

**Evaluación de la susceptibilidad por avenidas torrenciales en la microcuenca de la quebrada Los Monos, municipio de Ciudad Bolívar (Antioquia) a partir del análisis geomorfológico de la microcuenca y sus depósitos asociados**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Geólogo

**Autor:**

Daniel Bedoya Giraldo

**Asesores:**

Marco Fidel Gamboa Ramírez

Ana María Pérez Hincapié

Programa de Geología

Escuela de Ciencias

Universidad Eafit

Medellín

2018

Nota de aceptación

---

Presidente del jurado

---

Jurado

---

Jurado

---

Medellín, Junio de 2018

## AGRADECIMIENTOS

Al profesor Marco Gamboa por permitirme hacer parte de este proyecto y por su apoyo como asesor.

A Ana Pérez, por su apoyo, dedicación y paciencia durante toda la realización del proyecto.

A COLCIENCIAS, por el apoyo económico para la realización del proyecto.

A mis padres y familia, por mostrarme el camino a la superación y por apoyarme durante toda mi formación universitaria.

A los amigos que me acompañaron en el transcurso de la carrera.

## TABLA DE CONTENIDO

1.INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Problema de investigación.....	2
1.2 Pregunta.....	2
1.3 Hipótesis.....	3
2.OBJETIVOS .....	4
2.1 Objetivo General .....	4
2.2 Objetivos Específicos .....	4
3.MARCO CONCEPTUAL .....	3
4.METODOLOGÍA.....	7
4.1 Revisión bibliográfica .....	7
4.2 Preparación del trabajo de campo.....	7
4.3 Trabajo de campo .....	7
4.4 Trabajo de oficina.....	8
5.GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	9
5.1 Localización .....	9
5.2 Vías de acceso .....	9
6.MARCO GEOLÓGICO REGIONAL .....	11
6.1 Unidades Litológicas .....	12
6.1.1 Formación Barroso.....	12
6.1.2 Formación Penderisco.....	13
6.1.3 Batolito de Farallones .....	14
6.1.4 Depósitos cuaternarios .....	14
7.GEOMORFOLOGÍA REGIONAL .....	15
8.GEOLOGÍA LOCAL Y FORMACIONES SUPERFICIALES .....	18

8.1 Unidades litológicas .....	19
8.1.1 Formación Penderisco – Miembro Urrao.....	19
8.1.2 Batolito de Farallones .....	20
8.2 Geología estructural.....	23
8.2.1 Fallas .....	24
8.2.2 Lineamientos .....	27
9. GEOMORFOLOGÍA DE LA MICROCUENCA .....	28
9.1 Unidades y subunidades geomorfológicas .....	28
9.1.1 Ambiente denudacional.....	31
9.1.2 Ambiente estructural .....	35
9.1.3 Ambiente fluvial.....	43
9.1.4 Ambiente antropogénico .....	44
10. PROCESOS MORFODINÁMICOS.....	46
10.1 Movimientos en masa.....	46
10.1.1 Deslizamientos .....	46
10.1.2 Flujos.....	48
10.2 Procesos erosivos.....	49
11. ANÁLISIS MORFOMÉTRICO .....	51
11.1 Características relativas a la forma de la cuenca .....	51
11.1.1 Área de la cuenca (A).....	51
11.1.2 Perímetro (P).....	51
11.1.3 Longitud de la cuenca (Lc) .....	51
11.1.4 Parámetros de forma de la cuenca.....	52
11.2 Características relativas al relieve .....	53
11.2.1 Pendiente promedio de la cuenca.....	53

11.2.2 Pendiente del cauce principal .....	54
11.2.3 Altura media del relieve .....	54
11.2.4 Perfil longitudinal.....	54
11.2.5 Mapa de pendientes de la cuenca .....	55
11.3 Características relativas a la red de drenaje.....	57
11.3.1 Orden de la red Hídrica .....	57
11.3.2 Densidad de drenaje .....	58
11.4 Índice morfométrico torrencial.....	58
11.5 Análisis de datos.....	60
12. CARACTERÍSTICAS DE LOS DEPÓSITOS TORRENCIALES DE LA MICROCUCENCA DE LA Q. LOS MONOS .....	64
12.1 Sector alto .....	65
12.1.1 Nivel 1 .....	66
12.1.2 Nivel 2.....	67
12.1.3 Nivel 3 .....	70
12.1.4 Nivel 4.....	75
12.2 Sector medio.....	77
12.2.1 Nivel 1 .....	78
12.2.2 Nivel 2.....	79
12.2.3 Nivel 3 .....	81
12.2.4 Nivel 4.....	82
12.3 Sector bajo .....	83
12.3.1 Nivel 1 .....	84
12.3.2 Nivel 2.....	86
12.3.3 Nivel 3 .....	87

13. EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR EVENTOS TORRENCIALES	
89	
13.1 Susceptibilidad baja o nula.....	90
13.2 Susceptibilidad media.....	91
13.3 Susceptibilidad alta.....	92
14. DISCUSIÓN.....	95
15. CONCLUSIONES .....	97
REFERENCIAS.....	99

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la microcuenca de la quebrada Los Monos .....	10
Figura 2. Mapa geológico regional a escala 1:100.000.....	12
Figura 3. Perfil topográfico delimitado por sus respectivas macrounidades .....	16
Figura 4. Mapa geomorfológico a escala 1:100.000 .....	17
Figura 5. Mapa geológico de la microcuenca de la quebrada Los Monos.....	18
Figura 6. Perfiles de meteorización del Miembro Urrao.....	20
Figura 7. Laderas del Batolito de Farallones .....	20
Figura 8. Bloque ígneo de al menos cinco metros .....	21
Figura 9. Afloramientos de los depósitos de vertiente.....	22
Figura 10. A, perfil de un deposito aluviotorrencial y B, depósitos aluviotorrenciales al margen derecho de la quebrada Los Monos .....	23
Figura 11. Lineamientos y fallas de la zona de estudio .....	24
Figura 12. A: Silleta observada en campo, B: Falla en rocas del Miembro Urrao y C. Pliegue en rocas del Miembro Urrao .....	26
Figura 13. Unidades geomorfológicas .....	29
Figura 14. Subunidades geomorfológicas .....	30
Figura 15. Lóbulo coluvial.....	32
Figura 16. Lóbulos coluviales en la margen derecha de la quebrada Los Monos.....	32
Figura 17. Vista en planta de la unidad geomorfológica Sierra.....	34
Figura 18. Laderas de la unidad geomorfológica Sierra denudada .....	34
Figura 19. Espolones moderados de longitud larga .....	37
Figura 20. Panorámica donde se observa el espolón moderado de longitud larga del Norte (Sesml) y el lomo de presión bajo (Slpb).....	38
Figura 21. Espolones bajos de longitud media.....	39
Figura 22. Panorámica donde se puede observar las unidades geomorfológica: Espolón moderado largo (Sesml), lomo de presión moderado (Slpm), lomo de falla bajo (Slfb), la sierra denudada (Dsd) y el lóbulo coluvial (Dlb) .....	40
Figura 23. Panorámica donde se puede observar la sierra denudada (Dsd), el lomo de presión medio (Slpm) y el lomo de falla bajo (Slfb) .....	41

Figura 24. Fotografía donde se puede observar la sierra denudada (Dsd) y el lomo de presión bajo (Slpb).....	42
Figura 25. Cauce y terrazas aluviotorrenciales .....	44
Figura 26. Superficie de explanación adyacente a la quebrada Los Monos .....	45
Figura 27. Deslizamiento rotacional activo ubicado en la margen izquierda de la quebrada ..	47
Figura 28. Huellas de arranque de roca en medio de la vegetación.....	47
Figura 29. Deslizamiento traslacional ubicado en la parte alta de la cuenca.....	48
Figura 30. Flujos de tierra ubicados en la parte alta de la cuenca.....	49
Figura 31. Socavación lateral.....	50
Figura 32. Erosión en terracetas ocasionado por sobrepastoreo .....	50
Figura 33. Perfil longitudinal de la Quebrada Los Monos.....	55
Figura 34. Mapa de pendientes en porcentaje .....	56
Figura 35. Mapa de la red de drenaje de la quebrada Los Monos.....	58
Figura 36. Perfil longitudinal de la Quebrada Los Monos.....	64
Figura 37. Tres sectores de terrazas torrenciales de la cuenca.....	65
Figura 38. Sector torrencial Alto.....	66
Figura 39. Nivel 1 .....	67
Figura 40. Relación de las dimensiones de los bloques en el cauce del sector Alto.....	68
Figura 41. Relación de las dimensiones de los bloques sobre el nivel 2 del sector Alto. ....	68
Figura 42. Corte A – A’ del sector Alto.....	69
Figura 43. Nivel 2 .....	69
Figura 44. Superficie característica del nivel 2 .....	70
Figura 45. Perfil de suelo del nivel 2 .....	70
Figura 46. Relación de las dimensiones de bloques de roca en el nivel 3 del sector Alto.....	72
Figura 47. Corte C’ – C.....	72
Figura 48. Diferencia entre los niveles 2 y 3 .....	73
Figura 49. Depósitos del nivel 3 .....	73
Figura 50. Perfil de suelos del nivel 3, ubicado en la parte superior del sistema .....	74
Figura 51. Perfil de suelos del nivel 3, ubicado en la parte baja del sistema.....	74
Figura 52. Bloque de roca de aproximadamente 3m de alto.....	75
Figura 53. Perfil B – B’ del sector Alto. ....	76

Figura 54. Superficie del nivel 4 .....	76
Figura 55. Bloque de aproximadamente 5 m aflorando en la superficie del nivel 4.....	76
Figura 56. Horizontes superiores del perfil de suelos del nivel 4 .....	77
Figura 57. Al fondo se observa el nivel 2 y más cerca el nivel 4.....	77
Figura 58. Sector torrencial Medio .....	78
Figura 59. Perfil B – B’ .....	78
Figura 60. Imagen del nivel 1 .....	79
Figura 61. Relación de las dimensiones de bloques de roca en el nivel 2 del sector Medio....	80
Figura 62. Superficie del nivel 2 del sector medio.....	80
Figura 63. Bloques de roca superficiales del nivel 2 del sector medio .....	81
Figura 64. Superficie del nivel 2 .....	81
Figura 65. Superficie del nivel 2 .....	82
Figura 66. Bloques de roca ubicados en la zona Oeste del nivel 4 .....	83
Figura 67. Zona Este del nivel 4 .....	83
Figura 68. Sector torrencial bajo.....	84
Figura 69. Relación de las dimensiones de bloques de roca en el nivel 2 del sector Medio....	85
Figura 70. Superficie del nivel 1.....	86
Figura 71. Superficie del nivel 1 .....	86
Figura 72. Imagen representativa del corte B - B’ .....	87
Figura 73. Corte B – B’ .....	87
Figura 74. Imagen representativa del corte A - A’ .....	88
Figura 75. Corte A – A’ .....	88
Figura 76. Mapa de susceptibilidad frente a avenidas torrenciales de la quebrada Los Monos.....	90
Figura 77. Superficies con susceptibilidad baja.....	91
Figura 78. Superficies con susceptibilidad media.....	92
Figura 79. Superficies con susceptibilidad alta.....	93
Figura 80. Lleno antrópico sobre lóbulo aluviotorrencial.....	94

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Subunidad, localización y procesos de la unidad Lóbulo. ....	31
Tabla 2 Subunidades, localización y procesos de la unidad Sierra y Lomos de Presión. ....	33
Tabla 3 Subunidad, localización y procesos de la unidad Espolón moderado de longitud larga. .....	35
Tabla 4 Subunidad, localización y procesos de la unidad Espolón bajo de longitud media....	38
Tabla 5 Subunidad, localización y procesos de la unidad Lomo de presión moderado.....	40
Tabla 6 Subunidad, localización y procesos de la unidad Lomo de presión bajo.....	41
Tabla 7 Subunidad, localización y procesos de la unidad Lomo de falla bajo .....	43
Tabla 8 Subunidad, localización y procesos de la unidad Llanura aluviotorrencial. ....	43
Tabla 9 Subunidad, localización y procesos de la unidad Superficie antrópica .....	45
Tabla 10 Descripción del atributo pendiente .....	57
Tabla 11 Relaciones para categorizar el índice morfométrico.....	59
Tabla 12 Relación entre variables para el índice morfométrico .....	60
Tabla 13 Parámetros morfométricos de la microcuenca Los Monos. ....	62

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se enmarca dentro del proyecto “*Propuesta metodológica para la evaluación y zonificación de amenazas naturales por fenómenos torrenciales, a partir de la evaluación geomorfológica de los depósitos asociados y su datación. Caso de estudio: Cuencas hidrográficas de la vertiente oriental de los Farallones del Citará, suroccidente de Antioquia*”.

El cual es desarrollado entre COLCIENCIAS y la Universidad EAFIT con el número de contrato 013 del 2016.

La microcuenca de la quebrada Los Monos, hace parte de las cuencas propuestas en dicho proyecto y se localiza en el suroccidente Antioqueño, en la vereda Los Monos de Ciudad Bolívar. Allí se pretende estudiar las características geomorfológicas de la microcuenca con un énfasis en el análisis de los depósitos torrenciales encontrados a lo largo del cauce de la quebrada, esto con el objetivo de caracterizar los eventos torrenciales de la cuenca y proponer, posteriormente, una zonificación de la susceptibilidad frente a esta amenaza natural.

A pesar de que las avenidas torrenciales tienen una recurrencia histórica relativamente baja, son una de las amenazas naturales más comunes en Colombia y por su gran potencial destructivo afectan gravemente bienes físicos y personas. Entre las razones que hay para que este evento sea tan dañino están su naturaleza casi impredecible, la rapidez con la cual ocurre, su corta duración y su largo periodo de retorno, además de su distribución poco uniforme en el espacio y el tiempo (González et al., 2004).

Según Rendón (1997), los flujos torrenciales representan un problema hidráulico complejo que no puede ser resuelto adecuadamente con las ecuaciones de hidráulica fluvial. Por tal razón, se planteó la aplicación de un método directo de evaluación, cualitativo y rápido de las zonas con probabilidad de ser afectadas por una avenida torrencial.

La cuenca de la quebrada Los Monos constituye el área de captación para el acueducto municipal de Ciudad Bolívar. Este trabajo se convierte entonces en una herramienta que aporte a la toma de decisiones y a la formulación de estrategias de acción preventivas para preservar los recursos de la cuenca y proteger a la población e infraestructura de eventos torrenciales destructivos.

### **1.1 Problema de investigación**

Las avenidas torrenciales constituyen un problema hidráulico complejo que no puede ser resuelto por medio de las ecuaciones clásicas de la hidráulica fluvial; por lo cual, se han propuesto una serie de metodologías de evaluación y caracterización de los eventos torrenciales, con el fin de generar zonificaciones de susceptibilidad acordes con las características de los fenómenos presentados. Sin embargo, no ha sido posible la generación de una metodología de zonificación que involucre aspectos geomorfológicos, sedimentológicos y con análisis de recurrencia más detallados, que permitan la caracterización más completa del fenómeno (Rendón, 1997). Es por esto, que como objetivo del presente trabajo se propone una caracterización geomorfológica y sedimentológica para la microcuenca de la Quebrada Los Monos, y así analizar su relación con la susceptibilidad por dinámica torrencial, contribuyendo al modelo de zonificación de susceptibilidad por avenidas torrenciales en zonas con características similares.

### **1.2 Pregunta**

¿Es posible identificar que zonas presentan mayor susceptibilidad por fenómenos torrenciales a partir de la relación de variables geomorfológicas y sedimentológicas?

### **1.3 Hipótesis**

La caracterización geomorfológica y sedimentológica de la cuenca de la quebrada Los Monos permite conocer la magnitud de eventos anteriores por fenómenos torrenciales, convirtiéndose en un insumo útil al momento de calcular la susceptibilidad por avenidas torrenciales.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo General**

Evaluar la susceptibilidad por avenidas torrenciales en la microcuenca de la quebrada Los Monos a partir del análisis geomorfológico de la microcuenca y sus depósitos asociados.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar sistemáticamente depósitos asociados a la dinámica torrencial a lo largo de la quebrada Los Monos.
- Analizar los parámetros morfométricos de la microcuenca.
- Establecer a través de los aspectos geomorfológicos una temporalidad relativa de los depósitos torrenciales.
- Generar un mapa de susceptibilidad por avenidas torrenciales.
- Analizar las variables que influyen en la dinámica torrencial de la microcuenca.

### 3. MARCO CONCEPTUAL

El término avenida torrencial ha sido definido por varios autores, los cuales han realizado aproximaciones a partir de las diferentes disciplinas que trabajan, en su mayoría, desde la hidráulica y la geomorfología. En la actualidad no existe un consenso en la definición de la misma y su aplicabilidad en los ambientes tropicales, sin embargo y para efecto de este proyecto se toman las definiciones expuestas por Bloom (1991) , Cossout y Meunier (1996) y Caballero (2011), que exponen principalmente que las avenidas torrenciales se comportan como un movimiento en masa, desplazándose por cauces preestablecidos a velocidades rápidas a extremadamente rápidas, con porcentajes variables de sedimentos y escombros entre un 50 y 90%. Estos procesos tienen un origen hidrometeorológico y se presentan en cuencas de montaña con extensiones variables, según Riedl y Zachar (1984) de hasta 150 km<sup>2</sup> y según González y Hermelin (2004) para el departamento de Antioquia de hasta 300 km<sup>2</sup>.

A continuación se muestran algunas definiciones encontradas en la literatura:

Según Montoya et al. (2009), un flujo de escombros es equivalente a una avenida torrencial con poca agua y alta cantidad de rocas, suelos y escombros. Johnson y Rodine (1984, como se citó en Cossout y Meunier, 1996) definen los flujos de escombros como: “Una pared de bloques, rocas de todos los tamaños y lodo húmedo apareciendo a lo largo de la curva en un cañón, precedido por un fuerte estruendo. A medida que la pared pasa, el canal permanece lleno con un torrente de escombros compuestos de lodo y bloques, rodando, chocándose y moliéndose entre sí. Cuando los escombros llegan a un abanico aluvial arrasan estructuras, vehículos y cubren carreteras, cultivos y campos como un tapete de escombros que lentamente se va deteniendo dejando un montículo frontal”. (p. 210)

Para Bloom (1991), un evento torrencial es un fenómeno que involucra corrientes de agua, lodo y fragmentos de roca en diferentes proporciones y tamaños, y que ocurre en un periodo de tiempo muy corto comparado con otros fenómenos naturales.

Vásquez (1994), presenta la siguiente definición: “Los eventos hidrológicos torrenciales consisten en la ocurrencia súbita de caudales pico de corta duración y gran velocidad, que transita a lo largo de los canales en cuencas hidrográficas de montaña, normalmente de tamaño reducido”. (p. 3)

Velásquez y Rosales (1999) afirman que una avenida torrencial es: “Un flujo violento de agua en una cuenca, a veces reportado como creciente (súbita, rápida), o como torrente”. Se aplica cuando “la avenida transporta troncos de árboles y/o abundantes sedimentos desde finos hasta bloques de roca. Pueden ser generados por lluvias, por ruptura de represamientos o por abundantes deslizamientos sobre una cuenca”. (p. 117)

El Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (PMA: GCA) (2007), considera las avenidas torrenciales como un sinónimo de flujo de detritos y define este último como: “Un flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos, que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce empinado”.

