Valor	Unidades
Área	201,89	Km2
Perímetro	82,58	Km
Pendiente promedio de la cuenca	44	%
Longitud de la cuenca	33,70	Km
Longitud total de cauces	285,67	Km
Longitud de orden 1	152,63	Km
Longitud de orden 2	73,48	Km
Longitud de orden 3	33,78	Km
Longitud de orden 4	25,77	Km
Coeficiente de compacidad	1,60	Adimensional
Cota aguas arriba del cauce	3301,00	Msnm
Cota de salida del cauce	751,00	Msnm
Orden de la cuenca de Strahler	4,00	#
Altitud más frecuente	1771,00	Msnm

**Tabla 2**. Resultados cuantitativos de los parámetros morfometricos

### 8.1.2 Cotas características de la cuenca a intervalos de 255 m

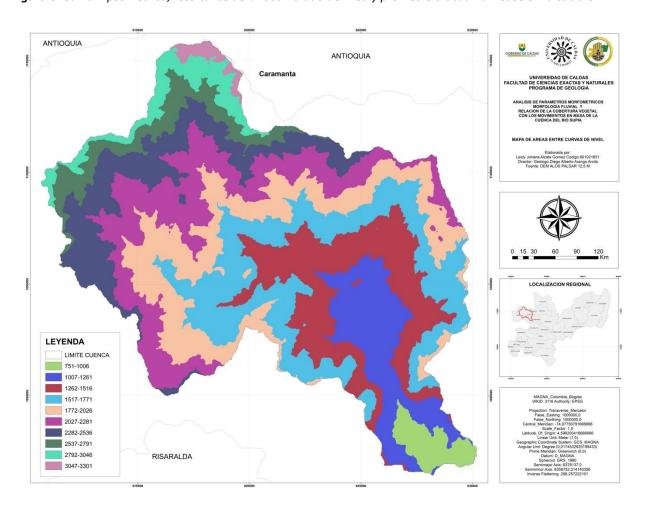
	Mínimo	Máximo	Promedio	Área Km2	Acumulado	% Acumulado	% Área
1	751	1006	878,50	5	202	99,98	2,71
2	1007	1261	1134,00	19	196	97,27	9,55
3	1262	1516	1389,00	30	177	87,73	14,99
4	1517	1771	1644,00	37	147	72,74	18,41
5	1772	2026	1899,00	33	110	54,33	16,39
6	2027	2281	2154,00	32	77	37,94	15,85
7	2282	2536	2409,00	23	45	22,08	11,54
8	2537	2791	2664,00	11	21	10,49	5,35
9	2792	3046	2919,00	8	10	5,15	4,16
10	3047	3301	3174,00	2	2	0,99	1,01

Área total 202 Km2 100 %

**Tabla 3.** Áreas entre curvas de nivel a intervalos de 255 m, los rangos de cotas con mayor porcentaje de áreas son alturas desde 1517- 1771 msnm., hasta 1772 -2026 msnm, con valores mayores al 14%, nótese cómo se organiza en el orden de menor a mayor altura, para posteriormente representarlo en dirección aguas abajo.

# CURVA HIPSOMETRICA 3500 2500 2000 1500 0 0 20 40 60 80 100

Figura 6. Curva hipsométrica, resultante del % acumulado de Área y promedio altitudinal véase en la tabla 3.



**Figura 7.** Mapa de áreas entre curvas de nivel a intervalos de 255 m, nótese la mayor proporción de área en las cotas 1517 – 1771 msnm y 1772 – 2026 msnm.

Podemos concluir apartir de la tabla 3 que las alturas más frecuentes se encuentran desde
 1517 – 1771 msnm hasta 2027 – 2281 msnm, (Tabla 3, Figura 7), señalando que la cuenca se encuentra en su mayoría en los pisos térmicos de medio a frio, sin dejar de lado la extensión que ocupa las cotas más altas que alcanzan hasta piso térmico paramo (Cuatrecasas, 1958).

### 8.1.3 Características morfológicas de la cuenca

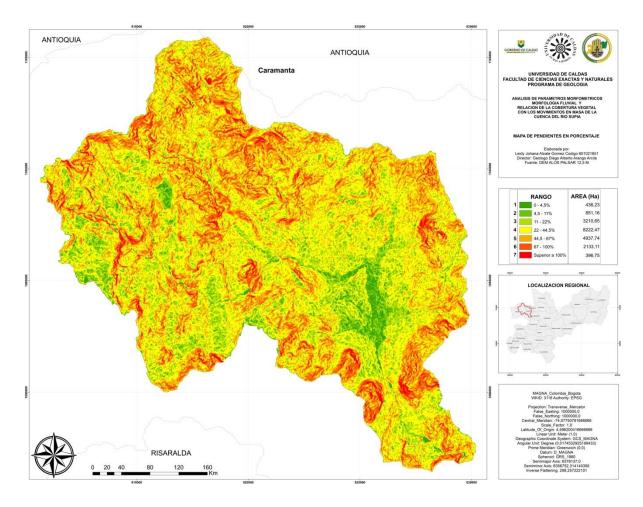
Factor de forma (F)	0,18
Relación de elongación (R)	0,48
Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad	1,63
(K)	

Tabla 4. Resultado parámetros de forma de la cuenca.

- El factor de forma (F), para la cuenca en estudio toma el valor 0,18, por lo tanto, siendo menor a 1, sugiere que se trata de una cuenca alargada y con menos susceptibilidad a avenidas torrenciales que una cuenca de forma achatada.
- El valor de la relación de elongación (R=0,48) sugiere una forma alargada con porciones accidentadas, alejándose considerablemente del valor unitario.
- El coeficiente de compacidad para la cuenca (1,63), nos indica que se trata de una cuenca clasificada como oval-oblonga a rectangular oblonga. indicando que se trata de una cuenca irregular, siendo muy diferente a la forma circular, esto significa que las crecientes tendrán menor coincidencia, debido a que los tiempos de concentración de los diferentes puntos de la cuenca no serán coincidentes, sin embargo, las cuencas alargadas presentan alta peligrosidad a las crecidas cuando la tormenta se mueve en la dirección aguas abajo.

# 8.1.4 Pendiente de la cuenca

La clasificación del relieve según el porcentaje de pendiente, con 44 % indica una inclinación fuerte, con presencia de erosión intensa, erosión lineal frecuente, cárcavas incipientes. las áreas con mayor superficie dentro de la cuenca pertenecen a porcentajes que van desde 22% a 44,5% con un área total de 8222,47 Ha (figura 8). Un grado de pendiente alto significa menor duración de concentración de las aguas de escorrentía en la red de drenaje.



**Figura 8.** Mapa de valores de pendientes en porcentaje nótese la mayor proporción de pendientes de 22 a 44.5% con un área 8222,47 hectareas.

# 8.2 PARAMETROS MORFOMETRICOS DEL SISTEMA DE DRENAJE

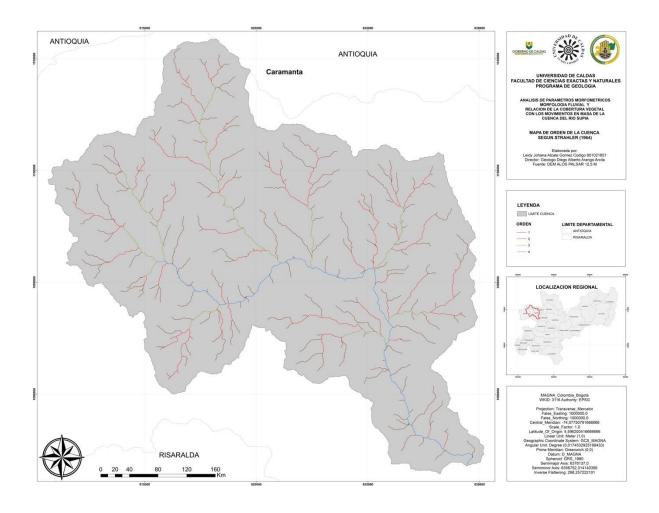
los parámetros referentes al sistema de drenaje son de gran interés ya que estos nos indican la capacidad que presenta una cuenca para evacuar las aguas que discurren por su superficie, también permite tener información acerca de la resistencia del terreno a la erosión, permeabilidad y pendiente, para la cuenca del Río Supía, se utilizaron los parámetros de drenaje, Densidad de drenaje y Constante de estabilidad del río, presentándose los resultados en la (tabla 5).

# Parámetros morfometricos de la red de drenaje

Densidad de drenaje	1,4
Constante de estabilidad del rio	0,7

**Tabla 5**. Resultado de parámetros de la red de drenaje

- La densidad de drenaje para la cuenca indica, que se trata de una cuenca masomenos bien drenada, lo que significa que debería responder relativamente rápido al influjo de la precipitación. Las mayores densidades de drenaje se encuentran en rocas blandas de baja permeabilidad y en regiones con escasa cobertura vegetal, sobre todo allí donde la precipitación se distribuye en aguaceros intensos y espaciados. indica que la cuenca posee suficiente drenaje y la escorrentía es medianamente abundante.
- La constante de estabilidad en este caso es alta, lo que revela un suelo rocoso resistente, suelos permeables o regiones con densa cobertura vegetal.



**Figura 9**. Mapa clasificación de orden de drenaje según el método de Strahler (1964), nótese la densidad alta densidad de los drenajes.

• La cuenca alcanza un orden de 4, de acuerdo a la clasificación de Strahler (1964) podemos determinar a partir de esta, la distribución del número de cauces de sucesivos ordenes existentes en la cuenca, la diferencia en la longitud media entre dichos cauces.

# 9. ANALISIS USO DEL SUELO, GEOLOGIA, SUELOS, PENDIENTES Y SU RELACION CON LOS MOVIMIENTOS EN MASA

Se hace necesario realizar estudios que permitan entender el comportamiento y la dinámica de estas variables, los cuales nos suministran información adicional que en conjunto con un análisis multitemporal de la morfología del río, permita determinar escenarios de riesgo y posibles soluciones ante estas problemáticas.

Los cambios en la cobertura vegetal, están directamente relacionados con la susceptibilidad a los deslizamientos y procesos erosivos de tierras; el presente análisis, intenta evaluar las relaciones entre los cambios de cobertura vegetal y procesos erosivos, sumado a pendientes y tipo de material en que se desarrollan.

La cobertura vegetal ha sido clave en cuanto a su efecto condicionante para diferentes tipos de movimientos en masa, algunos autores señalan que dicha cobertura juega un papel importante debido a que influye en las propiedades hidrológicas, y mecánicas del suelo (Dai y Lee., 2002), mejora la cohesión fortalece la matriz del suelo y aumenta su potencial matrico atravez de la evotranspiracion (Gómez y Kauzoghu., 2005), favoreciendo la estabilidad de las laderas.

la presencia de cobertura vegetal proporciona condiciones favorables, los movimientos en masa se asocian principalmente donde esta cobertura ha sido intervenida ya que de esta manera se ven afectado los procesos de infiltración, así como la capacidad de las raíces de arraigarse al suelo.

El análisis de la cobertura vegetal con relación a los movimientos en masa para el área que comprende la cuenca del Río Supía, se realizó mediante la ejecución de un inventarió de visitas técnicas concernientes a diferentes tipos de movimientos en masa, realizadas por la Corporación Autónoma Regional de Caldas (tabla 6) y la Jefatura de Gestión del Riesgo Medio Ambiente y Cambio Climático (tabla 7), para los últimos diez años, de este inventario se pudo extraer importante información, relacionada con los sectores más afectados, épocas y años donde este fenómeno se da con mayor frecuencia.

MUNICIPIO	SECTOR	AÑO	USO DEL SUELO	PROCESO	
Riosucio	Sector el Salado	2009	Pastos limpios	Deslizamiento	
Riosucio	Sector el Salado	2009	Pastizales, árboles	Deslizamiento	
			frutales y rastrojos	Transnacional	
Supía	Comunidad San Juan	2009	Caña panelera	Deslizamiento	
				Rotacional	
Riosucio	Comunidad las Estancias	2010	Cultivos plátano y	Deslizamiento	
			café		
Riosucio	Resguardo Indígena de	2010	Mosaico de cultivos	Deslizamiento	
	Nuestra Señora				
Supía	Alto Obispo	2010	Café con	Deslizamiento	
			semisombrio		
Supía	Vereda Hojas Anchas	2010	Pastos limpios	Deslizamiento	
Riosucio	Resguardo Indígena San	2010	Caña panelera	Deslizamiento	
	Lorenzo				
Riosucio	Vereda Lomitas	2010	Mosaico de cultivos	Deslizamiento	
				Translacional	
Riosucio	Resguardo Indígena	2010	Caña panelera,	Deslizamiento	
	Cañamomo y Lomaprieta		pastos cortos	Rotacional	
Supía	Vereda Hojas Anchas	2011	Pastos limpios	Deslizamiento	
				Translacional	
Riosucio	Resguardo indígena San	2012	Cultivo plátano y	Deslizamiento	
	Lorenzo		caña panelera	Superficial	
Riosucio	Centro poblado de San	2016	Caña panelera	Deslizamiento	
	Lorenzo				
Supía	Vereda el Obispo	2017	Caña panelera	Desprendimiento de	
				rocas.	

**Tabla 6.** Inventario de movimientos en masa para el periodo (2009-2019), del área de la Cuenca del Rio Supía, extraído de visitas técnicas realizadas por Corporación Autónoma Regional de Caldas.

Deacuerdo a la información consignada en las tablas 6 y 7, podemos concluir:

En el año 2010 se presentaron con mayor ocurrencia fenómenos de movimientos en masa, en relación con los demás años analizados, presentándose más frecuentemente en cultivos de tipo caña panelera en primer lugar, pastos en segundo lugar y cultivos de plátano y café en tercer lugar con mosaico de pastos y cultivos.