Diferenciándose de otros eventos por la eventual incorporación de agua al flujo de detritos.

Además, “el confinamiento lateral ayuda a mantener la profundidad del flujo, facilitando un cierto tipo de ordenamiento de las partículas sólidas y el desarrollo de oleaje. El ordenamiento se refiere a que los clastos más grandes tienden a quedar cerca de la superficie del flujo, lo que se conoce como gradación inversa”. (p. 19)

Caballero (2011) considera que las avenidas torrenciales son: “Un tipo de movimiento en masa que se desplazan generalmente por los cauces de las quebradas, llegando a transportar

volúmenes importantes de sedimentos y escombros, con velocidades peligrosas para los habitantes e infraestructura ubicados en las zonas de acumulación, de cuenca de montaña susceptibles de presentar este tipo de fenómenos”. (p. 45)

### **Origen y causa de las avenidas torrenciales**

Varios autores han expuesto diversos factores que influyen en la generación de avenidas torrenciales en las cuencas, a continuación se exponen algunos de ellos. Cabe resaltar que el orden de los factores en que son presentados no implica importancia y que todos están interrelacionados entre ellos.

- Cuencas pequeñas, lo que permite que un evento de lluvia pueda cubrir simultáneamente todos los puntos de la zona ocasionando una escorrentía directa y superficial de toda la cuenca a la red de drenaje (Vásquez, 1994).
- Cuencas con altos gradientes, este factor junto con el anterior disminuyen los tiempos de concentración en las cuencas y genera un aumento en la velocidad de la corriente (Caballero, 2011; Vásquez, 1994).
- Precipitaciones de gran intensidad concentradas sobre gran parte de la cuenca (Caballero, 2011).
- Disponibilidad de material granular como limos y arcillas, que puedan ser puestos en movimiento por la creciente. La fuente de estos materiales pueden ser movimientos en masa o focos de erosión existentes, material depositado en las vertientes por procesos constructivos, cortes, expansiones, llenos y escombreras, entre otros (Caballero, 2011).
- Cambios bruscos en el gradiente de la quebrada (knickpoints), lo que facilitaría la acumulación de los sedimentos transportados desde la parte alta o media de la cuenca.

También se puede dar acumulación de sedimentos por el ensanchamiento abrupto del cauce principal (Caballero, 2011).

- Forma de la cuenca, cuencas con forma redonda a ovalada tiene mayor posibilidad de generar caudales pico torrenciales que cuencas alargadas, debido a que las líneas de flujo de la escorrentía son más cortas y más sincrónicas, lo que genera que el agua se concentre más rápido y simultáneamente en un solo punto sobre el lecho (Vásquez, 1994).
- Incipiente desarrollo geomorfológico, expresado en: Presencia de valles en forma de “v”, laderas escarpadas, alta competencia de la quebrada para socavar su lecho, drenajes rectilíneos, perfil del río distante del punto de equilibrio, procesos de erosión regresiva sobre el propio lecho y hacia la cabecera (Vásquez, 1994).
- Alta densidad de drenaje, lo que contribuye a la disminución del tiempo de concentración (Vásquez, 1994).
- Sismos, estos pueden generar deslizamientos o un enjambre de deslizamientos cosísmicos que pueden llevar al bloqueo de un cauce y la posterior ruptura del dique (USG, 1984, como citó Montoya et al., 2009).

## **4. METODOLOGÍA**

La ejecución de este proyecto está dividida en cuatro partes: (1) revisión bibliográfica, (2) preparación del trabajo de campo, (3) trabajo de campo y (3) análisis de datos y redacción del informe final.

### **4.1 Revisión bibliográfica**

Inicialmente se realizó una revisión bibliográfica de estudios regionales y locales de la zona de estudio, que permitieron conocer detalles de la geología, geomorfología y dinámica fluvial de la microcuenca. Además, de información histórica que permitió conocer lo recurrencia de eventos torrenciales en la zona.

### **4.2 Preparación del trabajo de campo**

Esta etapa se basó en la delimitación de la zona aluviotorrencial y la caracterización inicial de los niveles de depositación asociados a la quebrada Los Monos, a partir del análisis de ortofotos del año 2012 (proyecto CartoAntioquia) y de un modelo digital de terreno (MDT) con una resolución espacial de dos metros, proporcionado por el municipio de Ciudad Bolívar. Además, se realizó un estudio inicial de las características morfométricas de la microcuenca utilizando dicho modelo digital del terreno.

### **4.3 Trabajo de campo**

El trabajo de campo constó de una campaña inicial de reconocimiento y una salida posterior con un énfasis en el estudio geomorfológico y sedimentológico de los depósitos aluviotorrenciales de la quebrada Los Monos.

A continuación se explican las etapas del plan de trabajo en la salida de campo.

- Análisis de los depósitos torrenciales: Caracterización geomorfológica de los depósitos y análisis de las características sedimentológicas de los perfiles de los depósitos encontrados.

Este análisis se realizó teniendo en cuenta parámetros como redondez, grado de selección, tamaño, estructuras o imbricación de los clastos. Esto con el objetivo de determinar niveles de depositación asociados a la recurrencia de diferentes eventos torrenciales.

- Muestreo de las dimensiones (largo y ancho) de los bloques de roca de algunos niveles.
- Cartografía geológica: Realizada a escala 1:5000 con un enfoque en las formaciones superficiales.

#### **4.4 Trabajo de oficina**

Esta etapa se basa en el procesamiento y análisis de toda la información obtenida en el pre-campo y la salida de campo. A partir de esta información se realizó un mapa geológico y geomorfológico de la cuenca.

Utilizando el modelo de elevación digital y la información tomada en campo se realizó una diferenciación y correlación relativa de los depósitos torrenciales, separándolos por sectores y niveles de depositación, lo que permitió obtener una temporalidad relativa de los depósitos.

Posteriormente, se realizó un análisis de susceptibilidad a partir de métodos geomorfológicos, basado en el análisis de los aspectos geomorfológicos y sedimentológicos.

## **5. GENERALIDADES DEL ÁREA DE ESTUDIO**

### **5.1 Localización**

La microcuenca de la quebrada Los Monos se encuentra ubicada en la vertiente oriental de la Cordillera Occidental al suroeste del departamento de Antioquia. Hace parte de la vereda Los Monos al occidente del casco urbano del municipio de Ciudad Bolívar y regionalmente hace parte del cañón del Río Cauca – San Juan. La quebrada nace a 3086 m s. n. m. en la formación montañosa de los Farallones del Citará y desemboca a los 1215 m s. n. m. en el Río Bolívar tras un recorrido de aproximadamente 8.5 km (Figura 1).

### **5.2 Vías de acceso**

Hasta el municipio de Ciudad Bolívar se puede llegar por carretera pavimentada desde Medellín tomando la Vía Nacional que comunica a Antioquia con el departamento del Chocó. Para llegar a la microcuenca de la quebrada Los Monos se debe tomar una carretera de 6 km sin pavimentar que está conectada al sector occidental de la cabecera municipal, su trazado es casi paralelo al cauce del río.

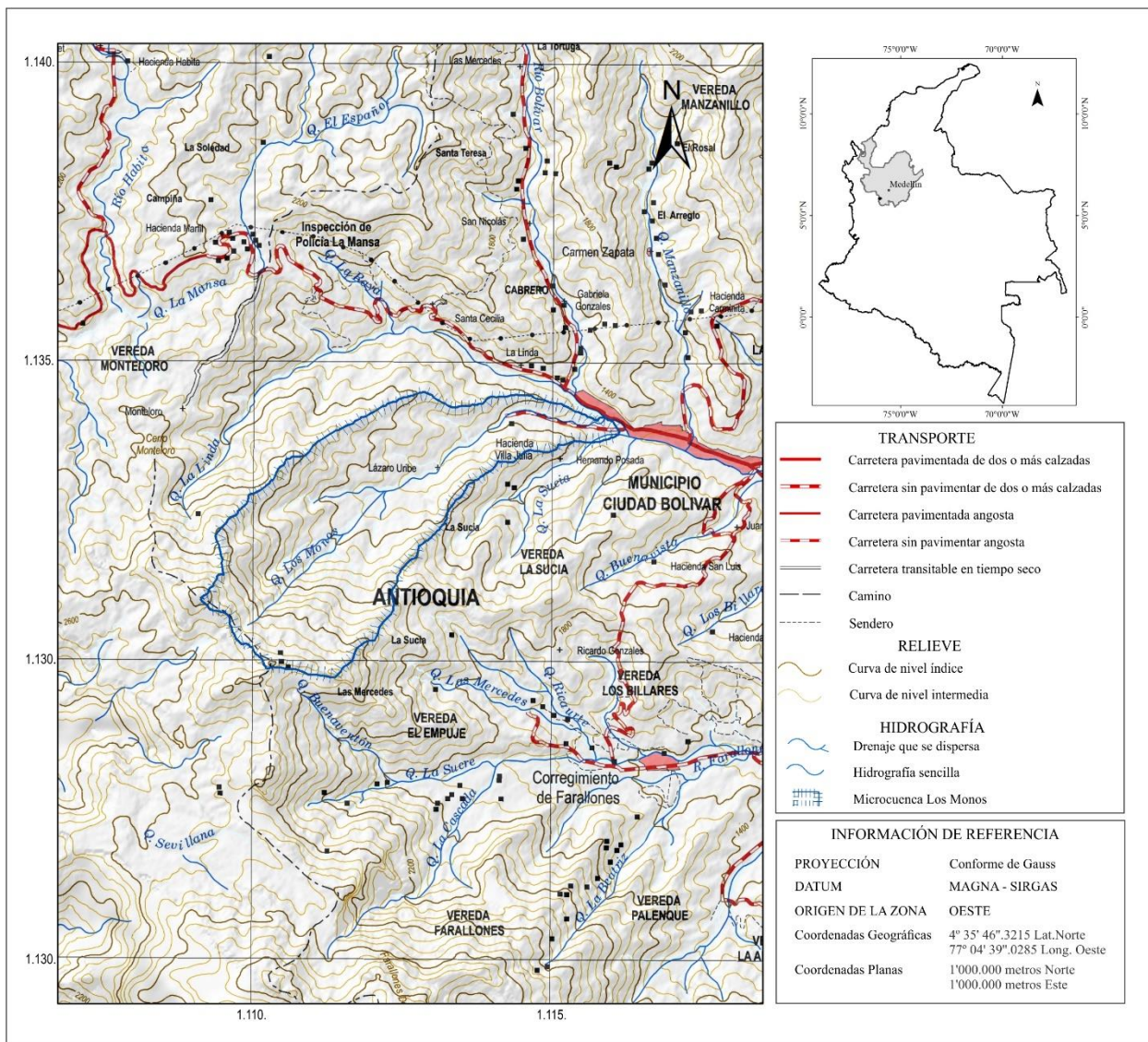


Figura 1. Localización de la microcuenca de la quebrada Los Monos

## 6. MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

El área de interés regional en el presente estudio comprende el sector Norte de la Cordillera Occidental, específicamente al suroccidente de Antioquia en el municipio de Ciudad Bolívar.

La cartografía geológica regional muestra en el área rocas de litología ígnea (volcánicas e intrusivas) y sedimentarias, de edades que van desde el Cretácico hasta el Cenozoico (Figura 2). Las rocas más antiguas, de edad Cretácico Superior, corresponden a secuencias volcánicas de la Formación Barroso, conformadas según Calle y Salinas (1986), por flujos de lava de carácter básico, tobas y diabasas. La Formación Penderisco de la misma edad se encuentra intensamente plegada y fallada y es dividida en el Miembro Urrao y el Miembro Nutibara. El Miembro Urrao está compuesto por interestratificaciones de lutitas, limolitas, lodolitas, areniscas, cherts, conglomerados polimícticos y pequeñas intercalaciones de tobas; mientras que el miembro Nutibara está compuesto por cherts negros con intercalaciones de calizas silíceas con abundante microfauna del Coniaciano (Calle y Salinas, 1986). Las rocas ígneas están representadas por el Batolito de Farallones, con una composición predominantemente monzodiorítica y una edad del Mioceno según Calle y Salinas (1986). En la zona también se encuentran depósitos cuaternarios, asociados a depósitos de vertiente, aluviales y aluviotorrenciales, en los cuales se enfoca el estudio de torrencialidad.

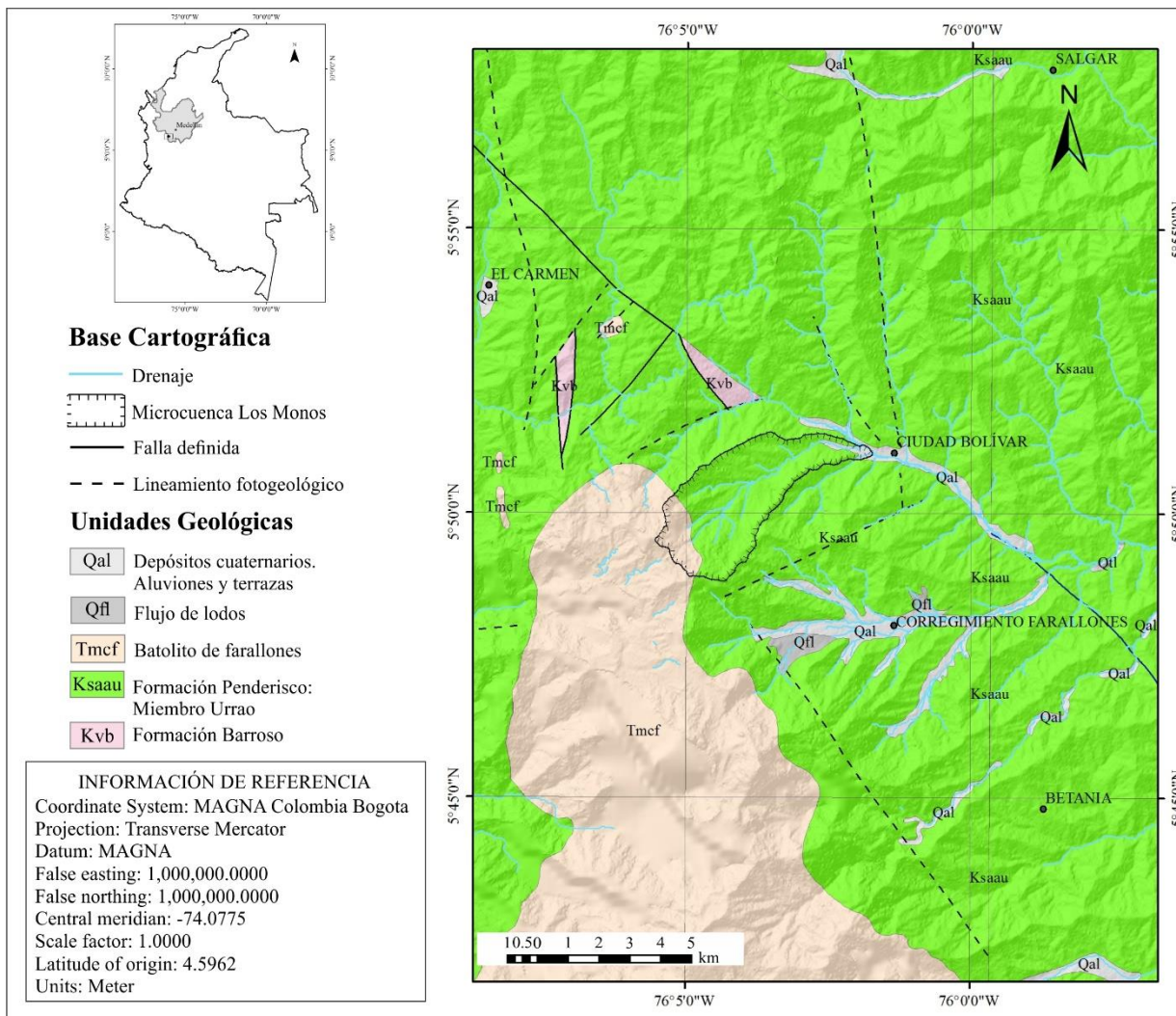


Figura 2. Mapa geológico regional a escala 1:100.000. Modificado de Calle y Salinas (1984)

## 6.1 Unidades Litológicas

A continuación, se hace una breve descripción de las unidades presentes en la zona de estudio a nivel regional (Figura 2).

### 6.1.1 Formación Barroso

En la zona de interés regional sobre la vía Medellín – Quibdó, afloran dos cuerpos lenticulares de diabasas con intercalaciones de cherts oscuros, cartografiados por Calle y Salinas (1986). Estos autores destacan la importancia de este cuerpo, debido a su relación a mineralizaciones de tipo hidrotermal.

Álvarez y González (1978), describe las rocas de esta formación como ampliamente variables tanto textural como composicional y reporta la presencia de espilitas, diabasas, aglomerados, brechas volcánicas y derrames volcánicos con variedades de rocas andesíticas y basálticas, caracterizadas por un color verde producido por cloritización, epidotización y uralitización de los ferromagnesianos originales. Los autores anteriormente nombrados asignan una edad cretácea tardía al evento volcánico que originó esta formación.

### **6.1.2 Formación Penderisco**

Esta formación se divide en rocas de una secuencia areno-arcillosa (Miembro Urrao), y calcáreo lidítico (Miembro Nutibara) (Calle y Salinas, 1986). En la zona de interés regional solo aflora el Miembro Urrao.

#### ***6.1.2.1 Miembro Urrao***

Esta formación se extiende tanto hacia el Norte como el Sur del área de estudio y representa la litología más extensa de la zona, cubriendo un área de miles de kilómetros cuadrados en el flanco oriental de la Cordillera Occidental. Este miembro tiene una composición predominantemente arcillo-arenoso y puede definirse como una turbidita. Está constituido por interestratificaciones de lutitas, limolitas, lodolitas, areniscas, cherts y conglomerados polimícticos (Calle y Salinas, 1986).

El fallamiento frecuente, clivaje de fractura, budinaje e intenso plegamiento que presenta la formación evidencia la alta deformación estructural que ha sufrido la zona. Calle y Salinas (1986), explican que dicha deformación pudo ser causada por un anticlinal originado por la intrusión del Batolito de Farallones.

### **6.1.3 Batolito de Farallones**

Cuerpo intrusivo de composición predominantemente monzodiorítica. En la zona de estudio aflora al Sur de la carretera Medellín – Quibdó y al Oeste del corregimiento de Farallones en el municipio de Ciudad Bolívar. Calle y Salinas (1986), identificaron fases monzodiorítica, tonalítica, gábrica y piroxenítica dentro del batolito. En el área de estudio solo afloran principalmente monzodioritas y tonalitas.

La intrusión del batolito modificó en alto grado las estructuras regionales, especialmente la secuencia sedimentaria del cretáceo y creó una aureola de contacto de aproximadamente unos 500 m. Por esto, se considera que este intrusivo es post-cretáceo (Calle y Salinas, 1986).

### **6.1.4 Depósitos cuaternarios**

Estos depósitos se encuentran en las partes medias y bajas de los cauces y quebradas de la zona de estudio. Con base en la composición textural, el tamaño de los sedimentos y la morfometría del depósito se han diferenciado depósitos de vertiente tipo flujo de lodos y escombros, además de depósitos aluviales y torrenciales, sobre estos últimos y con una extensión considerable se encuentra el casco urbano del Municipio de Ciudad Bolívar y al sur el corregimiento de San Fernando de los Farallones.

## 7. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

Para la clasificación geomorfológica regional se utilizó la propuesta realizada por CORANTIOQUIA (2002), que se basa en las características morfológicas del terreno para dar una clasificación jerárquica en diferentes niveles de órdenes, pasando de una escala de mayor alcance a una de menor. Denominando así las unidades de relieve como el conjunto de irregularidades que presenta la superficie terrestre con las mismas características morfogenéticas, generalmente cartografiadas a escalas entre 1:100.000 y 1:500.000. Conforman las unidades de primer orden y se relacionan con la estructura básica y más general de las cadenas montañosas. Dentro de las unidades de relieve se encuentran las macrounidades geomorfológicas, que también cumplen las condiciones mencionadas anteriormente y están dominadas por un conjunto de procesos morfogenéticos relacionados a un mismo ambiente, interactuando entre sí. A diferencia de las unidades de relieve, la escala en que se cartografian es menor, entre 1:100.000 y 1:25.000. A escalas de mayor detalle, menores a 1:25.000 se encuentran las unidades y subunidades geomorfológicas.

La primera clasificación geomorfológica regional se realizó con base en las grandes unidades de relieve y macrounidades propuestas por CORANTIOQUIA (2002), para el departamento de Antioquia; siendo el “Cañón del Río Cauca – San Juan” la única unidad de relieve que se encuentra en la zona. Esta unidad de relieve fue caracterizada teniendo en cuenta los factores que pudieron intervenir en su formación y fue dividida en siete macrounidades. En la zona de interés regional hay presencia de cinco de estas siete macrounidades (Figura 3), cuatro de ellas son vertientes hidrográficas, que fueron agrupadas de acuerdo a su posición relativa dentro del cañón, es decir, altura y margen del río donde se encontraban, estas son: Vertientes altas margen Oeste, vertientes medias margen Oeste, vertientes bajas margen Oeste y vertientes continuas

margen Este. La quinta macrounidad corresponde a la parte baja del cañón y a las zonas principales de depósito de los ríos, llamada Fondo (Figuras 3 y 4).

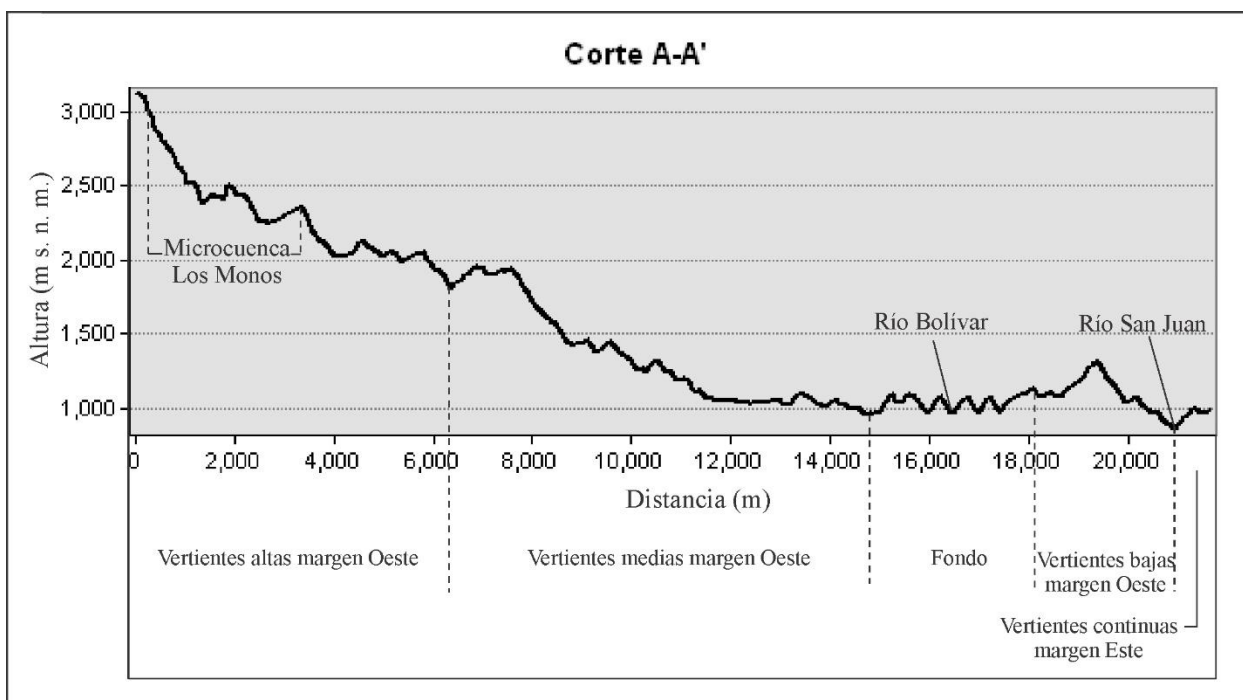


Figura 3. Perfil topográfico delimitado por sus respectivas macrounidades

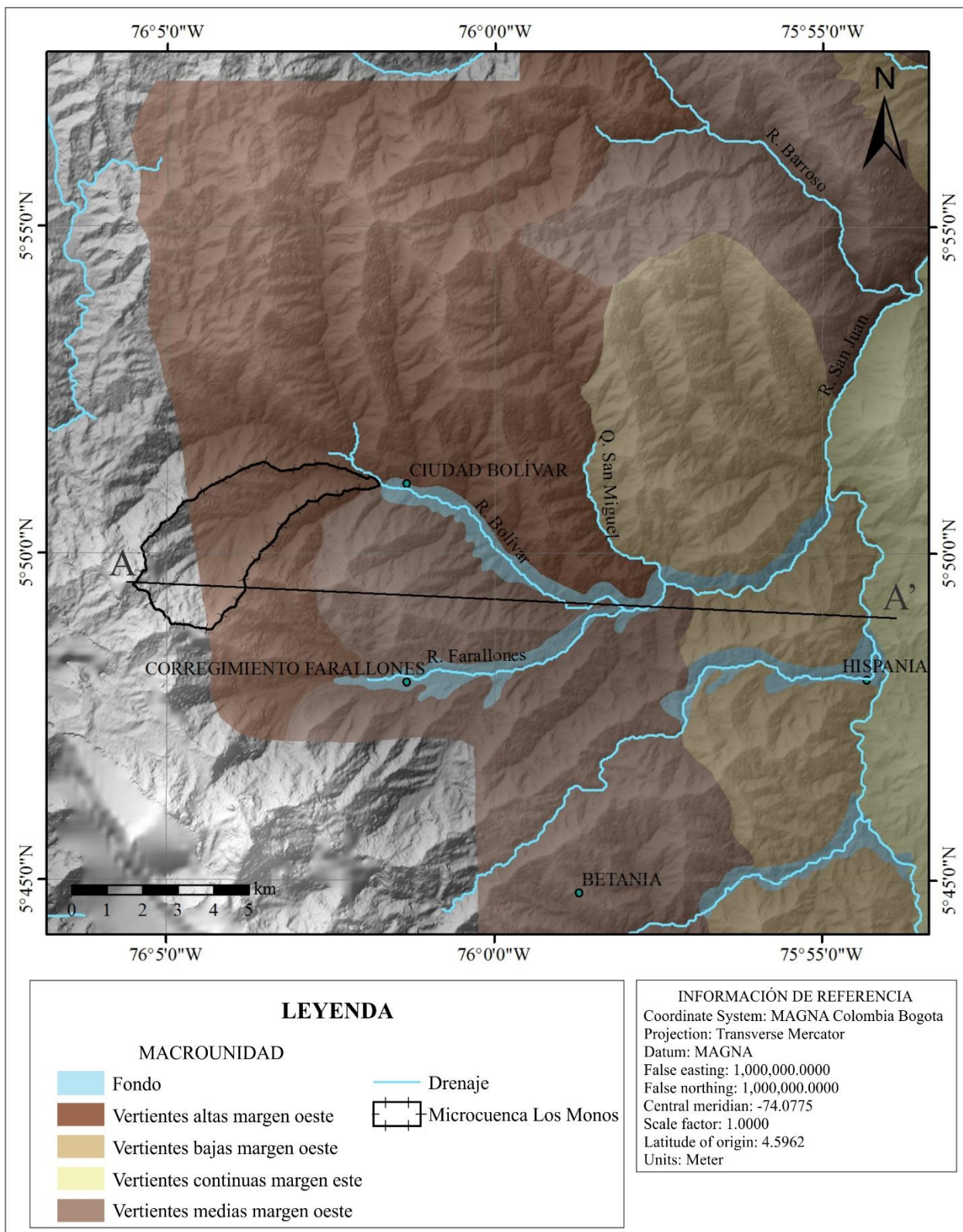


Figura 4. Mapa geomorfológico a escala 1:100.000. Modificado de CORANTIOQUIA (2002).

## 8. GEOLOGÍA LOCAL Y FORMACIONES SUPERFICIALES

En la microcuenca de la quebrada Los Monos afloran dos tipos de roca, metasedimentos del Miembro Urrao de la Formación Penderisco y rocas plutónicas del Batolito de Farallones, además de depósitos de vertiente y depósitos cuaternarios (Figura 5).

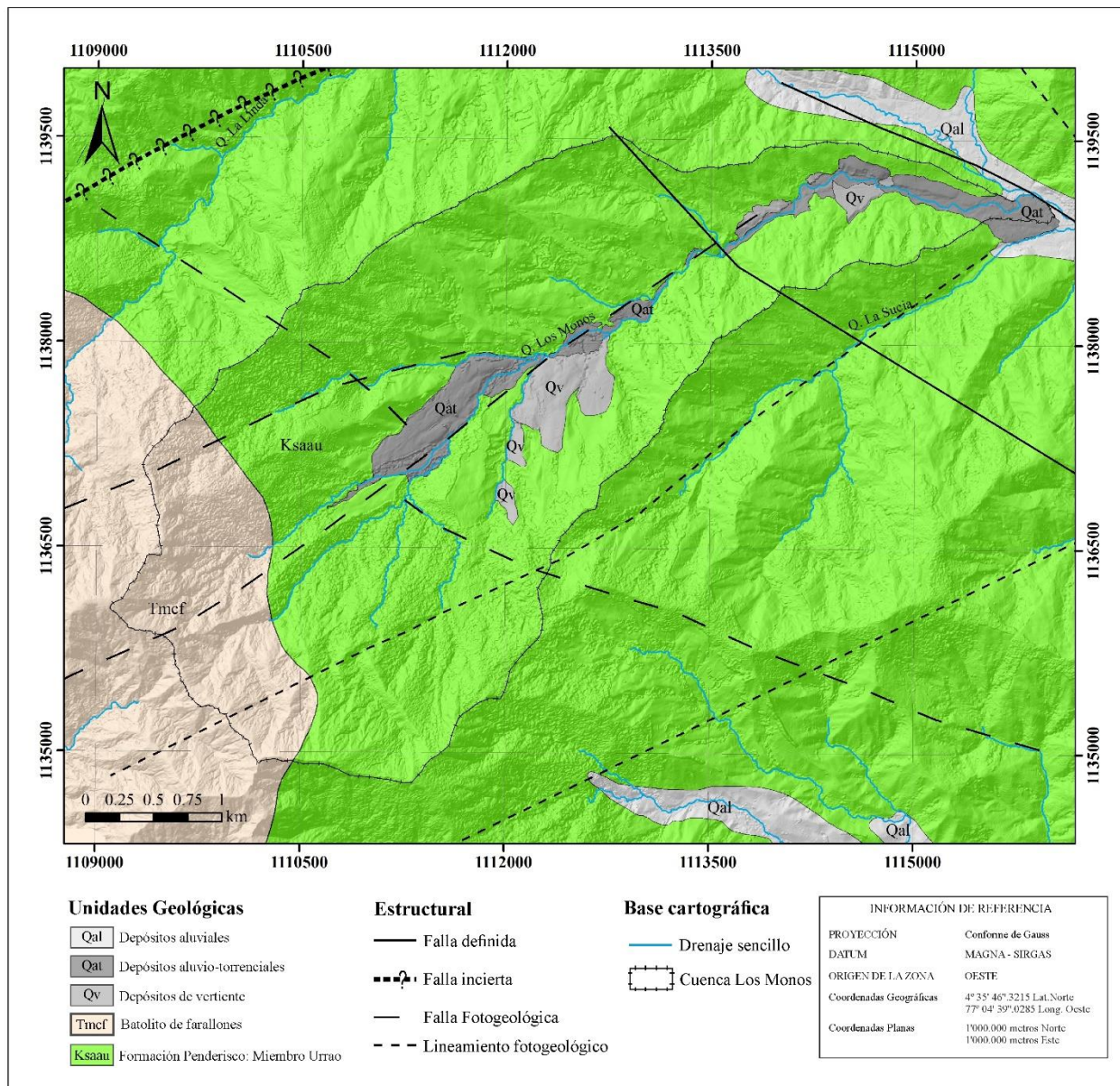


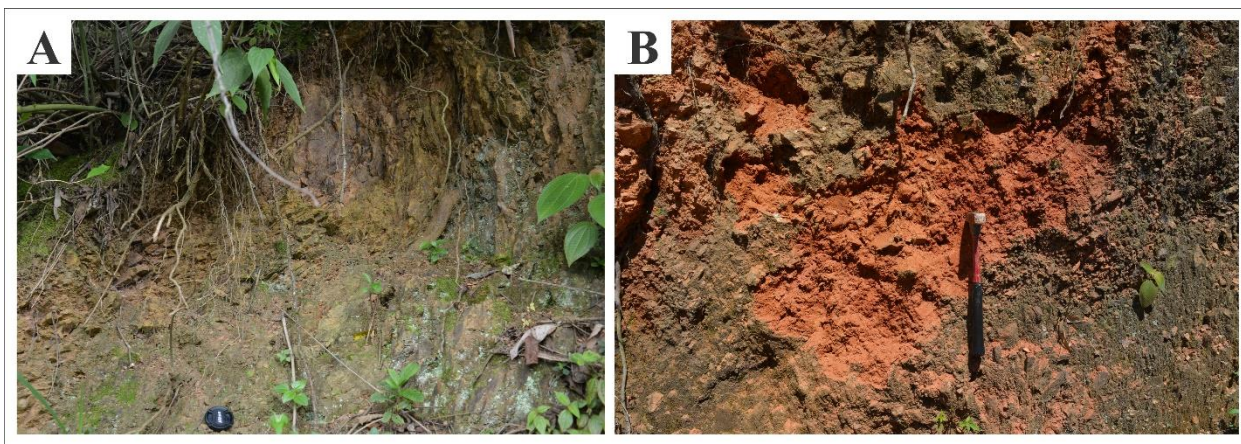
Figura 5. Mapa geológico de la microcuenca de la quebrada Los Monos

## **8.1 Unidades litológicas**

### **8.1.1 Formación Penderisco – Miembro Urrao**

Esta formación aflora desde los 1900 m s. n. m. y constituye la litología con mayor extensión en la cuenca (Figura 5). En el trabajo de campo se observaron dos afloramientos, el primero ubicado en el kilómetro 2.3 de la vía terciaria (x: 1'113.591 y: 1'138.631) y el segundo ubicado en la margen izquierda de la quebrada, en un sendero cerca al kilómetro 2.1 de la vía terciaria (x: 1'114.395 y: 1'139.257). Las rocas están compuestas por clastos de tamaño arena con variaciones a limo y presentan estructuras laminares, que más la presencia en algunas rocas de clorita y biotita, evidencian un bajo grado de metamorfismo.

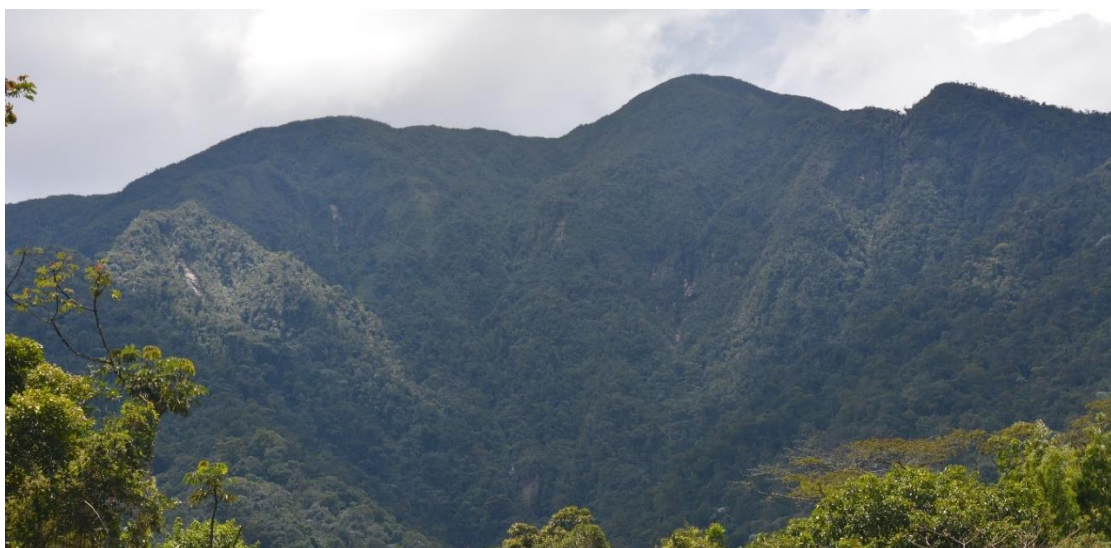
En esta litología se observó el desarrollo de los horizontes II, III y VI del perfil de meteorización de Dearman (1974). El horizonte VI se caracteriza por tener un color rojizo y una granulometría limo-arcillosa con espesores que no superan los 50 cm, en este horizonte todo el material rocoso está convertido en suelo y la estructura original de la roca está destruida; el horizonte III (Figura 6B) tiene un color rojizo, espesores que varían hasta los dos metros y se caracteriza por tener fragmentos de roca muy meteorizados con tamaños entre los 10 y 30 cm. Por último, se encuentra el horizonte II (Figura 6A), compuesto por roca débilmente meteorizada y altamente fracturada donde es posible observar la orientación original de la roca.