También cabe mencionar los sectores donde más frecuentemente se localizan estos fenómenos para este análisis, como son el Sector el Salado, Resguardo Indígena de Nuestra Señora, Vereda el Obispo, Vereda Hojas Anchas estos relacionados con suelos orgánicos, cenizas volcánicas, arcillotas, suelos arenosos.

Durante el periodo comprendido entre noviembre del 2010 y junio del 2011, se presentaron las mayores afectaciones, en los últimos 30 años incluyendo deslizamientos e inundaciones debido al fenómeno de la Niña 2010 – 2011 (IDEAM, IGAC y DANE 2011), información que nos sirve de apoyo para las conclusiones anteriores.

Según el uso del suelo suministrado por la Corporación Autónoma Regional de Caldas (CORPOCALAS) las coberturas de la tierra para la cuenca del año 2010 (clasificación Corine Land Cover) esta se compone principalmente de:

- BOSQUES: Comprende un grupo de coberturas de tipo boscoso, arbustivo y herbáceo desarrolladas sobre diferentes sustratos y pisos altitudinales que son el resultado de procesos climáticos, para la leyenda de coberturas de la tierra en Colombia en esta categoría se incluyen coberturas que son el resultado de un fuerte manejo antrópico como son las plantaciones forestales y la vegetación secundaria o de transición, bosque fragmentado con pastos y cultivos, bosque denso alto de tierra firme con un área en la cuenca de 3087,42 Ha.
- AREAS AGRICOLAS HETEROGENEAS: Son unidades que reúnen dos o más clases de coberturas agrícolas y naturales, dispuestas en un patrón intrincado de mosaicos geométricos que hace difícil su separación en coberturas individuales, comprende las áreas ocupadas por mosaico de cultivos, mosaico de pastos con espacios naturales, mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales y mosaico de pastos y cultivos con un área en la cuenca de 6907,12 Ha.
- **CULTIVOS PERMANENTES**: Comprende los territorios dedicados a cultivos cuyo ciclo vegetativo es mayor a un año, produciendo varias cosechas sin necesidad de volverse a plantar, comprende caña panelera, café con semisombrio, café a plena exposición con un área en la cuenca de 5442,54 Ha.
- PASTOS: Comprende las tierras cubiertas por hierba densa de composición florística, dominada principalmente por la familia Poaceae. dedicados al pastoreo permanente por dos o más años, comprende pastos enmalezados, pastos limpios y pastos arbolados con un área en la cuenca de 4223,86 Ha.
- **AREAS DE VEGETACION HERBACEA Y ARBUSTIVA**: en esta subclase se encuentra la vegetación secundaria y en transición y la plantación de coníferas con un área en la cuenca de 1060,84 Ha.
- AREAS ABIERTAS SIN O POCA VEGETACION: Comprende las áreas, que no están siendo utilizadas en un periodo concreto con un área en la cuenca de 23,36 Ha.
- **ZONAS URBANIZADAS**: Incluyen los territorios cubiertos por infraestructura urbana y todos aquellos espacios verdes y redes de comunicación asociados con ellas, que figuran un tejido urbano continuo y tejido urbano discontinuo con un área en la cuenca de 113,71 Ha
- CUERPOS DE AGUA (RIO): Corriente natural de agua continua, con un área en la cuenca de 59,98 Ha.

MUNICIPIO	SECTOR	AÑO	USO DEL SUELO	PROCESO
Riosucio	Resguardo la Montaña	2009	Mosaico de pastos y cultivos	Deslizamiento
Riosucio	Sector Minas Gavia	2017	Café con semisombrio	Inestabilidad de laderas
Riosucio	Sector Tumbabarreto	2015	Mosaico de cultivos	Riesgo por deslizamiento
Supía	Vereda el Descanso	2017	Mosaico de cultivos y pastos	Deslizamiento

**Tabla 7**. Inventario de movimientos en masa para el periodo (2008-2018), del área de la Cuenca del Rio Supía, extraído De visitas técnicas realizadas por Jefatura de Gestión del Riesgo Medio Ambiente y Cambio Climático.

Entre los municipios que comprende el área de la Cuenca, en el que más se han registrado movimientos de tierra es el municipio de Riosucio, esto debido a que se encuentra ubicado en la parte alta de esta, donde se registran las mayores pendientes.

Así mismo, se realizó un análisis multitemporal de las coberturas vegetales para los años 2009, 2012 y 2014 en las áreas afectadas por movimientos en masa, con ayuda de imágenes de Google Earth, donde se pudo relacionar dicha cobertura con los movimientos en masa estudiados.

Para los diferentes años, los movimientos en masa registrados se asocian principalmente a suelos intervenidos por la acción humana, aunque estos son un proceso natural, la acción del hombre los puede acelerar o detonar, principalmente en los sitios donde se presenta ganadería excesiva, cultivos ubicados en altas pendientes, modificaciones en los cauces naturales de los ríos, quemas, etc.

Se analizaron los movimientos en masa con relación a la geología y las unidades de suelos de la cuenca y se pudo apreciar que estos se presentan principalmente, donde predominan suelos orgánicos, materiales sedimentarios, como limolitas, areniscas, y arcillolitas que pertenecen a la formación Amagá, como también materiales volcánicos, conglomerados, brechas sedimentarias de la Formación Combia, que afloran en la zona de estudio, en concordancia con la clasificación de susceptibilidad de grupos de cobertura vegetal del servicio geológico colombiano (tabla 8).

Se observa que en terrenos con cobertura vegetal nativa (boscosa o uso forestal) tiende a ocurrir menos deslizamientos, debido al efecto protector que brinda este tipo de vegetación, ya que las raíces de los arboles estabilizan, las laderas, las pendientes de las montañas, proporcionándole a los suelos el apoyo mecánico estructural necesario para impedir movimientos superficiales.

Tipo de cobertura	Calificación
Tejido urbano discontinuo, Aeropuertos, Tierras desnudas y degradadas	
Zonas quemadas, Zonas pantanosas, Playas.	5
Otros cultivos transitorios, Pastos limpios, Pastos enmalezados	
Mosaico de cultivos Mosaico de pastos y cultivos, Arroz.	4
Tejido urbano continuo, Pastos arbolados, Otros cultivos permanentes	
Arbóreos, Bosque fragmentado con pastos y cultivos	
Bosque fragmentado con vegetación secundaria, Arbustal abierto	3
Bosque abierto bajo inundable, Herbazal denso de tierra firme.	
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	
Mosaico de pastos con espacios naturales, Bosque de Galería y Ripario	
Plantación forestal, Vegetación secundaria o en transición	2
Arbusto denso, Bosque denso alto de tierra firme	
Bosque abierto alto de tierra firme.	

**Tabla 8.** calificación de susceptibilidad a los grupos de cobertura vegetal, tomado del servicio geológico colombiano en la memoria explicativa de la susceptibilidad y la amenaza relativa por movimientos en masa, escala 1:100.000, siendo la calificación 5 la de mayor susceptibilidad y 2 menor susceptibilidad.