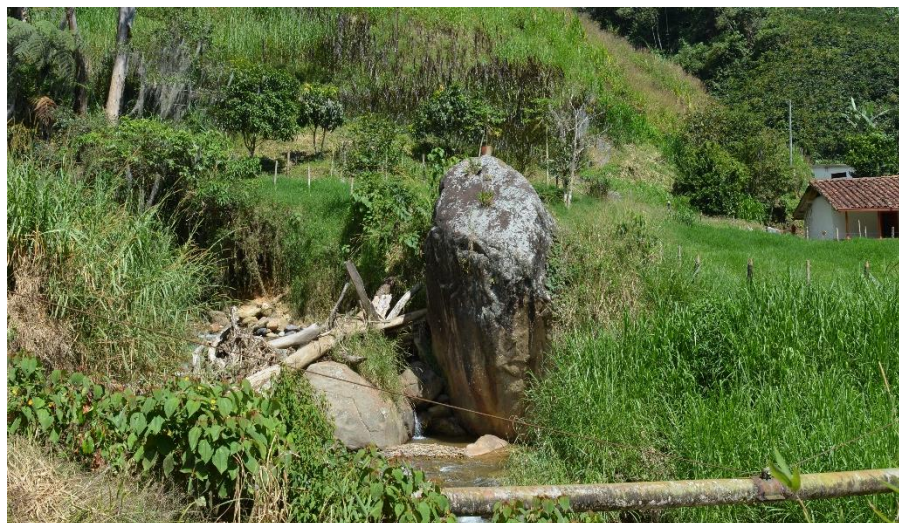
*Figura 6.* Perfiles de meteorización del Miembro Urrao. La imagen A muestra el horizonte II y la B el horizonte III

### **8.1.2 Batolito de Farallones**

El batolito de Farallones es un cuerpo ígneo plutónico de composición monzotonalítico – tonalítico con facies dioríticas y gabroides (Calle y Salinas, 1986). Durante el trabajo de campo no se observaron afloramientos ni perfiles de meteorización pertenecientes a esta litología, debido a que esta unidad aflora en la parte alta de la cuenca, a partir de los 2.000 m s. n. m. y no hay vías o senderos que permitan llegar a la zona (Figura 7). A pesar de la ausencia de afloramientos, se observaron bloques de roca y sedimentos ígneos a lo largo de la vertiente de la quebrada, siendo estos los de mayor tamaño observados, llegando a medir hasta 8 m (Figura 8).



*Figura 7.* Laderas del Batolito de Farallones



*Figura 8.* Bloque ígneo de al menos cinco metros, ubicado en la parte media de la microcuenca

### **8.1.3 Depósitos cuaternarios**

#### ***8.1.3.1 Depósitos de vertiente (Qv)***

Por lo general los depósitos de vertiente se forman por acumulación en las laderas de materiales provenientes de masas de roca y suelo deslizadas desde las partes altas, transportadas de manera semejante a los fluidos viscosos y depositadas ladera abajo. En la zona de estudio se encontraron dos afloramientos de estos depósitos en la margen derecha de la quebrada aguas abajo, evidenciados por el corte de la vía. También, se encontró una serie de tres depósitos en la margen izquierda del río evidenciados por sus características morfométricas y su aspecto lobular. Los depósitos de vertiente se presentan en la base de las laderas y están en contacto con las terrazas formadas por los depósitos aluviotorrenciales.

En la parte superior de la cuenca los depósitos de vertiente son, en su mayoría, matriz soportados compuestos por clastos angulosos de hasta 8 cm, envueltos en una matriz arenolimsa parda (Figura 9A). En la parte baja de la cuenca los depósitos de vertiente presentan clastos sedimentarios que varían en tamaño hasta los 20 cm, rodeados de una matriz arenosa. Los clastos son más abundantes que la matriz y están en contacto entre sí, lo que indica una textura

clasto-soportada (Figura 9B). Estos depósitos tienen espesores de hasta 3 metros y se caracterizan por presentar poca continuidad horizontal.

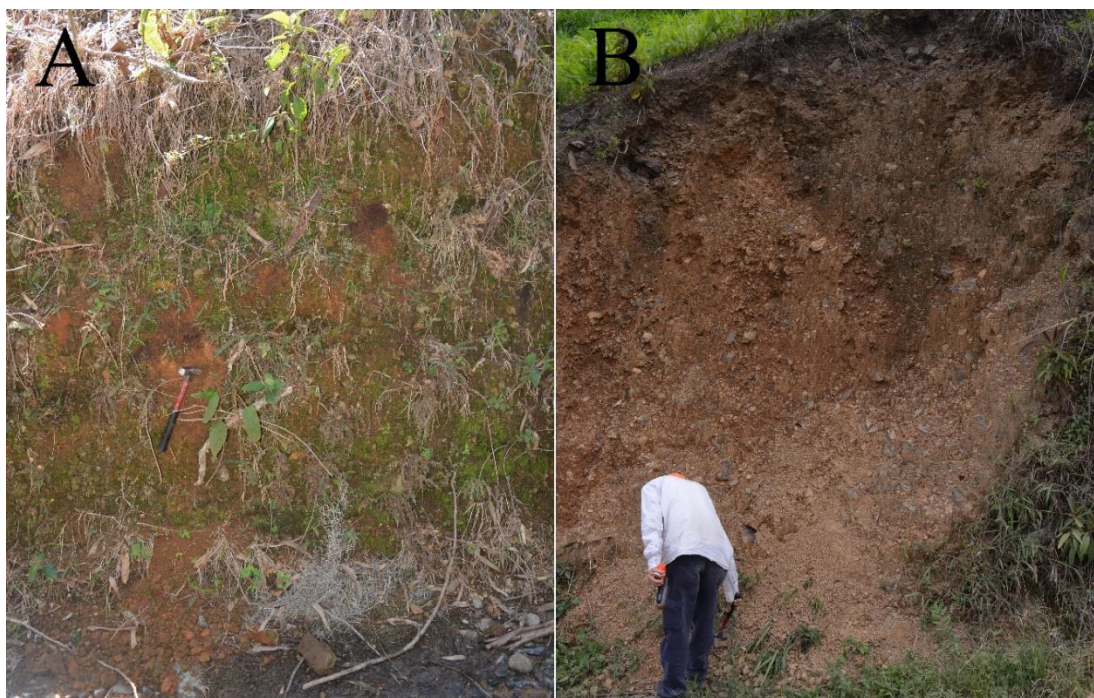


Figura 9. Afloramientos de los depósitos de vertiente. A, deposito con alta meteorización, matriz soportado, ubicado en la parte alta de la cuenca y B, deposito clasto soportado, ubicado en la parte baja de la cuenca

### 8.1.3.2 Depósitos aluviotorrenciales (Qat)

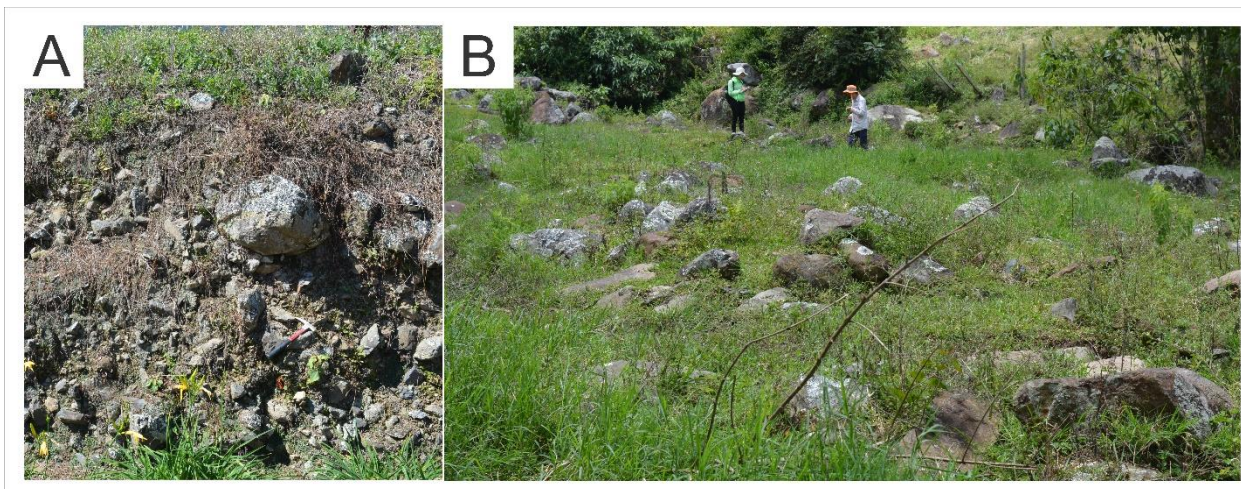
Esta unidad se caracteriza por presentar depósitos caóticos de sedimentos de distintos tamaños, desde finos hasta bloques de roca, con una mayor proporción de sólidos de tamaño grava en una matriz limo-arenosa presente en menor proporción (Figura 10).

Los depósitos torrenciales se encuentran a lo largo de la quebrada en los tramos de la parte media y baja de la vertiente, en estos tramos aflora el miembro Urrao de la Formación Penderisco. En la parte alta donde aflora el cuerpo ígneo no se encontró este tipo de depósitos.

Se observaron varios niveles depositacionales con características que indicaron un origen torrencial, como bloques superficiales que sobresalen de la superficie, con tamaños que varían

desde los 40 cm hasta los 5 m, una inclinación de la superficie de los depósitos muy similar a la del cauce y un contenido granulométrico con predominancia de gravas en una matriz arenosa.

Una descripción más detallada de los depósitos de este tipo se presenta en el Capítulo 12.



*Figura 10.* A, perfil de un deposito aluviotorrencial en la parte alta de la cuenca y B, depósitos aluviotorrenciales al margen derecho de la quebrada Los Monos también en la parte alta de la cuenca

## 8.2 Geología estructural

La geología estructural fue obtenida a partir del mapa geológico de la plancha 165 realizado por Calle y Salinas (1984), un modelo de elevación digital (MDT), fotografías aéreas y datos estructurales tomados en campo.

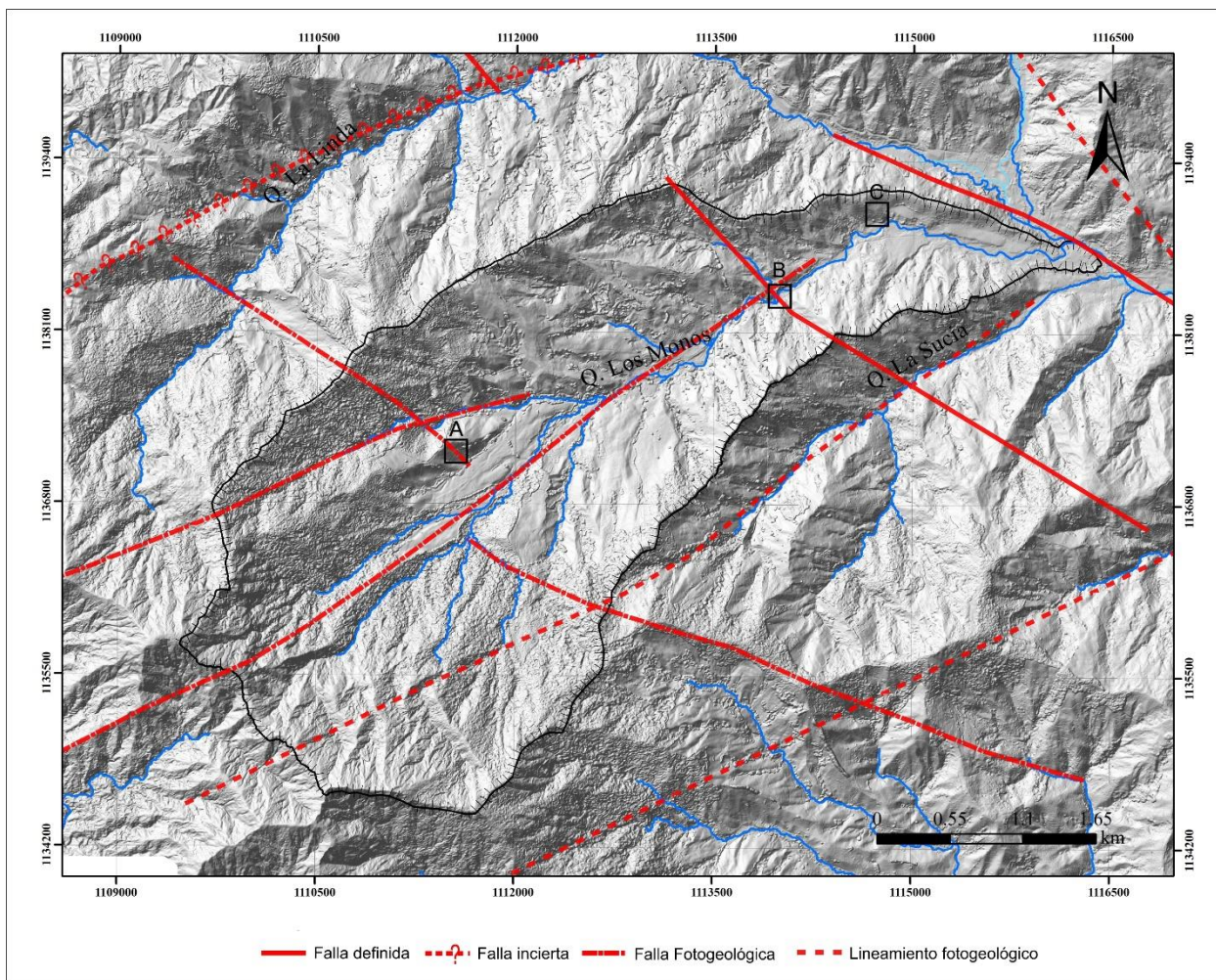


Figura 11. Lineamientos y fallas de la zona de estudio, la línea negra representa el límite de la cuenca

### 8.2.1 Fallas

Calle y Salinas (1984), cartografiaron dos fallas en la zona próxima a la microcuenca de la quebrada La Linda (ubicada al Norte de la quebrada Los Monos). Registraron una falla casi paralela al cauce de la quebrada (aprox. NE-SW) y al Norte de la cuenca registraron la falla La Mansa con una dirección NE-SW, apenas visible en la parte Norte de la Figura 11. También, postulan una falla con dirección NW-SE, cubierta por los depósitos cuaternarios sobre los cuales esta edificado el casco urbano del municipio de Ciudad Bolívar.

Durante la campaña de campo se observaron dos afloramientos de roca, ambos pertenecientes al Miembro Urrao de la Formación Penderisco, estos presentan un alto grado de fracturamiento y

una dirección preferencial de buzamiento hacia el Este. El primer afloramiento ubicado en las coordenadas x: 1'113.591 y: 1'138.631, presenta un fracturamiento más intenso debido a una zona de falla con dirección N10W/60E (Figura 12-B), esta falla coincide con un giro en el drenaje, indicando, probablemente, su continuidad. El segundo afloramiento se encuentra ubicado en las coordenadas x: 1'114.395 y: 1'139.257 presenta un plegamiento (Figura 12-C) con un rumbo que varía, pero con una dirección del buzamiento que permanece casi constante hacia el Este.

Se identificaron cuatro fallas por medio del análisis de fotografías aéreas y el modelo de elevación digital, dos de ellas tienen una orientación preferencial NW – SE, la primera se encuentra en la vertiente Norte de la cuenca y se extiende hasta la quebrada La Linda, en ambas quebradas se puede observar un giro en la dirección del drenaje por donde pasa la falla de 90° (Figura 11), además, en campo se observó un cambio topográfico en una ladera que coincide con el trazo de la falla y probablemente es ocasionado por la misma (Figura 12-A). La segunda falla está ubicada hacia el sur de la cuenca y fue determinada por lineamientos y el cambio en la dirección de dos drenajes, un afluente a la quebrada Los Monos y un afluente del Río Los Farallones. La continuidad de ambas fallas evidencia un posible desplazamiento lateral, indicando posiblemente, que fueron una sola y posteriormente fueron desplazadas por la falla que pasa por el cauce la quebrada.

Las otras dos fallas fotogeológicas tienen una dirección casi NE – SW, paralelas al cauce de la quebrada Los Monos. Estas fallas fueron determinadas por lineamientos y por la presencia de unidades geomorfológicas asociadas a fallas.

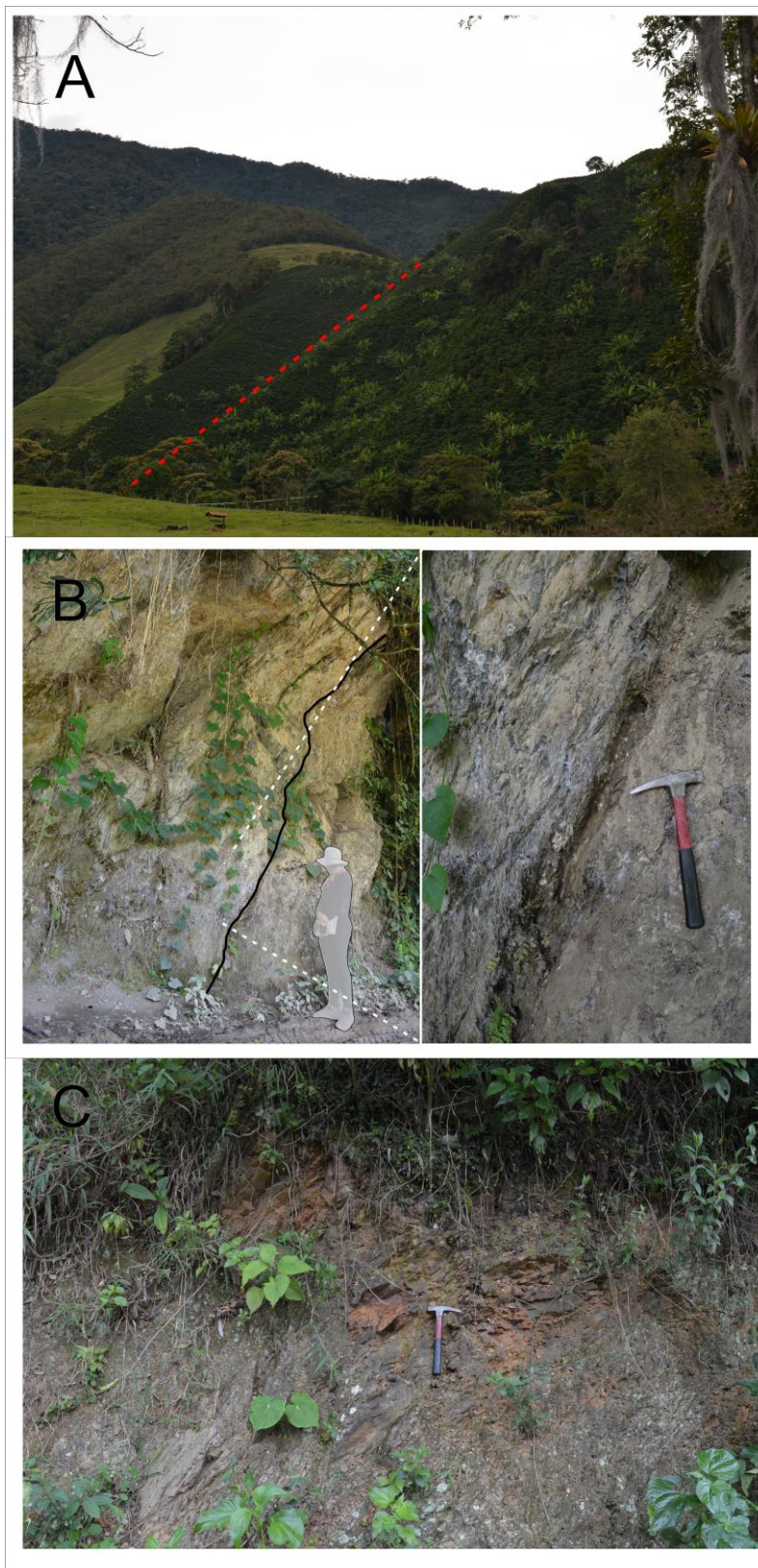


Figura 12. A: Silleta observada en campo, B: Falla en rocas del Miembro Urrao y C. Pliegue en rocas del Miembro Urrao

### **8.2.2 Lineamientos**

Un lineamiento constituye una flexión o rasgo físico mapeable en la superficie terrestre, es de forma lineal, rectilínea o suavemente curvilínea y por lo general reflejan fenómenos estructurales de subsuelo (O'Leary et al. 1976). Los lineamientos observados en la zona de estudio tienen una expresión morfológica importante y una longitud de varios kilómetros, la mayoría coinciden con el curso de los drenajes, indicando un posible control estructural. Calle y Salinas (1984), registraron al suroeste de la cuenca la presencia de un lineamiento por fotografías aéreas con una dirección SW-NE, paralela a la Quebrada Buenavista. Mediante el análisis del modelo de elevación digital y ortofotos se identificó otro lineamiento, también con dirección SW-NE, éste atraviesa la vertiente Sur de la microcuenca Los Monos y se extiende hasta la quebrada La Sucia (Figura 11).

## 9. GEOMORFOLOGÍA DE LA MICROCUENCA

A continuación se explicará la caracterización geomorfológica de la microcuenca de la quebrada Los Monos y se mostrarán los mapas finales, uno con unidades geomorfológicas y otro con las respectivas subunidades geomorfológicas, dicha caracterización se realizó con base en la interpretación de sensores remotos, ortofotos y observaciones de campo.

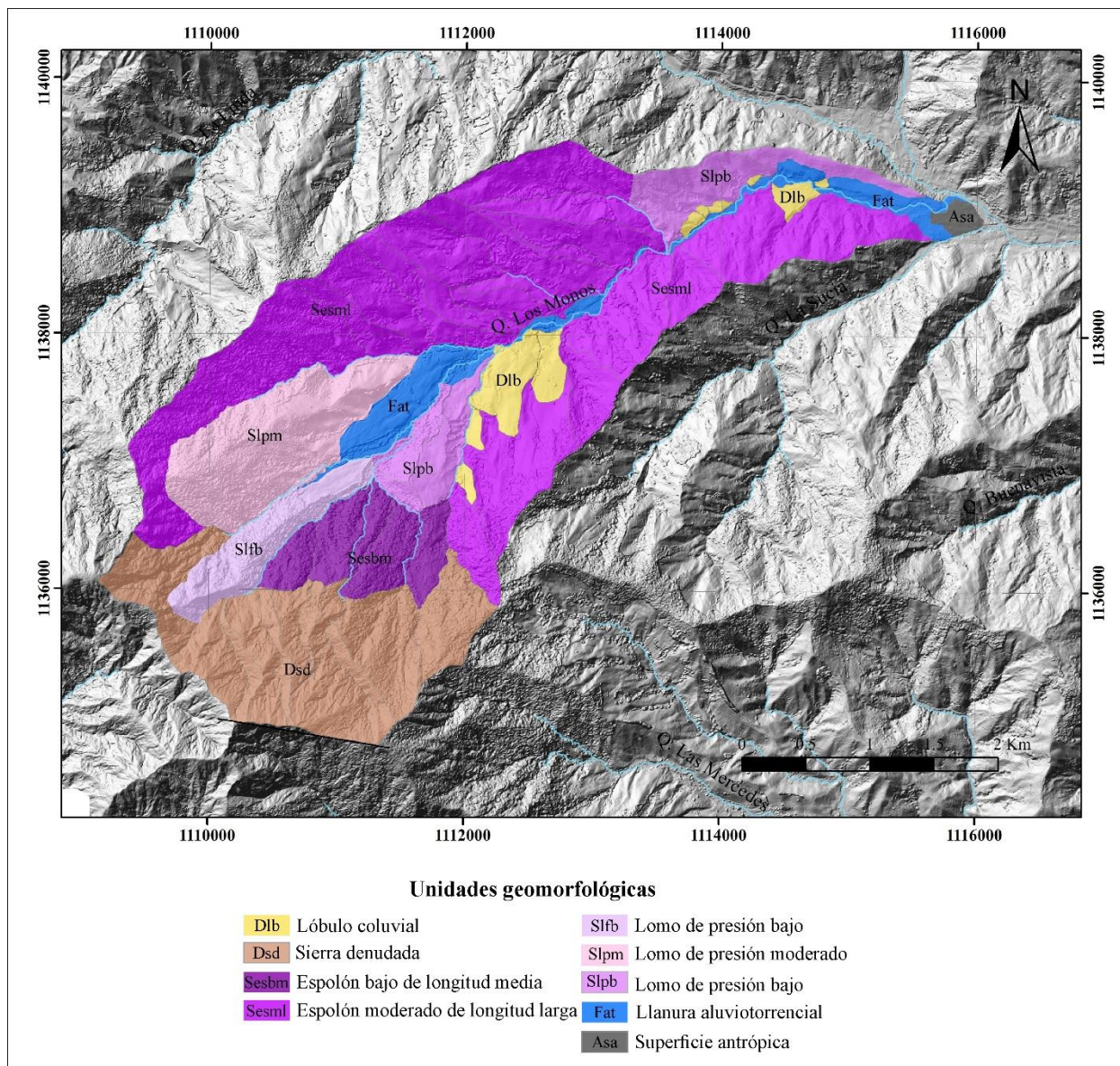
La zona de estudio se caracteriza por tener en la parte alta un relieve predominantemente montañoso con pendientes fuertes, llegando a tener escarpes verticales desarrollados sobre un sustrato rocoso de litología cristalina (Batolito de Farallones). En la parte baja predominan pendientes más suaves desarrolladas principalmente en ambientes denudativos y fluviales, generados sobre rocas metasedimentarias del Miembro Urrao de la Formación Penderisco. En la cuenca se observaron cuatro ambientes geomorfológicos (Figura 14): (1) ambiente denudacional, representado por los lóbulos coluviales encontrados en ambos márgenes del río y por la sierra denudada ubicada en la parte alta de la cuenca; (2) ambiente estructural, caracterizado por ser el ambiente geomorfológico que ha tenido mayor influencia en las geoformas a escala regional, compuesto por un lomo de falla ubicado en la parte superior de la cuenca, espolones y lomos de presión; (3) ambiente fluvial, las geoformas de este ambiente se encontraron adyacentes al cauce de la quebrada y cuentan con una gran extensión a lo largo de la cuenca. Por último se encuentra el (4) ambiente antrópico, ubicado en la parte inferior de la cuenca, representa la zona intervenida por los habitantes del municipio para la construcción y siembra.

### 9.1 Unidades y subunidades geomorfológicas

Teniendo en cuenta los rasgos regionales descritos anteriormente en el capítulo de “Geomorfología regional” se delimitaron las unidades y subunidades geomorfológicas a escala 1:5.000 para toda la cuenca, con base en las definiciones del SGC (2012). Las subunidades

fueron definidas de acuerdo con la longitud de las laderas (corta, media o larga); forma (regular, irregular, cóncava, convexa) y pendiente (plana, muy suave, suave, moderada, fuerte, muy fuerte y escarpada).

A continuación se presenta el mapa de unidades y subunidades geomorfológicas de la cuenca, con su respectiva explicación.



*Figura 13.* Unidades geomorfológicas

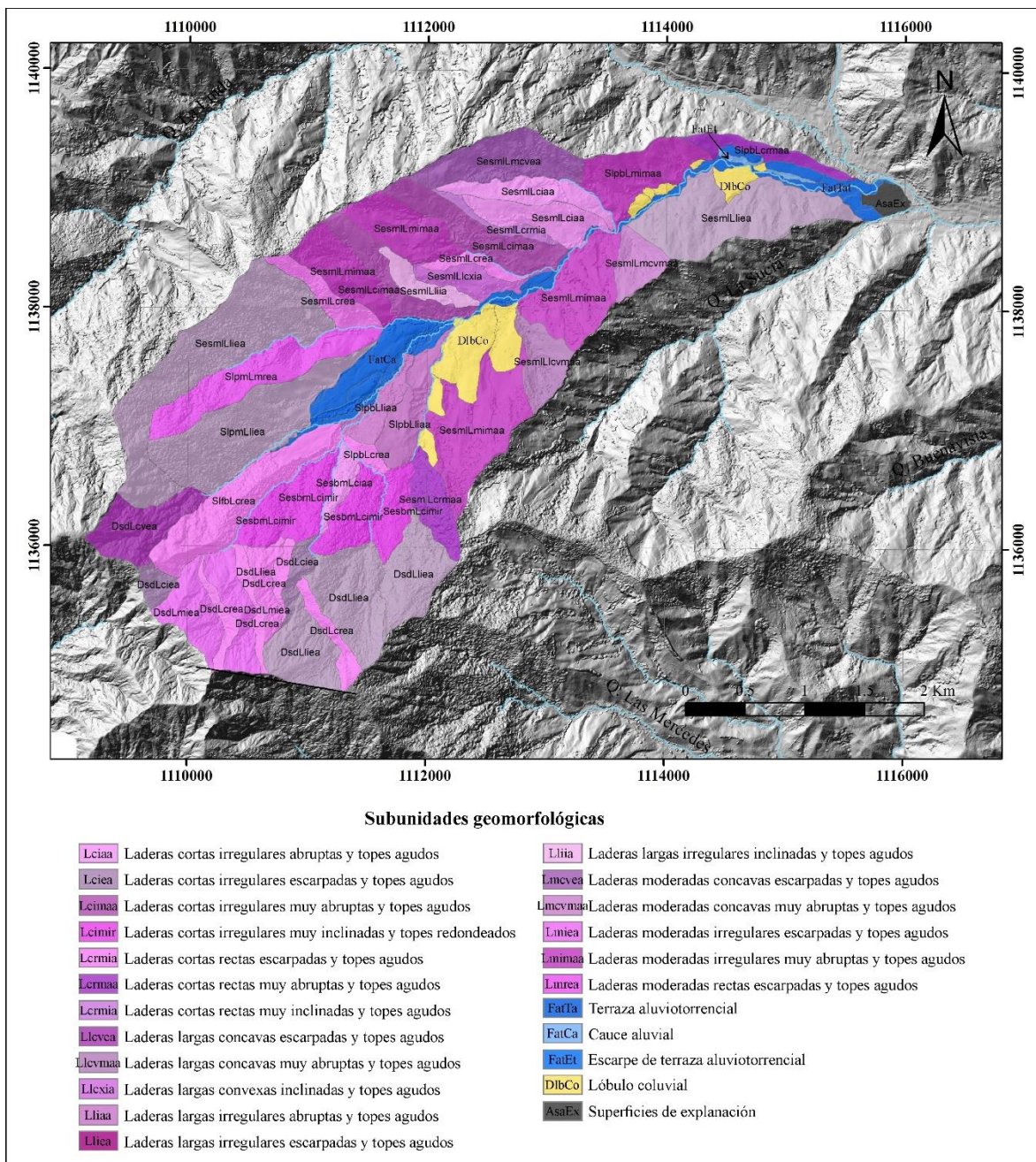


Figura 14. Subunidades geomorfológicas

### 9.1.1 Ambiente denudacional

Es representado por los lóbulos coluviales encontrados en ambos márgenes del río y por la sierra denudada ubicada en la parte alta de la cuenca, explicados a continuación.

#### 9.1.1.1 Lóbulo (Dlb)

Estructura en forma de cono o lóbulo con morfología alomada baja (Figuras 16 y 17). Su origen es relacionado a procesos de transporte y depositación de materiales sobre las laderas y por efecto de procesos hidrogravitacionales en suelos saturados y no saturados. Su depósito está constituido por bloques y fragmentos heterométricos de rocas preexistentes, embebidos en una matriz arcillosa a arena limo arcillosa (SGC, 2012). Los lóbulos coluviales de la cuenca se identificaron por afloramientos expuestos por la carretera y por las características morfométricas (forma, pendiente, entre otros) de los depósitos. Se identificaron ocho lóbulos coluviales a lo largo de la cuenca, la mayoría de ellos presentan procesos de reptación y erosión debido a actividades de agricultura y ganadería.

Tabla 1  
*Subunidad, localización y procesos de la unidad Lóbulo.*

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
		Se identificaron ocho	
Lóbulo	Lóbulo coluvial –DlbCo-	lóbulos coluviales, cuatro en la parte media de la cuenca cerca de la Hacienda Santa Villa Isabel y los otros cuatro en la parte baja de la cuenca.	Se identificaron procesos de reptación y erosión por sobre pastoreo.

Fuente: Elaboración propia.

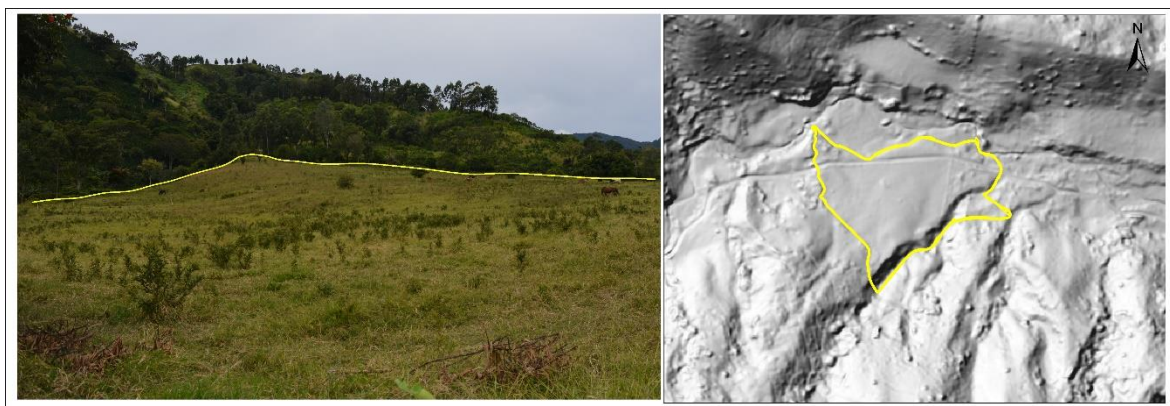


Figura 15. Lóbulo coluvial. La imagen izquierda muestra una vista horizontal, mientras la derecha muestra una vista en planta



Figura 16. Lóbulos coluviales en la margen derecha de la quebrada Los Monos

#### 9.1.1.2 Sierra desnuda (Dsd)

Prominencia topográfica de morfología montañosa y elongada de laderas largas a extremadamente largas, cóncavas a convexas, con pendientes muy inclinadas a abruptas, donde prevalecen procesos de erosión o de movimientos en masa acentuados. Su origen es relacionado a procesos de erosión acentuada en sustratos rocosos ígneos y metamórficos (SGC, 2012). Esta unidad se encuentra en la parte de mayor elevación de la cuenca, alcanzando alturas hasta de

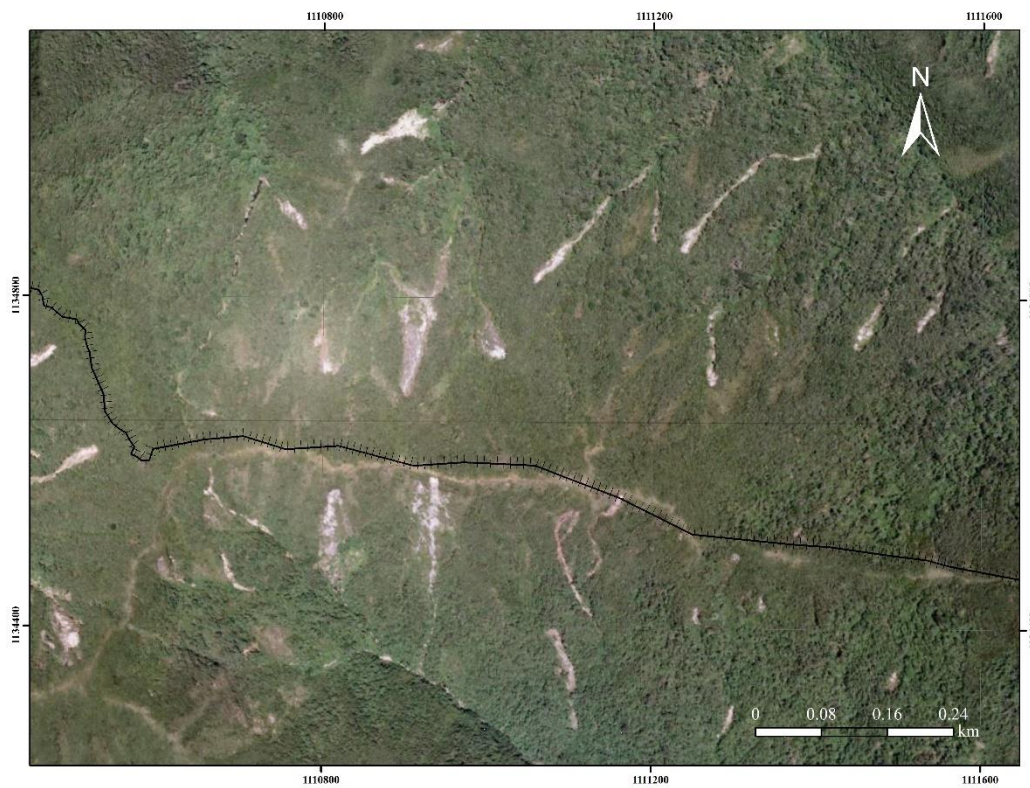
3000 metros. Los procesos erosivos y los movimientos en masa son frecuentes (Figura 18), siendo la unidad con mayor cantidad de movimientos en masa identificados.

Tabla 2

*Subunidades, localización y procesos de la unidad Sierra denudada.*

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
Sierra denudada	Laderas moderadas, irregulares, escarpadas y topes agudos –Lmiea-	Esta unidad se encuentra en la parte más alta de la cuenca a partir de los 2000 m s. n. m.	Por medio de ortofotos se registraron deslizamientos de tipo traslacional y flujos de lodos (Figura 18).
	Laderas largas, irregulares, escarpadas y topes agudos –Lliea-		
	Laderas cortas, rectas, escarpadas y topes agudos –Lcrea-		
	Laderas cortas, irregulares, escarpadas y topes agudos –Lciea-		

Fuente: Elaboración propia.



*Figura 17.* Vista en planta de la unidad geomorfológica Sierra, la cuenca de la quebrada Los Monos se encuentra al Norte de la línea negra



*Figura 18.* Laderas de la unidad geomorfológica Sierra desnuda

### 9.1.2 Ambiente estructural

Ambiente geomorfológico con mayor extensión en la cuenca, caracterizado por ser el ambiente geomorfológico que ha tenido mayor influencia en las geoformas a escala regional, compuesto por un lomo de falla ubicado en la parte superior de la cuenca, espolones y lomos de presión, explicados a continuación.

#### 9.1.2.1 Espolón moderado de longitud larga (*Sesml*):

Saliente de morfología alomada, dispuesta perpendicularmente a la tendencia estructural general de la región, desarrollados sobre rocas ígneas, metamórficas o sedimentarias y limitado por drenajes paralelos a subparalelos. Con laderas de longitudes variables, con pendientes abruptas a inclinadas generadas por intensos procesos denudativos. La particularidad de esta unidad radica en que su relieve relativo está entre 250 m y 1000 m y la longitud del eje principal del espolón es mayor que 1000 m (SGC, 2012). En la zona de estudio se registraron dos espolones moderados de longitud larga, la posición de los espolones es casi perpendicular a la falla principal de la zona, Falla La Mansa y ambos están compuestos de roca meta-sedimentaria del Miembro Urrao de la Formación Penderisco. De Sur a Norte los espolones tienen una altura relativa de 300 y 400 m y un eje principal de 6000 y 7300 m, respectivamente (Figura 19).