En el año 2009, es evidente la mayor proporción de áreas de bosques y cultivos, respecto a años posteriores, estos han disminuido de manera considerable, siendo reemplazados por suelos para cultivos y pastos que son utilizados para ganadería en altas pendientes lo que ocasiona un deterioro progresivo del terreno, además la tala del bosque para pasturas causa una declinación sobre la resistencia al corte tangencial de los suelos en un periodo de 5 a 10 años, necesarios para la pudrición de las raíces, no teniendo en cuenta que la tala de vegetación arbórea para el establecimiento de pastos y cultivos genera una inestabilidad de las formaciones superficiales expresada por una gran cantidad de movimientos en masa, en pendientes fuertes parte de la estabilidad se debe al enraizamiento (Rice, 1971 citado por Flórez, 1986), así mismo se pudo identificar la invasión de un bosque natural en el sector del salado, con procesos de extracción de materiales con fines económicos, siendo la deforestación, una de las causas principales de los deslizamientos.

para este mismo año se pudieron apreciar procesos erosivos de pequeña escala, dentro de uso agrícola, clase pastos, los cuales fueron aumentando su magnitud durante años posteriores convirtiéndose en procesos de mayor magnitud (figura 10 a la 12), esto posiblemente sea por el uso del suelo en el que se encuentran los procesos, alcance de la mano del hombre, y desinformación y descuido frente al tratamiento de estos.



**Figura 10**. Proceso erosivo de pequeña escala del año 2009, en el sector "la quinta", se observa parcialmente cubierto por vegetacion.



**Figura 11.** Proceso erosivo de mayor escala en el sector "la quinta" para el año 2012, se aprecia el incremento de su extensión.



Figura 12. Proceso erosivo del año 2014 en el sector "la quinta" nótese el aumento de su proporción para este año.

En el análisis de la imagen de Google Earth del año 2012 se observaron procesos erosivos en zonas boscosas y de áreas naturales de vegetación herbácea y/o arbustiva en transición, posiblemente por factores explicables más a causas de orden geológico que de coberturas, por lo que no se registró la continuidad de estos para años posteriores, es decir la perdida de cobertura vegetal estaba recuperada para el año 2013,

En el año 2014, en la zona de estudio se pudieron registrar 45 procesos erosivos, en su mayoría sucedidos en los meses de abril y noviembre, conocidos por ser periodos de altas precipitaciones, desarrollados principalmente en usos del suelo como, cultivos de café, llenos antrópicos, pastos, entre otros, demostrando que los sistemas radiculares de este tipo de vegetación pueden tener una influencia considerable en estos procesos, donde el efecto de la tensión es limitado con vegetación de raíces superficiales y ocurren perdidas de ligamentos entre las raíces y el suelo produciéndose así los deslizamientos, se observa en diferentes zonas la intervención del hombre, extendiéndose los cultivos y pastos en lo que para años anteriores pertenecía a bosques y áreas naturales, las zonas de pastos han aumentado considerablemente, consignamos la información de las áreas de las coberturas en las cuales se han desarrollado los procesos erosivos para los diferentes años analizados (tabla 9), en la cual se puede evidenciar las coberturas en las que más frecuentemente se desarrollan los procesos erosivos.

COBERTURA	2009	2012	2014
	AREA (Ha)	AREA (Ha)	AREA (Ha)
Café a plena exposición	1390,60	74,82	244,96
Café con semisombrio	84,12	0	697,01
Caña panelera	142,91	28,66	141,45
Mosaico de cultivos	35,03	44,17	314,20
Mosaico de pastos y cultivos	67,54	57,24	758,13
Pastos limpios	71,31	256,04	557,03
Vegetación secundaria o de transición	76,02	96,17	96,17
Bosque fragmentado con pastos y cultivos	0	78,53	89,49
Mosaico de cultivos pastos y espacios naturales	0	205,34	658,80
Bosque denso alto de tierra firme	0	0	81,65
Mosaico de pastos con espacios naturales	0	0	11,78

**Tabla 9**. Áreas de las coberturas del suelo en las que más frecuentemente se desarrollaron procesos erosivos, para los años analizados 2009 – 2012 – 2014.

Para los años analizados, dentro de la zona de estudio, se evidencia la práctica de quemas controladas, en diferentes sectores, estas se utilizan como método de limpieza después de una cosecha, lo que contribuye al deterioro de la calidad del suelo y la aparición de procesos erosivos, que tienen como consecuencia la pérdida de un recurso natural no renovable. las quemas controladas se han convertido en una de las prácticas agrícolas más utilizadas en Colombia, sobre todo en zonas de ladera.

Otro punto importante que se pudo evaluar con el presente análisis en la zona de estudio, es la problemática que se está viviendo frente al tema de asentamientos humanos, en terrenos no autorizados y con problemas geográficos, este acontecimiento es desfavorable para la estabilización de laderas aportando peso a suelos con poca resistencia contribuyendo de esta manera a la generación de procesos erosivos, también al carecer de zanjas en las laderas para el manejo de las aguas, esta se infiltra en el terreno produciendo la saturación de estas y en varios sectores que cuentan con dichos conductos, en la visita de campo se aprecian colmatados por sedimentos y basuras, impidiendo la debida circulación del agua, ocasionando represamiento de y saturación de terrenos (figura 13 a la 15).



**Figura 13.** Zanja para manejo de aguas, la flecha amarilla indica la obstrucción del agua por sedimentos y basura.



Figura 14. Represamiento de agua, ocasionado por la obstrucción de zanja por sedimentos y basura, se aprecia.



**Figura 15**. Sobresaturación del terreno, ocasionada por la obstrucción de zanjas, al desbordarse el agua sobresatura el terreno.

Las veredas más afectadas durante los últimos diez años son vereda la Clara, vereda Gaspar, vereda Guascal, vereda Bajo Cabuyal, vereda Mochilón, vereda Amalia, vereda Taborda, sector San Antonio, vereda la Playa, vereda Palmasola, vereda Murillo, vereda el Descanso, vereda la Quiebra, vereda Hojas Anchas, vereda la Bodega, vereda el Jordán, vereda Comparsita, comunidad del Oro, vereda, Matecaña, vereda Llano Grande, sector Partidas, vereda Pueblo Viejo, vereda Minas, vereda el Rodeo, vereda Tumbabarreto, vereda Meacaral, vereda Sipirra, sector del Salado, entre otras.

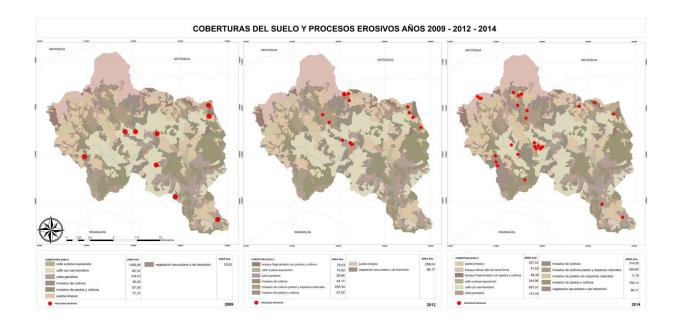
La erosión superficial y de pérdida del suelo son menores en plantaciones bajo sombrío que en aquellas a plena exposición solar, ya que los arboles asociados con la plantación contribuyen con la reducción de la erosión, así mismo la caída natural de las hojas, lo que protege al suelo de descomposición. los árboles pueden eventualmente redistribuir la precipitación como ocurre con las lluvias de baja o moderada intensidad.