Tabla 3

*Subunidad, localización y procesos de la unidad Espolón moderado de longitud larga.*

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
Espolón moderado	Laderas moderadas, irregulares, muy abruptas y topes agudos – Lmimaa-	En la zona se encontraron dos espolones, estos	Por medio de ortofotos se registraron en el

de longitud	Laderas moderadas, cóncavas,	representan, la	espolón del
larga	muy abruptas y topes agudos – Lmcvmaa-	unidad	Norte 13
	Laderas moderadas, cóncavas, escarpadas y topes agudos – Lmcvea-	geomorfológica con mayor área y se encuentran ubicados hacia el occidente de	movimientos en masa y una huella de un deslizamiento.
	Laderas largas, irregulares, inclinadas y topes agudos –Lliia-	Ciudad Bolívar.	Entre ellos se encuentra el
	Laderas largas, irregulares, escarpadas y topes agudos –Lliea-		deslizamiento de mayor área, aprox. 8900m <sup>2</sup> .
	Laderas largas, convexas, irregulares y topes agudos –Llcxia-		
	Laderas largas, concavas, muy abruptas y topes agudos –Llcvmaa-		
	Laderas corta, recta, muy inclinada y topes agudos –Lcrmia-		
	Laderas corta, recta, muy abrupta y topes agudos –Lcrmaa-		
	Laderas corta, recta, escarpada y topes agudos –Lcrea-		
	Laderas corta, irregular, muy abrupta y topes agudos –Lcima-		

---

Ladera corta, irregular, abrupta  
y topes agudos –Lciaa-

Fuente: Elaboración propia.

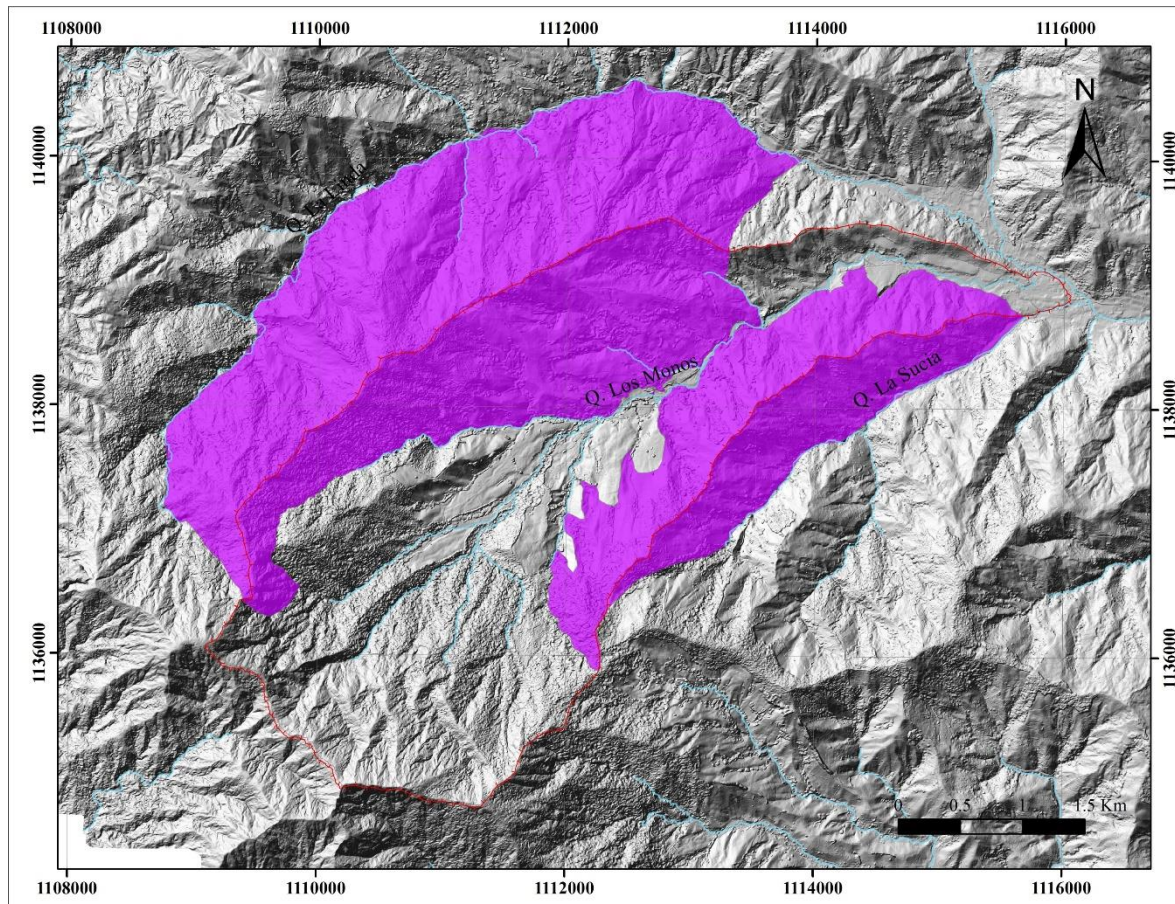


Figura 19. Espolones moderados de longitud larga. La línea roja representa el límite de la cuenca de la quebrada Los Monos



Figura 20. Panorámica donde se observa el espolón moderado de longitud larga del Norte (Sesml) y el lomo de presión bajo (Slpb)

#### 9.1.2.2 *Espolón bajo de longitud media (Sesbm)*

La descripción de esta unida es igual a la anterior, con la particularidad de que cuenta con un relieve relativo menor a 250 m y la longitud del eje principal del espolón varía entre 250 m y 1000 m (SGC, 2012). En la cuenca se observaron cinco espolones bajos de longitud media (Figura 22) evidenciados por el drenaje sub-paralelo y la morfología alomada. Al igual que por estar en una posición perpendicular a una falla fotogeológica de dirección preferencial SE-NW.

Tabla 4

*Subunidad, localización y procesos de la unidad Espolón bajo de longitud media.*

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
Espolón bajo de	Laderas cortas, irregulares, abruptas y topes agudos – Lciaa-	Esta unidad se encuentra en la parte alta de la cuenca.	Debido a la alta vegetación de la unidad, no se identificaron

longitud      Laderas cortas, irregulares,      procesos  
 media      muy inclinadas y topes      morfodinámicos.  
                  redondeados –Lcimir-

Fuente: Elaboración propia.

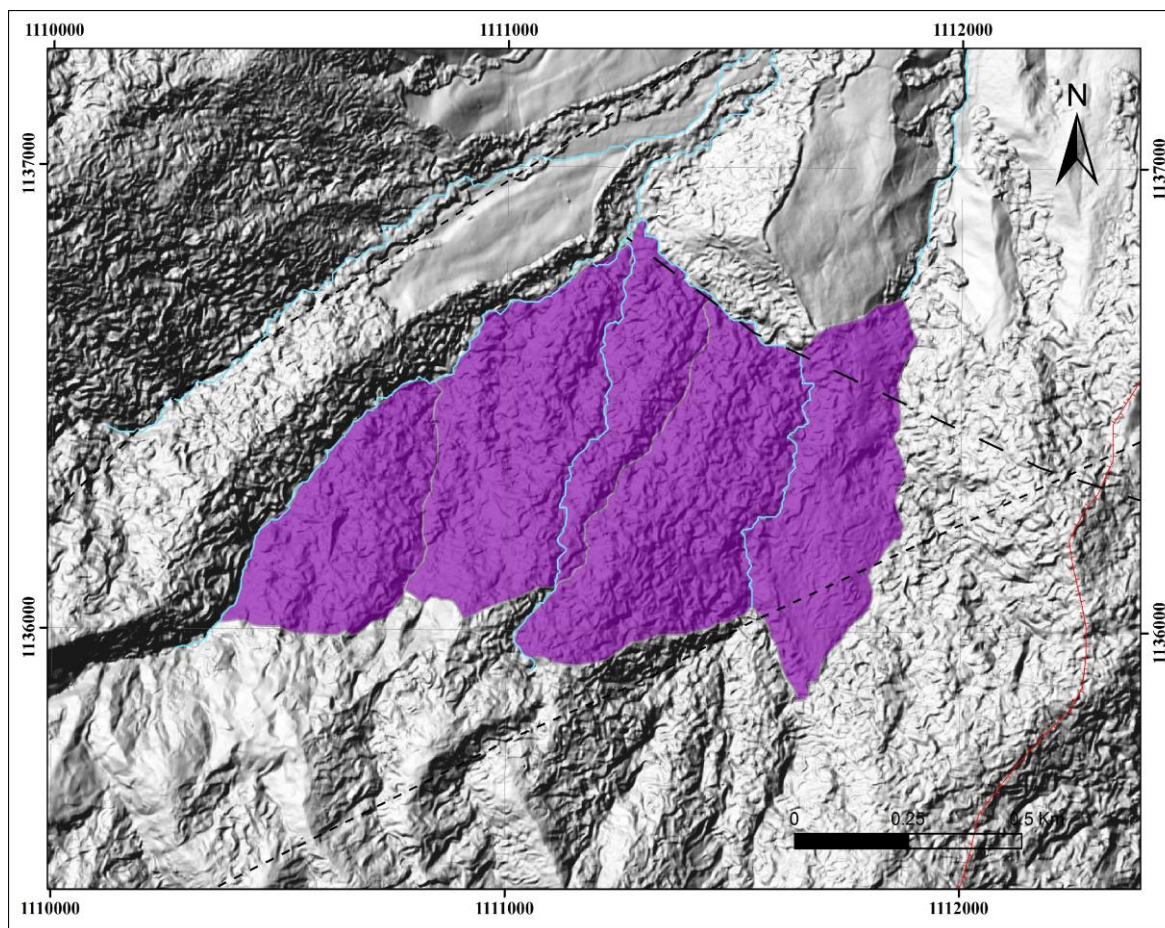


Figura 21. Espolones bajos de longitud media, la línea punteada más hacia el Norte representa una falla fotogeológica y la línea más hacia el Sur un lineamiento

### 9.1.2.3 Lomo de presión moderado (Slpm)

Prominencia topográfica alomada a elongada, localmente curva, asociada a zonas compresivas. Su origen es relacionado al truncamiento y desplazamiento vertical o lateral por procesos de fallamiento intenso. Esta unidad se caracteriza por tener un relieve relativo entre a 250 y 1000 metros (SGC, 2012). En la cuenca se identificó un lomo de presión moderado con un relieve relativo aproximado de 250 metros, sus subunidades se muestran a continuación.

Tabla 5  
*Subunidad, localización y procesos de la unidad Lomo de presión moderado*

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
Lomo de presión moderado	Laderas moderadas, rectas, escarpadas y topes agudos –Lmrea- Laderas largas, irregulares, escarpadas y topes agudos –Lliea-	Esta unidad se encuentra en la parte alta de la cuenca.	Se identificaron movimientos en masa, la mayoría de ellos flujos de lodos.

Fuente: Elaboración propia.

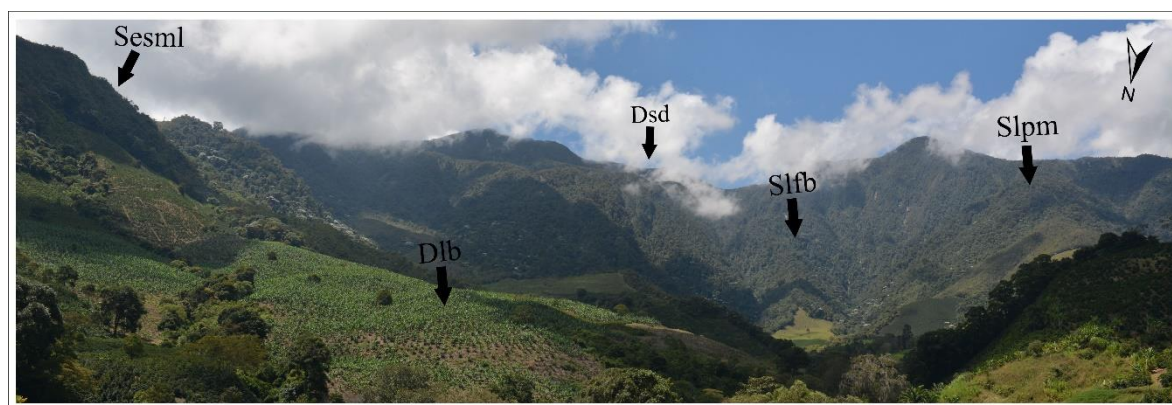


Figura 22. Panorámica donde se puede observar las unidades geomorfológica: Espolón moderado largo (Sesml), lomo de presión moderado (Slpm), lomo de falla bajo (Slfb), la sierra denudada (Dsd) y el lóbulo coluvial (Dlb)

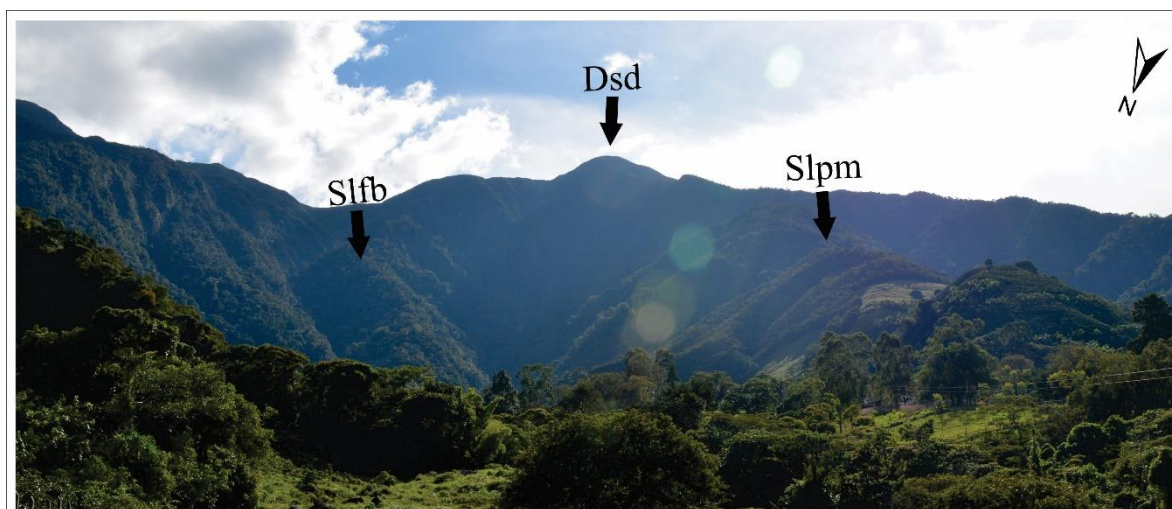


Figura 23. Panorámica donde se puede observar la sierra denudada (Dsd), el lomo de presión medio (Slpm) y el lomo de falla bajo (Slfb)

#### 9.1.2.4 Lomo de presión bajo (Slpb)

Prominencia topográfica alomada a elongada, localmente curva, asociada a zonas compresivas. Su origen es relacionado al truncamiento y desplazamiento vertical o lateral por procesos de fallamiento intenso. Esta unidad se caracteriza por tener un relieve relativo menor a 250 metros (SGC, 2012). En la cuenca se diferenciaron dos lomos de presión bajos evidenciados por sus propiedades morfométricas y por estar adyacentes a una falla. Desde la parte alta hasta la parte baja de la cuenca (Oeste a Este) los lomos de falla bajos tienen un relieve relativo aproximado de 80 y 110 m, respectivamente (Figura 14).

Tabla 6

*Subunidad, localización y procesos de la unidad Lomo de presión bajo*

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
Lomo de presión bajo	Laderas cortas, rectas, muy abruptas y topes agudas –Lcrmaa-	Un lomo se encuentra en la parte alta de la cuenca adyacente a una falla fotogeológica y el otro se	Se registraron procesos de sobrepastoreo en el lomo ubicado en la parte baja de la cuenca, en el otro lomo no

Laderas encuentra en la parte baja fue posible identificar moderadas, adyacente a una falla que ningún procesos debido a la irregulares, muy podría ser la continuidad alta vegetación. abruptas y topes de la Falla La Mansa. agudos –Lmimaa-

Fuente: Elaboración propia.



Figura 24. Fotografía donde se puede observar la sierra denudada (Dsd) y el lomo de presión bajo (Slpb)  
**9.1.2.5 Lomo de falla bajo (Slfb)**

Prominencia topográfica de morfología alomada, con laderas cortas a muy cortas, forma convexa y pendiente abrupta a escarpada, localizados a lo largo de una falla de rumbo y formados por el efecto combinado del desplazamiento lateral y la geometría del plano de falla que determina la expulsión de un bloque de terreno. Se caracteriza por su alto fracturamiento y estructuras de tipo flor positiva (SGC, 2012). En la cuenca se analizó un lomo de falla bajo con un relieve relativo aproximado de 90 m.

Tabla 7  
*Subunidad, localización y procesos de la unidad Lomo de falla bajo*

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
Lomo de falla bajo	Laderas rectas, escarpadas y topes agudos –Lcrea-	El lomo de falla se encuentra localizado en la parte alta de la cuenca.	Por medio de ortofotos se registraron deslizamientos de masa de tipo translacional.

Fuente: Elaboración propia.

### 9.1.3 Ambiente fluvial

Este ambiente geomorfológico está compuesto por la unidad Llanura aluviotorrencial, que a su vez se divide en las subunidades Cauce y Terraza aluviotorrencial.

#### 9.1.3.1 Llanura aluviotorrencial (*Fat*)

Superficie de morfología plana, baja a ondulada, eventualmente inundable. Se localiza bordeando los cauces fluviales, donde es limitado localmente por escarpes de terraza. En regiones montañosas, donde las corrientes fluviales tienden a unirse con sus tributarios para formar el cauce principal, en red de drenaje de tipo subparalelo de mediana densidad, se presentan como superficies estrechas, alargadas y profundas (SGC, 2012). Esta unidad es dividida en las siguientes subunidades geomorfológicas:

Tabla 8  
*Subunidad, localización y procesos de la unidad Llanura aluviotorrencial.*

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
Llanura aluviotorrencial	Cauce aluvial -Ca- Terraza aluviotorrencial - Tat-	Esta unidad se encuentra a lo largo de toda la cuenca	

Fuente: Elaboración propia.



*Figura 25.* Cauce y terrazas aluviotorrenciales, diferenciadas por la línea punteada negra

#### **9.1.4 Ambiente antropogénico**

Ubicado en la parte inferior de la cuenca, representa la zona intervenida por los habitantes del municipio para la construcción y siembra. Está compuesto por la unidad geomorfológica Superficie antrópica, explicada a continuación.

##### ***9.1.4.1 Superficie antrópica (Asa)***

Planos de allanamiento hecho en laderas de sustrato rocoso y/o materiales inconsolidados con el fin de adecuar el terreno para la construcción o con fines de estabilización de laderas, mediante la explanación o terraceos que disminuyen la pendiente del terreno (SGC, 2012). Las superficies de explanación están ubicadas en la parte inferior de la cuenca y se han utilizado para cultivos y construcción de viviendas. En la Figura 26 se observa un lleno antrópico que realizaron sobre el cono de deyección generado por la quebrada Los Monos.

Tabla 9  
*Subunidad, localización y procesos de la unidad Superficie antrópica*

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
Superficie antrópica	Superficies de explanación –AsaEx-	Esta unidad se encuentra en la parte baja de la cuenca.	Se identificaron procesos de erosión.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 26. Superficie de explanación adyacente a la quebrada Los Monos, ubicada en la parte baja de la cuenca

## 10. PROCESOS MORFODINÁMICOS

Los procesos morfodinámicos corresponden a una serie de acciones sucesivas y/o simultáneas y sinérgicas a través de las cuales los agentes morfogenéticos, principalmente los externos, son capaces de modelar las formas de la superficie terrestre. En la cuenca se llevó a cabo un análisis de los procesos morfodinámicos utilizando sensores remotos como imágenes satelitales y ortofotos, además de observaciones de campo. Los procesos morfodinámicos fueron separados en dos grupos principales, movimientos en masa y procesos erosivos. El resultado final es un inventario de los procesos morfodinámicos de la cuenca con su respectiva distribución espacial.

### 10.1 Movimientos en masa

El término movimientos en masa incluye todos aquellos movimientos ladera abajo o de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad. La mayoría de las clasificaciones de movimientos en masa se basan en el tipo de materiales, los mecanismos de movimiento, el grado de deformación del material y el grado de saturación (PMA: GCA, 2007).

#### 10.1.1 Deslizamientos

Se cartografiaron 67 deslizamientos, de los cuales solo uno es de tipo rotacional, los 66 restantes son de tipo traslacional. El deslizamiento de tipo rotacional se encuentra en la parte media de la cuenca, generado sobre suelos residuales del Miembro Urrao de la Formación Penderisco, es el deslizamiento con mayor área, aproximadamente 8900m<sup>2</sup> (Figura 27). Los deslizamientos traslacionales se dan en la parte alta de la cuenca donde el perfil del suelo es escaso y las laderas tienen pendientes casi verticales. Las imágenes satelitales y observaciones en campo permiten comprobar la existencia de áreas desprovistas de vegetación que representan cicatrices de desprendimiento de material (Figuras 28 y 29).



*Figura 27.* Deslizamiento rotacional activo ubicado en la margen izquierda de la quebrada, tiene un área de aprox. 8900m<sup>2</sup>



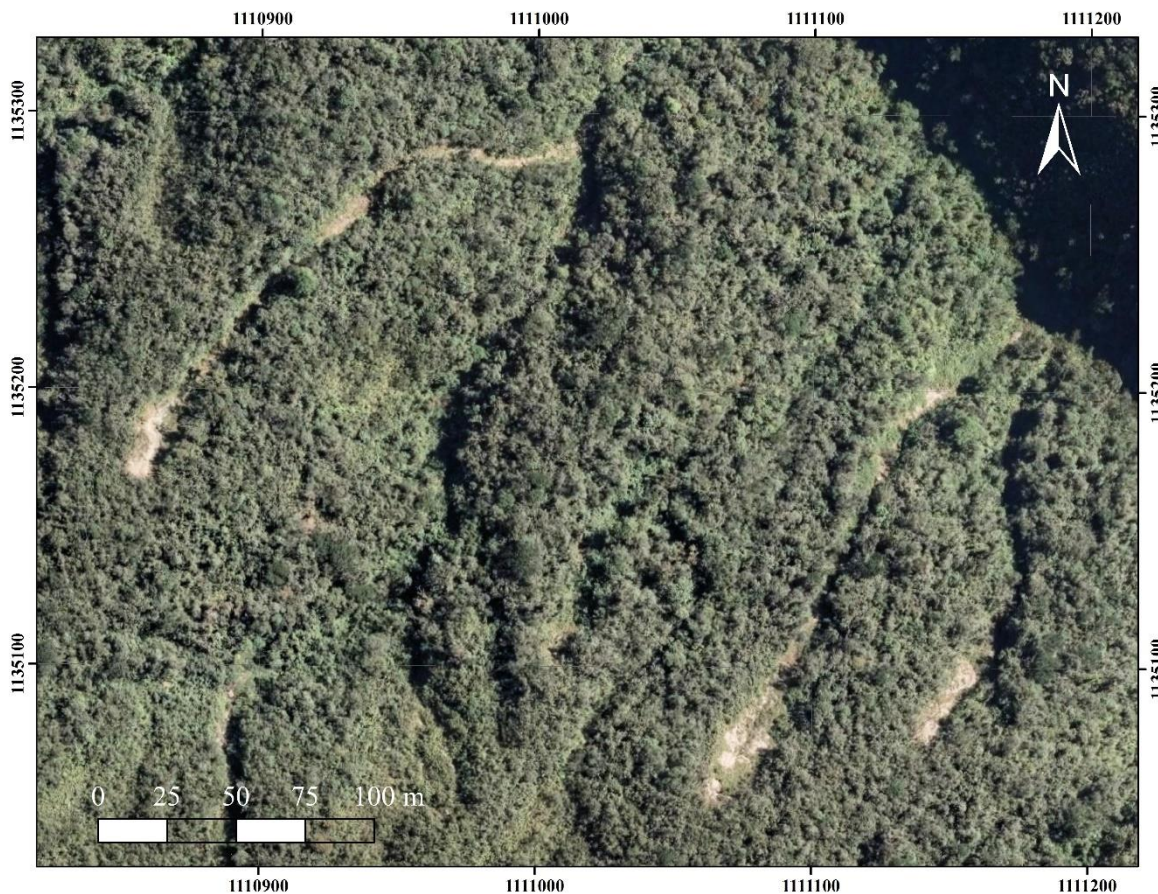
*Figura 28.* Huellas de arranque de roca en medio de la vegetación



*Figura 29.* Deslizamiento traslacional ubicado en la parte alta de la cuenca, tiene un área de 1728 m<sup>2</sup>

### 10.1.2 Flujos

Los flujos se presentan en menor cantidad que los deslizamientos, se cartografiaron 13 en total. Son evidenciados por áreas desprovistas de vegetación con forma alargada y se observa que siguen el curso de los cauces tributarios. Se localizan en la parte alta de la cuenca y la mayoría empiezan como un deslizamiento traslacional (Figura 30).



*Figura 30.* Flujos de tierra ubicados en la parte alta de la cuenca

## 10.2 Procesos erosivos

Los procesos erosivos son generados por influencia hídrica o por acciones derivadas de la actividad humana. En la microcuenca se observó erosión hídrica, específicamente, socavación lateral, generada por la acción erosiva de la quebrada (Figura 31). También se encontraron terracetos, causadas por el ganado al seguir las curvas de nivel y formando un modelo erosivo trapezoidal. La erosión por terracetos fue observada en su mayoría en las laderas de la parte media y baja de la cuenca donde las laderas tienen menor pendiente y son más aptas para la agricultura y la ganadería, principales actividades de uso del suelo en la zona (Figura 32).



*Figura 31.* Socavación lateral generada por la quebrada, parte baja de la cuenca



*Figura 32.* Erosión en terracetos ocasionado por sobrepastoreo, parte media de la cuenca.

## **11. ANÁLISIS MORFOMÉTRICO**

El objetivo de la morfometría es establecer relaciones cuantitativas entre los procesos geomorfológicos y las geoformas (Bloom, 1991). La morfometría describe y analiza cuantitativamente las características físicas del terreno, permitiendo, en el caso de las cuencas hidrográficas observar la interacción del régimen hídrico y geológico. Estos son unos de los factores que determinan la evolución de la cuenca y configuran los escenarios de amenaza por torrencialidad.

### **11.1 Características relativas a la forma de la cuenca**

#### **11.1.1 Área de la cuenca (A)**

Es el área comprendida desde la línea divisoria de aguas hasta la desembocadura, se considera como el área que contribuye con la escorrentía superficial (Evert, 2010). El área de la cuenca es de 13.98 km<sup>2</sup> (1398 ha), obtenido por el software ArcGis. La cuenca de la quebrada los monos se clasifico como microcuenca, ya que según la clasificación de rangos de áreas realizada por el Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Suelos (CIDIAT-MARNR) las cuencas con un área menor a 10.000 ha se consideran como Microcuencas (Aguirre, 2007).

#### **11.1.2 Perímetro (P)**

Es la longitud de la línea divisoria de aguas, proyectada en un plano horizontal. La cuenca tiene un perímetro de 19.46 km, obtenido por el software ArcGis.

#### **11.1.3 Longitud de la cuenca (Lc)**

Distancia horizontal recta entre la proyección del nacimiento del cauce principal a un punto aguas abajo (desemboque) (Pérez, 2002). La longitud obtenida para la cuenca es de 7.10 km.

#### 11.1.4 Parámetros de forma de la cuenca

Estos parámetros permiten cuantificar las características de la cuenca por medio de índices o coeficientes, los cuales relacionan el movimiento del agua y las respuestas de la cuenca a tal movimiento (Guerrero).

##### 11.1.4.1 Índice de Gravelius o coeficiente de Compacidad ( $k_c$ )

Es la relación entre el Perímetro (P) y la longitud de una circunferencia de un círculo de área (A) igual a la de la cuenca, ambos en  $\text{km}^2$  (Pérez, 2002).

$$K_c = 0.282 P / (\sqrt{A})$$

Si  $K_c$  tiene un valor comprendido entre 1 y 1.25 la cuenca tiene una forma casi redonda a oval-redonda, si  $K_c$  está comprendido entre 1.25 a 1.50 la cuenca es oval redonda a oval-oblonga, si  $K_c$  está entre 1.50 y 1.75 tiene una forma oval oblonga a rectangular oblonga (Pérez, 2002).

El valor  $K_c$  para la cuenca es de 1.46, lo que indica que la cuenca tiende a ser oval redonda a oval oblonga. Pérez (2002), afirma que las cuencas circulares tienen una mayor posibilidad de generar avenidas torrenciales, para el caso de la microcuenca Los Monos el valor de  $K_c$  indica una probabilidad para generar avenidas torrenciales baja.

##### 11.1.4.2 Relación de elongación ( $Re$ )

Esta relación fue definida por S. A. Schumm como la relación entre el diámetro (D) de un círculo que tiene la misma área de la cuenca (A) y la longitud máxima de la cuenca ( $L_c$ ) (Díaz et al., 1999).

$$Re = D/L_c = 1.128 \sqrt{A}/L_c$$

Se ha encontrado que  $Re$  está fuertemente relacionado con el relieve, regiones con bajo relieve presentan valores de  $0.6 < Re < 0.1$ , mientras que regiones con alto relieve y pendientes

fuertes presentan valores de  $Re \leq 0.4$  y regiones con relieve moderado presentan valores de  $Re$  entre 0.4 a 0.6, en algunos casos se han presentado en regiones con alto relieve y pendiente fuerte valores de  $Re$  entre 0.6 a 0.8 (Pérez, 2002).

El valor  $Re$  de la cuenca es de 0.59 indicando un relieve moderado.

#### **11.1.4.3 Factor de Forma ( $K_f$ )**

Es la relación entre el área de la cuenca,  $A$  ( $\text{km}^2$ ) y el cuadrado de la longitud de la cuenca,  $L$  ( $\text{km}$ ), el valor resultante solo da una idea de que tan cerca o lejos se ésta de la forma del círculo, cuyo valor  $K_f = 0.79$  (Pérez, 2002).

$$K_f = A/L^2$$

Esta relación da una idea de que tan alargada puede ser la cuenca. Una cuenca con un factor de forma bajo está menos sujeta a crecientes que una de la misma área y mayor factor de forma (Pérez, 2002). El factor de forma de la cuenca de la Quebrada Los Monos es de 0.27, lo que indica desde la morfometría, que es una cuenca alargada y con baja tendencia a generar avenidas torrenciales.

## **11.2 Características relativas al relieve**

### **11.2.1 Pendiente promedio de la cuenca**

Este parámetro fue hallado utilizando dos métodos, el primero utiliza la diferencia total de la elevación (diferencia entre el punto más alto y más bajo de la cuenca),  $\Delta h$  ( $\text{km}$ ) y la longitud de la cuenca,  $L_c$  ( $\text{km}$ ).

$$S_c = \Delta h/L_c,$$

Con esta ecuación se obtuvo una pendiente promedio de 26.61 % para la cuenca, este resultado es más representativo al momento de utilizar ecuaciones para calcular la escorrentía superficial y el tiempo de concentración.

Por medio del Software ArcGis también se calculó la pendiente promedio de la superficie de la cuenca, este método consiste en la generación de una matriz de celdas o píxeles con un valor de altura, posteriormente, el Software calcula la tasa máxima de cambio del valor de cada celda a sus vecinas, permitiendo conocer el promedio de la pendiente de toda la superficie de la cuenca. El resultado arrojado por ArcGis fue de una pendiente promedio de 87.67 %, este resultado indica que la mayoría de las laderas en la microcuenca tienen una pendiente “muy fuerte”.

### **11.2.2 Pendiente del cauce principal**

La pendiente media puede calcularse utilizando la siguiente fórmula, donde  $\Delta h$  (km) es la diferencia total de la elevación del cauce y  $L$  (km) es la longitud (Pérez, 2002).

$$S = \Delta h / L,$$

La pendiente del cauce principal de la cuenca de la quebrada Los Monos es de 14.10 %, esto indica que la quebrada tiene una pendiente relativamente suave.

### **11.2.3 Altura media del relieve**

La altura media de la cuenca es la elevación promedio del relieve referida al nivel del mar, esta fue calculada utilizando el software Arcgis arrojando un valor de 1671 m s. n. m.

### **11.2.4 Perfil longitudinal**

El perfil longitudinal de la Quebrada Los Monos puede dividirse en una parte alta, media y baja (Figura 33). La parte alta va desde el nacimiento de la quebrada hasta los 1900 m s.n.m., se diferencia por presentar un gradiente de pendiente promedio de 47.4 %, en este tramo la quebrada presenta una litología ígnea y vegetación boscosa primaria, los depósitos torrenciales son escasos y en algunos tramos de la quebrada se observa evidencia de flujos de tierra que se encaminan a tributarios de la quebrada. La parte media empieza donde acaba la parte alta y continúa hasta aproximadamente los 1450 m s.n.m. con un gradiente de pendiente promedio de

11.11 %, en este tramo la litología cambia a rocas metasedimentarias del miembro Urrao de la Formación Penderisco; la vegetación es principalmente secundaria, compuesta en su mayoría por cultivos de café y potreros para pastoreo, en este tramo se encuentran abundantes depósitos torrenciales que fueron separados en dos sectores, uno “alto” y uno “medio”. La parte baja de la cuenca tiene un relieve más bajo, elevaciones entre los 1450 a 1200 m s. n. m. y una pendiente promedio de 6.81 %. En esta parte baja se encuentra el sector torrencial “bajo”, que se caracteriza por tener un valle más amplio que los sectores superiores y abundantes depósitos torrenciales.

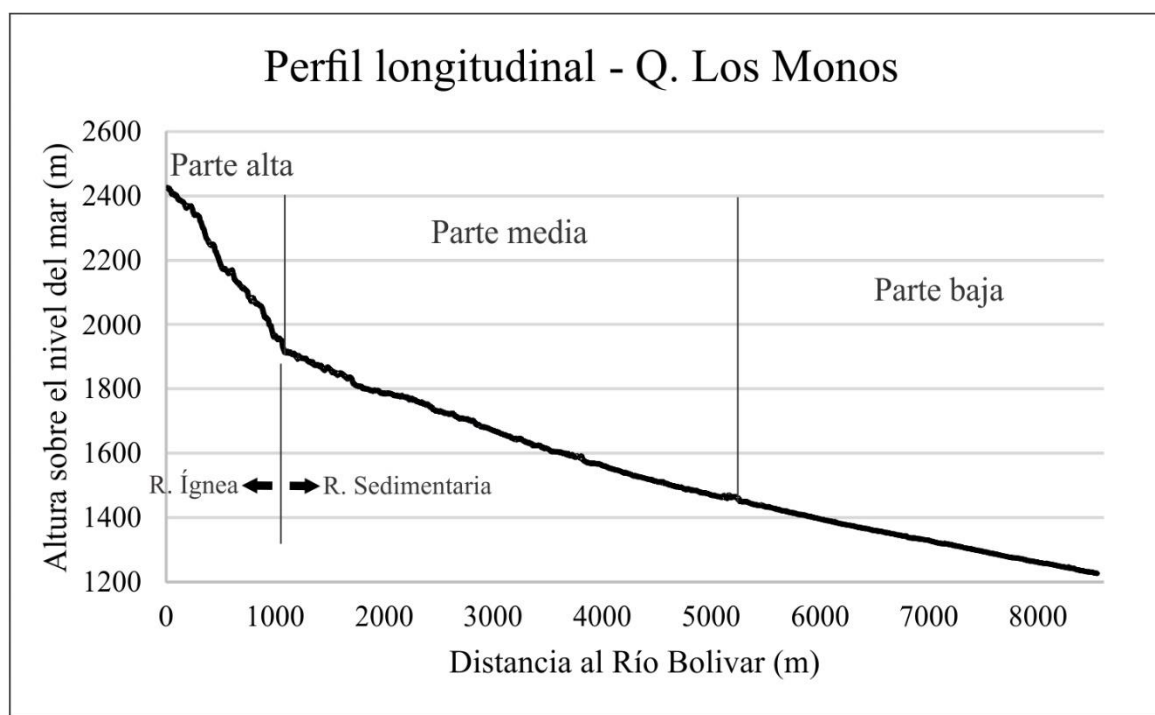


Figura 33. Perfil longitudinal de la Quebrada Los Monos

### 11.2.5 Mapa de pendientes de la cuenca

La pendiente se define como el ángulo existente entre la superficie del terreno y la horizontal, su valor es expresado en grados o en porcentaje. Esta variable se relaciona con los movimientos en masa, de manera que a mayor inclinación mayor es la susceptibilidad a los movimientos en masa (SGC, 2013). Se ha demostrado que los movimientos en masa son unos de los principales

detonantes de las avenidas torrenciales, por esto, es importante analizar este parámetro en la cuenca.

En la microcuenca de la quebrada Los Monos esta variable muestra un predominio de pendientes “escarpadas” y “muy fuertes” con aproximadamente un 64 % del área total entre ambas, seguidas por pendientes “fuertes” y “moderadas” con el 27 % del área total de la cuenca. Por último, las pendientes “suaves”, “muy suaves” y “planas” que constituyen principalmente las zonas adyacentes al cauce de la quebrada obtuvieron el menor porcentaje de área en la cuenca, con un 9% del área total entre todas.