Según Yet Temple y Rapp (1972), citados por Morgan (1986), menos del 1% de las cicatrices de deslizamientos se presentan en áreas boscosas, 47% están en terrenos cultivados, y otro 47 % en terrenos en barbecho.

Sumado a todas estas causas, se encuentra un factor de gran importancia como lo es la influencia tectónica bajo la cual se encuentra la zona de estudio, por el sistema de fallas cauca romeral contribuyendo a la inestabilidad de las laderas por actividad sísmica.

Las interacciones entre los bosques y los suelos forestales ayudan a mantener las condiciones ambientales necesarias para la producción agrícola, estos contribuyen a garantizar sistema alimentario productivo medios de vida rurales mejorados, y un medio ambiente sano, frente a los cambios.

(Suarez, 1998) afirma que en lo referente al control de erosión se ha encontrado que donde hay árboles altos la erosión es menor que en el caso de arbustos. además, se ha descubierto que las hiervas o malezas protegen generalmente mejor contra la erosión que los pastos, a continuación, se presenta el mapa de las coberturas del suelo y procesos erosivos para los diferentes años analizados, (figura 16)



**Figura 16**. Mapa de las coberturas del suelo y procesos erosivos, con sus respectivas áreas para los años 2009 -2012 -2014.

Todos estos procesos de movimientos en masa también se relacionan directamente con el comportamiento del Río Supía, ya que los materiales que caen a este desde la parte más alta, son transportados con gran velocidad debido a su fuerte pendiente, contado con la capacidad de arrasar arboles rocas, hasta llegar a la zona más plana donde se ubica municipio de Supía, estos deslizamientos de tierra pueden producir taponamientos lo que ocasiona posibles crecientes súbitas en los ríos y avalanchas, sin contar con las basuras que desde la parte más alta son depositadas cerca de drenajes y quebradas que conducen al Río Supía.

En diferentes ocasiones el Río Supía ha presentado crecientes, ocasionando la inundación de diferentes sectores del municipio de Supía, este acontecimiento es materia de preocupación para los habitantes de estas zonas vulnerables, por este motivo se quiso hacer un análisis morfológico del rio de los años 2009, 2012 y 2014, con el fin de proponer posibles soluciones ante estas problemáticas.

Dadas las condiciones topográficas, geomorfológicas, red de drenajes bastante densa, conflictos en el uso del suelo, deforestación de márgenes de drenajes y la eliminación de fajas forestales protectoras que se presentan en la mayoría de los asentamientos indígenas del departamento de caldas se configuran escenarios de amenaza por procesos de inestabilidad, inundaciones y aumento de la torrencialidad en cauces, causada a su vez, por el incremento de niveles de agua de escorrentía, si a lo anterior le sumamos, la alta vulnerabilidad de las estructuras (viviendas, edificaciones, líneas de servicios públicos, centros de salud entre otros) asociada en muchos casos a su inadecuada ubicación nos encontramos con niveles de riesgo altos que ameritan la intervención pronta de todas las entidades locales y regionales. los ríos las Estancias y Supía, han presentado durante los últimos años una fuerte dinámica fluvial, manifestándose en fuertes eventos de torrencialidad e inundación que han afectado a las comunidades de la zona, en su mayoría pertenecientes a los resguardos indígenas de San Lorenzo y Nuestra Señora de la Candelaria de la Montaña, así como comunidad del municipio de Supía.

En diferentes ocasiones, el Río Supía ha sufrido crecientes súbitos las cuales generan situaciones de emergencia principalmente hacia la parte sur del municipio, estas crecientes se caracterizan por tener alto caudal y velocidad lo que hace que transporte diferentes materiales, como rocas, troncos y en ocasiones animales tipo ganado vacuno.

Entre las causas se encuentra el desprendimiento de materiales hacia la parte alta de la cuenca del Río, sumado con las torrenciales lluvias presentadas durante algunas épocas del año.

Entre los barrios más afectados durante estas olas invernales están barrio popular, Renán barco, los colores, vega 1, villa Carmenza, san Lorenzo; un gran número de familias se encuentran en condición de alta vulnerabilidad por inundaciones ocasionadas en consecuencia de las crecientes súbitas sobre el rio Supía, se ve amenazada su integridad y su calidad de vida.

Así mismo se presenta zona de alto riesgo a lo largo de la llanura de inundación del Río Supía en lo que tiene que ver con la zona urbana del municipio, el Río Supía a su paso por el perímetro urbano del municipio genera un importante grado de peligrosidad sobre toda su margen izquierda siendo el principal factor de riesgo la topografía plana y amplias llanuras del rio, sectores en los cuales se ha restringido con un acertado criterio la construcción de viviendas, a pesar de esto algunas viviendas se encuentran muy próximas a la orilla, con ausencia de una faja forestal protectora sobre ambas márgenes del Río la cual debe ser respetada en todos los cauces urbanos y rurales del departamento de caldas Deacuerdo a la resolución No. 561 del 2012 y 077 del 2011, emitidas por CORPOCALDAS, lo que las hace altamente vulnerables frente a este tipo de fenómeno; actualmente las franjas se encuentran destinadas al pastoreo de semovientes, este uso del suelo no es compatible con estas áreas ya que estas deben ser destinadas a la conservación y reforestación donde debe prevalecer la cobertura vegetal protectora con el fin de proteger los recursos naturales renovables y brindar otros servicios ambientales, entre los que se incluye la mitigación de los efectos de una potencial inundación o avenida torrencial. a lo largo de la llanura de inundación de la quebrada Rapao, sector donde se han construido numerosas viviendas en los límites de la quebrada lo que produce en condiciones invernales fenómenos de inundación.

Históricamente el valle geográfico del Río Cauca conto con abundante cobertura de árboles (chiminangos, caracolíes, arrayanes, etc.), y también una diversa fauna de aves, pero esta ha sido eliminada debido a la ocupación del suelo en actividades agrícolas, agroindustria y en desarrollo humano. (CVC 2000b).

La problemática se hace cada vez más frecuente, y los efectos en las inundaciones en el Río Supía se asocian a una combinación de factores naturales y antrópicos, dentro de los cuales se destacan:

- Deforestación, perdida de bosque natural y conflictos con el uso del suelo, en la parte alta de la cuenca (ampliación de las fronteras agrícolas y ganaderas)
- Procesos de inestabilidad de gran magnitud en la parte alta de la cuenca
- Aportes importantes de grandes volúmenes de sedimentos por efecto de los procesos de erosión y los fenómenos de remoción en masa en toda la cuenca.
- Condiciones morfometricos, y geomorfológicas de la cuenca y del Río Supía.
- Ocupación indebida de las llanuras de inundación del Río Supía (barrio popular, las vegas, los colores, san Lorenzo, villa Carmenza, caserío la playa que se encuentra sobre una terraza aluvial contigua en altura a la llanura de inundación del Río Supía, entre otros)
- Alteración de la dinámica del Río Supía por construcción de jarillones, de manera empírica, con el objetivo de recuperar terrenos con fines agrícolas y ganaderos.

#### 10. MORFOLOGIA FLUVIAL

La morfología del cauce responde a la interacción de caudal liquido con los materiales erosionables del contorno y orillas del mismo, el balance entre los procesos de erosión, transporte y sedimentación efectuados dan lugar a las diferentes formas, tamaños y trazados.

Los resultados de los cambios en el cauce atravez de su análisis multitemporal por medio de un trazado del sistema fluvial, en diferentes periodos (2009 -2012 -2014), se hace con la finalidad de conocer el comportamiento que ha tenido el río, durante los últimos años y así mismo reconocer zonas vulnerables, teniendo en cuenta que este es el resultado de diferentes factores, como hidrológicos, geomorfológicos y antrópicos.

Para realizar este análisis se emplearon imágenes de Google Earth, donde por medio de la digitalización del cauce del río para cada año analizado, se puede observar el cambio de su curso, las formas que modela y los materiales depositados.

El Río Supía, posee una morfología trenzada, y ha presentado en varias ocasiones avalanchas provocando el desbordamiento de su cauce, involucrando inundaciones en diferentes sectores del casco urbano del municipio, como la Playita, Renán Barco y los Colores entre otros, ocasionando destrucción de obras como jarillones y muros de contención, tal es el caso de la avalancha del 12 de mayo del 2010.

En los años 2009 al 2012, se pueden observar cambios importantes en la dinámica natural del Río, aparecen formaciones de grandes llanuras de inundación en las dos márgenes del mismo (Figuras 17a la 19) y el curso principal cambia su forma ocupando espacio que en el año 2009 pertenecía a terrazas, pasto y cultivos (Figura 20 a la 22); para el año 2014 el rio nuevamente abandona los brazos que integro en el momento de la crecida del año 2010 y muchas de estas llanuras para este año se encuentran cubiertas por vegetación. (Figuras 23 a la 31).

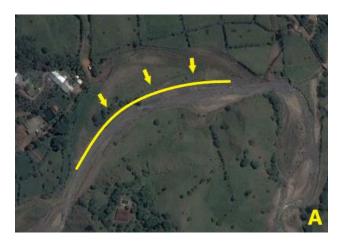
La dinámica fluvial del rio Supía ha desencadenado procesos de socavación y de sedimentación en ambas márgenes, lo cual se ha tratado de mitigar con obras como muros de contención y jarillones que en la visita realizada en diciembre del año 2018 se observaron deteriorados y sin evidencia de seguimiento técnico (figura 32), los procesos de sedimentación son también notorios, ya que el cauce central se encuentra colmatado lo que hace que las aguas migren hacia los lados produciendo los procesos de socavación lateral.



**Figura 17.** tramo **A** del Rio Supía del año 2009, la línea amarilla indica el límite del rio.



**Figura 18.** Tramo **A** del Rio Supía en el año 2012, las flechas muestran como el límite del rio se desplaza lateralmente hacia la margen izquierda, dejando en evidencia un evento de crecida.



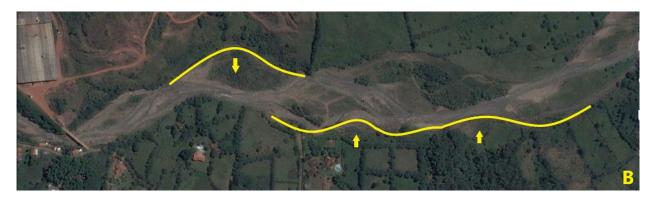
**Figura 19.** Tramo **A** del rio Supía en el año 2014, las flechas muestran la migración del Rio a su posición inicial, abandonando un brazo, viéndose este parcialmente cubierto por vegetación.



Figura 20. Tramo B del Río Supía del año 2009, las líneas amarillas muestran el límite del Rio.



**Figura 21**. Tramo **B** del Río Supía del año 2012, las flechas indican la dirección de movimiento del Rio, migrando lateralmente hacia ambas márgenes.



**Figura 22**. Tramo **B** del Río Supía del año 2014, las flechas indican migración a su posición inicial, quedando cubierto por vegetación las terrazas y brazos abandonados, que produjo en el año 2012.



**Figura 23.** Tramo **C** del Río Supía del año 2009, a la izquierda casco urbano del municipio de Supía, las líneas amarillas muestran límite del espacio que ocupa el Rio.



**Figura 24**. Tramo **C** del Río Supía, las flechas me indican migración lateral a ambas márgenes, involucrando parte del casco urbano del municipio de Supía.



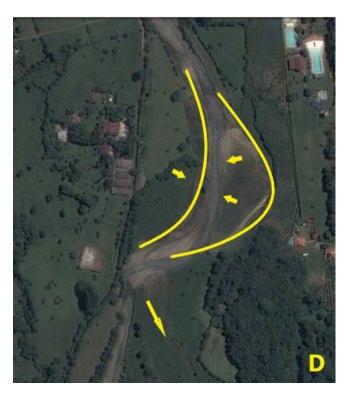
**Figura 25**. Tramo **C** del Río Supía del año 2014, se observa nuevamente la migración a la posición original, las flechas me indican el movimiento producido, quedando cubierto por vegetación las terrazas que dejo anteriormente.



**Figura 26**. Tramo **D** del Río Supía, del año 2009, la flecha indica brazo del Río abandonado, las líneas muestran límite del Rio.



**Figura 27**. Tramo **D** del Río Supía, del año 2012, se observa migración del Río y de terrazas a ambas márgenes, las flechas indican movimiento que se produjo, la flecha larga muestra recuperación del brazo abandonado anteriormente.



**Figura 28.** tramo **D** del Río Supía del año 2014, las líneas indican el nuevo movimiento para este año, se observa nuevamente abandonado el brazo y cubierto por vegetación



Figura 29. Tramo E del Río Supía, del año 2009la línea me muestra límite de ocupación del Rio.



**Figura 30**. Tramo **E** del rio Supía del año 2012, las flechas indican la migración del Rio hacia el casco urbano del municipio de Supía, sector la Playita.



**Figura 31**. Tramo **E** del Rio Supía, del año 2014, se observa migración del Río a su posición inicial, las flechas indican el movimiento, quedando cubierto por vegetación lo que anteriormente pertenecía a llanuras de inundación.



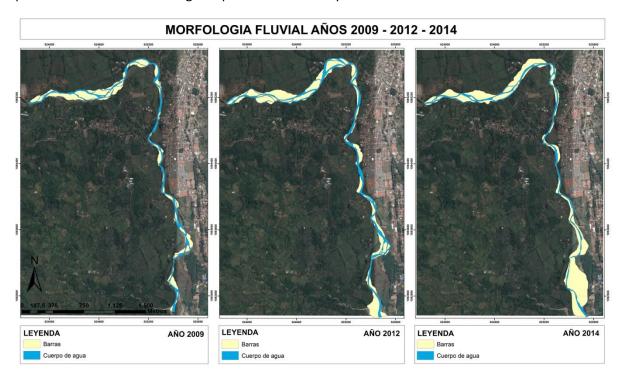
**Figura 32.** muro de contención, averiado por la acción del agua, observado en visita de campo en el mes de diciembre del año 2018.

Un posible factor por el cual puede asociarse el incremento de la sedimentación, es el aporte de material de la parte alta de la cuenca, material transportado con facilidad ya que allí las pendientes son más fuertes y la profundidad del cauce es mayor, y al llegar a la zona de menor pendiente las aguas pierden su energía de transporte y consecuentemente se deposita el material.

Según informes realizados por la Corporación Autónoma Regional de Caldas, CORPOCALDAS, en los últimos años se ha notado un aumento en la sedimentación del cauce del Rio Supía, lo que lo ha colmatado disminuyendo la profundidad del mismo y aumentado con ello la posibilidad que al aumentar su nivel, sus aguas corran libremente por zonas que había dejado abandonado varios años atrás y las cuales han sido urbanizadas por moradores del municipio.

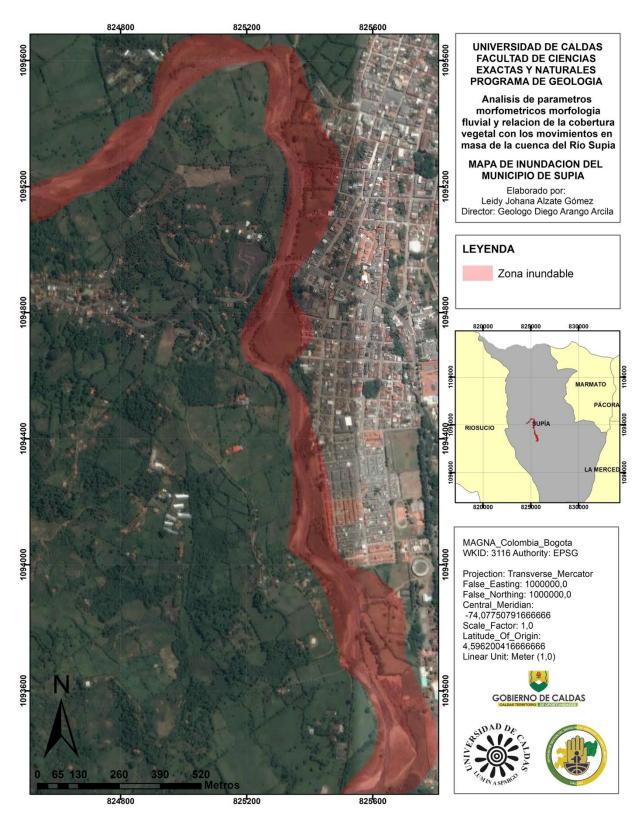
Esta situación se conjuga con los movimientos de masa que ocurren dentro de la cuenca ya que estos suceden principalmente en la parte alta de esta, y muchos de estos procesos erosivos aportan todo el material desprendido al rio, incluyendo tierra, troncos, rocas, lo que puede ocasionar una situación de crecida de enormes proporciones, al obstaculizar el paso del agua, y posterior salida brusca de esta, generando de esta manera una inundación para el municipio de Supía que se ubica en la parte más plana de la cuenca y posiblemente pertenecía a una terraza antigua del Río.

La dinámica fluvial general del Río Supía, ha variado en los últimos años (figura 33) tendiendo a una migración lateral del cauce, erodando su margen izquierda y dejando más depósitos en la margen derecha; la margen izquierda del río, es ocupada por varios barrios de la zona urbana del municipio de Supía lo cual incrementa el riesgo de pérdidas humanas y materiales al momento de nuevas crecientes.



**Figura 33.** Mapa dinámica fluvial del Río Supía, tramo comprendido entre el sector "matadero" y barrio la "playita", nótese el cambio de su forma, depósito de terrazas y migración lateral izquierda.

Deacuerdo con el objetivo del presente estudio, se reconoció la necesidad de elaborar un mapa para zonas inundables Deacuerdo a las inundaciones y movimientos del rio presentados durante los años analizados (2009 – 2012 – 2014), este mapa provee información sobre eventos de inundación que ya han sucedido y posiblemente se repitan con igual o mayor intensidad, este con el fin de reconocer las zonas más vulnerables y concientizar a la comunidad sobre las áreas seguras de uso, (figura 34).



**Figura 34.** Mapa de zona inundable para el municipio de Supía, representa el área de alto riesgo de inundación a escala 1:9.000

# 11.CONCLUSIONES

- El estudio de parámetros morfometricos para la cuenca hidrográfica del Rio Supía, es de gran importancia, ya que con este análisis se cuenta con un primer insumo para interpretar y conocer los parámetros que benefician o afectan la cuenca, a la hora de tomar decisiones que favorezca la mitigación del riesgo, debido a los antecedentes de crecidas que se han presentado, siendo este municipio uno de los más afectados por inundaciones en el departamento de Caldas.
- Apartir de los datos obtenidos en el presente trabajo, se puede determinar que la cuenca tiene problemas de erosión, y socavamiento, el valor de la relación de elongación, cae en el rango de cuencas con relieve moderado, y en la clasificación de pendientes se ubica en el rango de relieve accidentado, debido a estas características es muy posible que se presenten fenómenos tales como derrumbes, erosión laminar, deslizamientos, crecientes y avenidas torrenciales.
- Con base a los resultados morfológicos, los valores bajos de rasgos como factor de forma, y la relación de circularidad, sumado el coeficiente de compacidad la cuenca del Rio Supía se interpreta como oval – oblonga a rectangular – oblonga, lo que nos indica una baja redondez, inclinándose más por ser una cuenca de forma alargada e irregular con distribución de drenajes irregulares.
- En relación al sistema de drenaje, nos muestra que la densidad del drenaje es masomenos bien drenada; dándonos como resultado un valor intermedio entre una cuenca pobremente drenada, y una excepcionalmente bien drenada, revelando que hay suelos permeables que permiten la infiltración y un orden medio de las corrientes según Strahler (1964), que determina un grado medio de bifurcación y de drenajes tributarios que nutren al rio, lo que atribuye a la susceptibilidad de inundaciones y movimientos de masa.
- El municipio de Supía y Riosucio como muchos municipios del país ha crecido demográficamente, ejerciendo presión hacia las zonas que anteriormente pertenecían al área rural; por consiguiente esto implica mayor demanda en el uso de servicios públicos, como acueducto y alcantarillado con el fin de suplir las necesidades de la comunidad integrada a dichas zonas; esta situación genera mayores descargas de vertimiento a los sistemas de alcantarillado municipales, los cuales causan un incremento paulatino en los caudales del rio, aunado también a la expansión de uso del suelo para la agricultura y pastoreo, que aceleran o detonan procesos erosivos, por tal razón la dinámica hídrica y morfológica del rio se ha visto impactada, lo cual repercute directamente en la activación de procesos de remoción en masa e inundaciones.
- La deforestación de las zonas de ladera, es una de las causas principales de los deslizamientos, se debe evitar al máximo la disturbacion del terreno, conservando en el sitio toda vegetación existente para el control de la erosión y remociones masales. Las interacciones entre los bosques y los suelos forestales ayudan a mantener las condiciones ambientales necesarias para la producción agrícola, estos contribuyen a garantizar sistema alimentario productivo, medios de vida rurales mejorados, y un medio ambiente sano, frente a los cambios.
- Debido a los procesos de inestabilidad de gran magnitud en la parte alta de la cuenca se aportan grandes volúmenes de sedimentos ocasionando la disminución de la sección hidráulica del cauce, este hecho atribuye a la ocurrencia de inundaciones siendo el principal factor de riesgo que afecta la zona urbana del municipio de Supía las topografías planas y amplias llanuras en el rio Supía, sobre toda su margen izquierda, sumado a esto la ocupación indebida de estas llanuras y la

- alteración de la dinámica del rio Supía por la construcción de jarillones de manera antitecnica, con el objeto de recuperar terrenos con fines agrícolas y ganaderos.
- Debido a las crecientes y continuas avalanchas desde la parte alta sumado a la dinámica natural del cauce, este tiende a migrar hacia la margen izquierda ocasionando procesos erosivos por socavación lateral e inundaciones, afectando no solo este sector, sino toda la margen izquierda que comprende el casco urbano del municipio de Supía.
- Deacuerdo a los análisis realizados en el presente trabajo, se pudo concluir que, aunque algunos de los parámetros benefician la cuenca para posibles crecidas, lo que hace este municipio altamente vulnerable a las inundaciones es su ubicación, y ante la imposibilidad de ser reubicado, es pertinente realizar obras civiles, que mitiguen los efectos de las frecuentes crecidas y concientización por parte de la comunidad.

#### 12. RECOMENDACIONES

- Implementar un plan de evacuación
- Con base a las observaciones que se hicieron en este estudio se espera informar al municipio de Supía y la jefatura de gestión del riesgo medio ambiente y cambio climático de la gobernación de caldas, para que nunca se pierda la importancia de trabajar en planes de prevención del riesgo y ejecución de obras de protección o bien en la continuidad de estudios y detallados que den paso a la toma de decisiones útiles y oportunas.
- Es conveniente ejecutar labores de reforestación con especies nativas que sirvan de protección, mejoramiento ambiental, y restricción para futuras urbanizaciones, implementando sistemas agroforestales que consisten en un arreglo de cultivos con árboles y arbustos, los cuales se convierten en un refuerzo mecánico por la acción de las raíces que ayudan a sostener el suelo y además permiten la evaporación del agua atravez de la evotranspiracion de las plantas.
- Establecer una franja de retiro prudente del rio Supía, la cual se debe convertir en una zona de protección por medio de proyectos de reforestación
- Monitoreo permanente del rio Supía, en sus zonas alta media y baja, en lo posible deben instalarse y operarse sistemas de alerta temprana que permitan tomar decisiones en el municipio de Supía, ante la posible ocurrencia de avalanchas, represamientos, deslizamientos, y/o lluvias de gran magnitud e intensidad, en la parte alta de la cuenca entre otras.
- Ejecutar programa de prevención y control de erosión, movimientos masales, y conservación de suelos, que para tener éxito debe ir acompañado de grupos multi e interdisciplinarios y por un proceso previo de sensibilización, socialización, concientización y capacitación a la comunidad, para que esta adquiera sentido de pertenencia hacia dicha problemática y se convierta así en un factor atemperante. un seguimiento y evaluación permanente atravez del tiempo.

"REDUCIR LOS RIESGOS DEPENDE EN GRAN MEDIDA DE LA SOLIDARIDAD Y LA ORGANIZACIÓN COMUNITARIA".

# 13. BIBLIOGRAFIA

NIKOLAY AGUIRRE M. manual para el manejo sustentable de cuencas hidrográficas, agosto 2007.

INSTITUTO DE HIDROLOGIA METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES IDEAM. metodología para la zonificación de susceptibilidad general del terreno a los movimientos en masa.2012

UNIVERSIDAD DE CHILE, ESCUELA DE GEOGRAFIA. Evaluación espacial de procesos erosivos y su influencia sobre el corredor de comercio las leñas.2006

LAVELL, A. Sobre la gestión del riesgo: apuntes hacia una definición.2001

REVISTA DE GEOGRAFIA. VOL. XIX. BARCELONA. MONSERRAT JARDI. forma de una cuenca de drenaje, análisis de las variables morfometricas que nos la definen. 1985

BOLETIN DEL INSTITUTO DE FISIOGRAFIA Y GEOLOGIA. JUAN M.G RACCA. Análisis hipsométrico, frecuencia altimétrica y pendientes medias apartir de modelos digitales del terreno. 2007

ASKOA IBISATE GONZALEZ DE MATAUCO. DPTO DE GEOGRAFIA, PREHISTORIA Y ARQUEOLOGIA. UNIVERSIDAD DEL PAIS VASCO. BOLETIN DE LA A.G.E Nº 38. análisis morfometrico de la cuenca y de la red de drenaje del rio Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas. 2004

ALCALDIA DE SUPÍA. paginas economía.

REVISTA DE GEOGRAFIA. I PORQUERAS, M. J. Forma de una cuenca de drenaje. análisis de variables morfometricas que nos la definen.1985

CARLOS DÍAZ DELGADO, KHALIDOU MAMADOU BÂ, ANTONIO ITURBE POSADAS, MARÍA VICENTA ESTELLER ALBERICH Y FRANCISCO REYNA SÁENZ. estimación de las características fisiográficas de una cuenca con la ayuda de SIG y MEDET: caso del curso alto del rio Lerma estado, estado de México.

GERARDO ESQUIVEL ARRIAGA, PALMIRA BUENO HURTADO, IGNACIO SANCHEZ COHEN, MIGUEL A, VELASQUEZ VALLE, JESUS ARCADIO MUÑOZ VILLALOBOS. Delimitación y análisis morfometrico de tres cuencas del norte-centro de México.

SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO. anexos de la memoria explicativa de la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza relativa por movimientos en masa escala 1:100.000 plancha 186 Riosucio.

GARCÍA-RUIZ, J. M.; CHUECA, J.; JULIÁN, A. GEOGRAFIA FISICA DE ARAGON. ASPECTOS GENERALES Y TEMATICOS. Los movimientos en masa de Alto Gallego. 2004

CARVAJAL ESCOBAR, Yesid, BARROSO, Fabián Ulises, REYES TRUJILLO, Aldemar. Guía básica para la caracterización morfométrica de cuencas hidrográficas Universidad Del Valle. 2010.

ARMANDO TORRENTE TRUJILLO. Manejo sostenible y productivo del suelo.2017.

JOSE VILLE TRIANA GARCIA. Identificación de zonas de amenaza por inundación en Colombia, mediante coberturas de la tierra. Universidad de Salzburgo. 2018

.