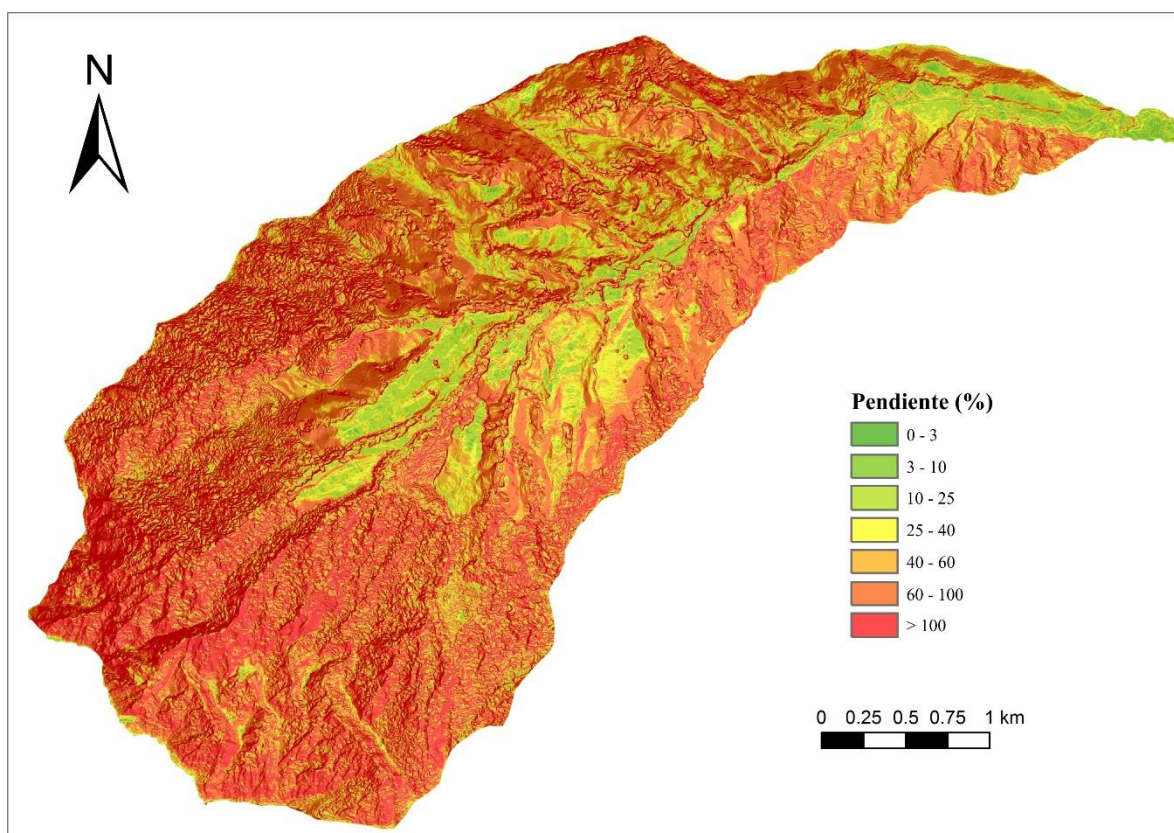


Figura 34. Mapa de pendientes en porcentaje

Tabla 10  
*Descripción del atributo pendiente*

Intervalos de pendiente (%)	Descripción	Área total (km <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
0 – 3	Plano	0.014596	0.10
3 – 10	Muy suave	0.199812	1.43
10 – 25	Suave	1.109168	7.93
25 – 40	Moderado	1.490124	10.65
40 – 60	Fuerte	2.245916	16.06
60 – 100	Muy fuerte	4.685124	33.49
>100	Escarpado	4.243768	30.34

Fuente: Elaboración propia.

### 11.3 Características relativas a la red de drenaje

#### 11.3.1 Orden de la red Hídrica

Horton (1945), sugirió la clasificación de cauces de acuerdo al grado de ramificación o bifurcación de un río dentro de una cuenca. Los tributario de las corrientes que se originan por flujo superficial o subterráneo sin recibir ningún tributario permanente, son llamados corrientes de primer orden. Una corriente de segundo orden comienza en la conjunción de dos drenajes de primer orden y una de tercer orden en la confluencia de dos drenajes de segundo orden y así sucesivamente. Adicionalmente, si se unen dos corrientes de orden diferente, el drenaje conserva el orden mayor (Bloom, 1991).

El sistema de drenaje de la cuenca de la quebrada Los Monos presenta una red moderadamente ramificada. Según el modelo de clasificación de Horton (1945), el cauce principal de la quebrada es de orden 3 (Figura 35).

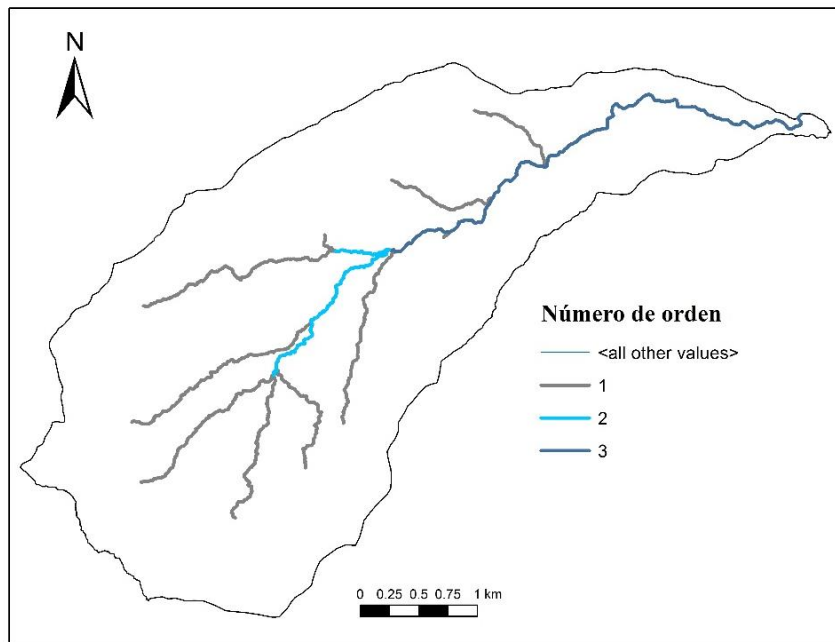


Figura 35. Mapa de la red de drenaje de la quebrada Los Monos

### 11.3.2 Densidad de drenaje

Este parámetro permite valorar cuantitativamente la respuesta del sistema de drenaje. Donde una cuenca con una densidad alta con valores máximos hasta de 100 refleja una cuenca muy bien drenada que debería responder relativamente rápido al influjo de la precipitación, una cuenca con baja densidad de drenaje, con valores mínimos de 3 refleja un área pobremente drenada con respuesta hidrológica muy lenta (Pérez, 2002).

$$Dd = \Sigma Lu / S$$

Donde  $Dd$  es la densidad de drenaje ( $Km/Km^2$ ),  $\Sigma Lu$  es la longitud total de cauces ( $Km$ ) y  $S$  es el área total de la cuenca ( $Km^2$ ).

La densidad de drenaje obtenida para la cuenca es de  $1.44 Km/Km^2$ , lo que indica una respuesta hidrológica muy lenta ante un evento de precipitación.

### 11.4 Índice morfométrico torrencial

El índice morfométrico de torrencialidad propuesto por el IDEAM (2013) relaciona los parámetros morfométricos como coeficiente de compacidad o de forma, pendiente media de la

cuenca y densidad del drenaje (parámetros anteriormente obtenidos) y establece en términos cualitativos una vulnerabilidad muy alta, alta, media y baja.

A continuación se muestra la tabla (tabla 11) con los rangos de la clasificación de los parámetros mencionados anteriormente para calcular el índice morfométrico.

Tabla 11  
*Relaciones para categorizar el índice morfométrico*

Índice morfométrico	Escala	Área de la cuenca de drenaje (km <sup>2</sup> )	Categorías				
			1	2	3	4	5
Densidad de drenaje (km/km <sup>2</sup> )	1:10.000	<15	<1,50	1,51 – 2,00	2,01 – 2,50	2,51 – 3,00	> 3
	1:25.000	16 a 50	<1,20	1,21 – 1,80	1,81 – 2,00	2,01 – 2,50	> 2,5
	1:100.000	>50	<1,00	1,01 – 1,50	1,51 – 2,00	2,01 – 2,50	> 2,5
			Baja	Moderada	Moderada Alta	Alta	Muy Alta
Pendiente media de la cuenca (%)	1:10.000	<15	<20	21 – 35	36 – 50	51 – 75	>75
	1:100.000	>50	<15	16 – 30	30 – 45	46 – 65	>65
			Accidentado	Fuerte	Muy Fuerte	Escarpado	Muy Escarpado
Coeficiente de compacidad			<1,625	1,376 -1,50	01,251- 1,375	1,126 – 1,250	1,00 – 1,125
			Oval-oblonga a rectangular-oblonga	Oval-redonda a oval-oblonga	Casi redonda		

Fuente: IDEAM (2013).

Tabla 12  
Relación entre variables para el índice morfométrico

		Pendiente media de la cuenca						
		1	2	3	4	5		
Densidad de drenaje	1	111	121	131	141	151	1	Coeficiente de forma
		112	122	132	142	152	2	
		113	123	133	143	153	3	
		114	124	134	144	154	4	
		115	125	135	145	155	5	
	2	211	221	231	241	251	1	
		212	222	232	242	252	2	
		213	223	233	243	253	3	
		214	224	234	244	254	4	
		215	225	235	245	255	5	
	3	311	321	331	341	351	1	
		312	322	332	342	352	2	
		313	323	333	343	353	3	
		314	324	334	344	354	4	
		315	325	335	345	355	5	
4	411	421	431	441	451	1		
	412	422	432	442	452	2		
	413	423	433	443	453	3		
	414	424	434	444	454	4		
	415	425	435	445	455	5		
5	511	521	531	541	551	1		
	512	522	532	542	552	2		
	513	523	533	543	553	3		
	514	524	534	544	554	4		
	515	525	535	545	555	5		

■ Muy alta    ■ Baja    ■ Muy baja  
■ Alta    ■ Moderada

Fuente: IDEAM (20013).

Con una densidad del drenaje de 1.44 km/km<sup>2</sup> la cuenca obtuvo una categoría 1 en este parámetro; para la pendiente media de la cuenca, siendo de 26.61%, se obtuvo una categoría 2 y en el último parámetro, coeficiente de compacidad, con un valor de 1.46 se obtuvo una categoría 2. Según la tabla de relación para el índice morfométrico (tabla 12) la cuenca tiene un valor de 122, es decir, una condición “muy baja” para el índice morfométrico.

### 11.5 Análisis de datos

A continuación se analizan los parámetros morfométricos anteriormente hallados junto con el índice de torrencialidad propuesto por el IDEAM (2013), esto con el objetivo de tener una idea general de la tendencia que puede tener la cuenca a generar avenidas torrenciales.

El índice de Gravelius indica la tendencia general de la forma de las cuencas, mientras más alejado sea el valor del índice de la unidad, la forma de la cuenca será más alargada. La

microcuenca de la quebrada Los Monos obtuvo un índice de Gravelius de 1.46, esto representa que la microcuenca tiende a tener una forma oval redonda a oval oblonga, este resultado indica que la probabilidad por parte de la cuenca para generar avenidas torrenciales es moderada a baja, ya que, mientras más alargada sea la cuenca mayor será el tiempo de concentración y, por ello, es de esperarse que la magnitud de la esorrentía sea menor.

Según Pérez (2002) los estudios empíricos muestran que un factor de forma cercano a 1 indica una forma de la cuenca similar a una pera y una edad relativamente antigua, en cambio, un factor de forma cercano a 0 indica que la cuenca es alargada y relativamente nueva. El factor de forma obtenido para la microcuenca de la quebrada Los Monos es de 0.27, lo que sugiere que la cuenca es alargada y relativamente nueva, además, este valor indica que la cuenca esta menos sujeta a avenidas torrenciales.

El factor de elongación  $Re$  de 0.59, indica que la microcuenca cuenta con un relieve moderado, resultado que se corrobora con la pendiente promedio de la cuenca, con un valor de 26.61%.

La cuenca presenta un sistema de drenaje bastante ramificado. Según el modelo de clasificación de Horton (1945) el cauce principal de la quebrada Los Monos es de orden 3 y en general los drenajes son largos y rectos. La densidad de drenaje obtenida es de 1.44 km/km<sup>2</sup>, lo que indica que la cuenca es pobremente drenada y su respuesta hidrológica ante un evento de precipitación es lenta.

Para finalizar se trató de hallar el índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales IVET propuesto por el IDEAM (2013), pero la falta de información hidrológica no permitió obtener uno de los dos índices necesarios para el cálculo, el índice de vulnerabilidad, solo fue posible hallar el índice morfométrico. Para dicho índice se obtuvo un valor de 122 en la tabla de relación

(tabla 12), este valor corresponde según el IDEAM (2013) a áreas con una condición torrencial “muy baja”, que se caracterizan por ser potencialmente estables, que responden lento a lluvias de alta intensidad y corta duración y donde la generación de avenidas torrenciales es casi nula.

Tabla 13  
*Parámetros morfométricos de la microcuenca Los Monos.*

Parámetros	Unid.	Valor
Relativos a la forma de la cuenca		
Área	km <sup>2</sup>	13.98
Perímetro	km	19.30
Longitud de la cuenca	Lc (km)	7.10
Cota máxima	m s. n. m.	3086.39
Cota mínima	m s. n. m.	1215.61
Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad	Kc	1.46
Relación de elongación	Re	0.59
Factor de forma	Kf	0.27
Relativos al relieve		
Pendiente promedio de la cuenca	Sc (%)	26.61
Pendiente del cauce principal	So (%)	14.10
Altura media	H (m s. n. m.)	1671
Relativos a la red de drenaje		
Orden de la Red Hídrica	adm	3
Longitud del cauce principal	km	8.53
Longitud de la red hídrica	km	20.36
Densidad de drenaje	Dd (km/km <sup>2</sup> )	1.44
Tiempo de concentración (Pérez et al., en preparación)	min	37

Índice morfométrico torrencial		
Índice morfométrico	Adm	122 (Muy baja)

Fuente: Elaboración propia.

## 12. CARACTERÍSTICAS DE LOS DEPÓSITOS TORRENCIALES DE LA MICROCUENCA DE LA Q. LOS MONOS

En la cuenca se diferenciaron tres sectores torrenciales, caracterizados por las propiedades morfométricas y sedimentológicas de las terrazas torrenciales encontradas (Figuras 36 y 37). Dichas terrazas fueron diferenciadas y posteriormente enumeradas, la terraza inmediatamente superior al cauce recibe la enumeración 1 y aumenta consecutivamente hasta llegar a la más antigua, que generalmente es la más alta.

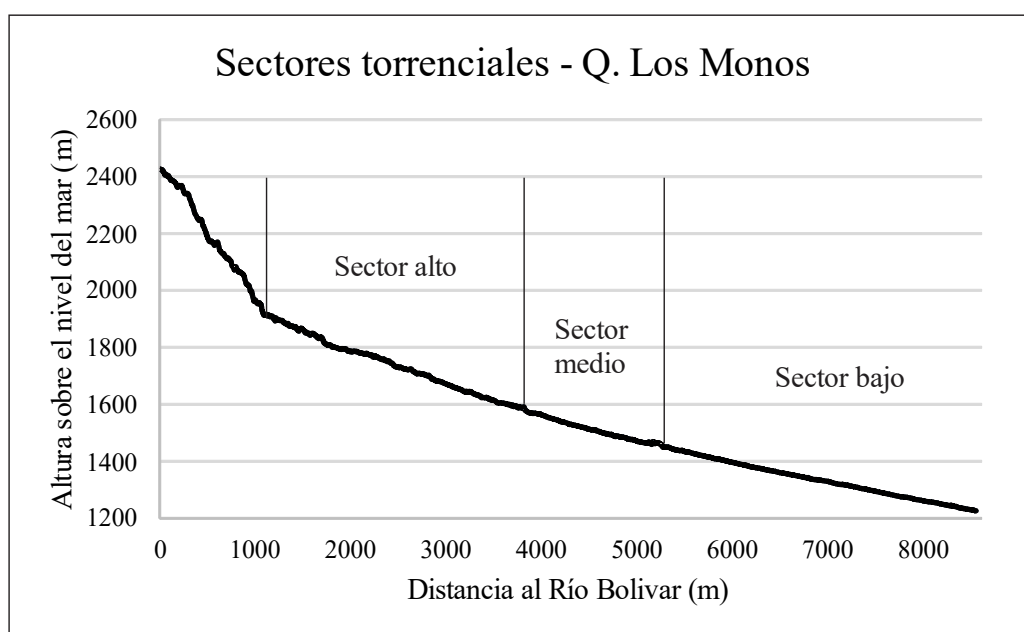


Figura 36. Perfil longitudinal de la Quebrada Los Monos, las líneas verticales muestran las tres áreas en las cuales se divide la cuenca en función de su elevación, relieve y depósitos torrenciales

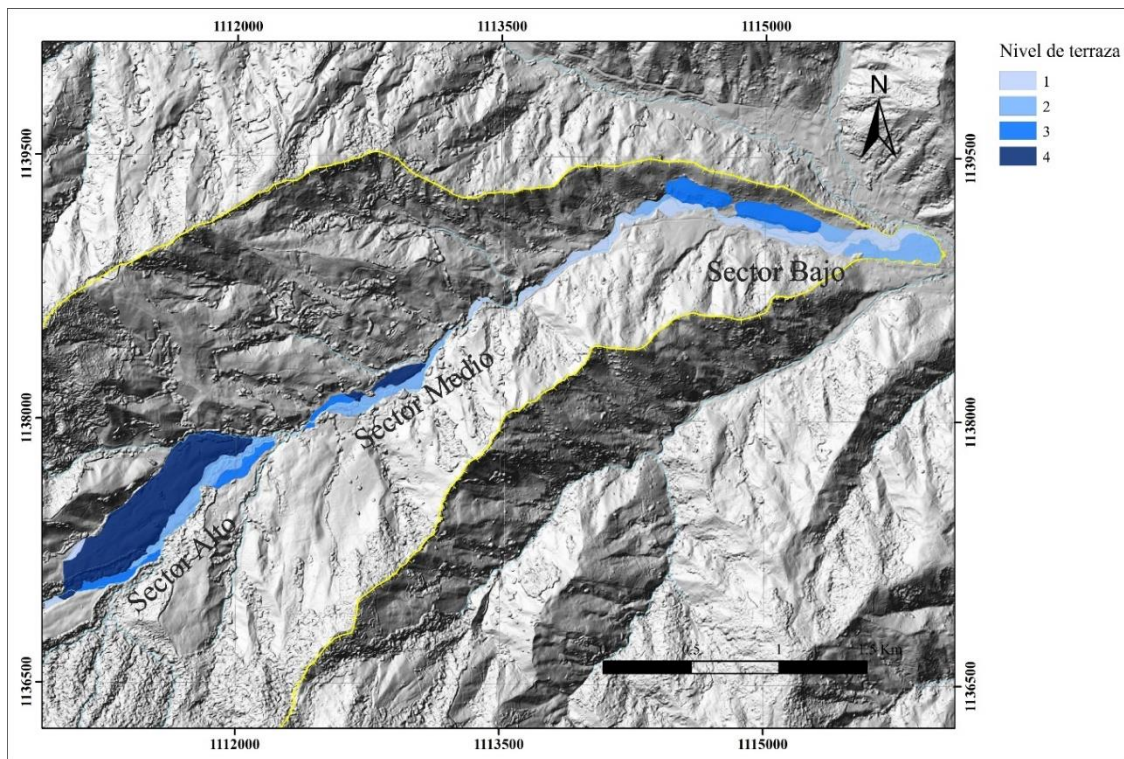
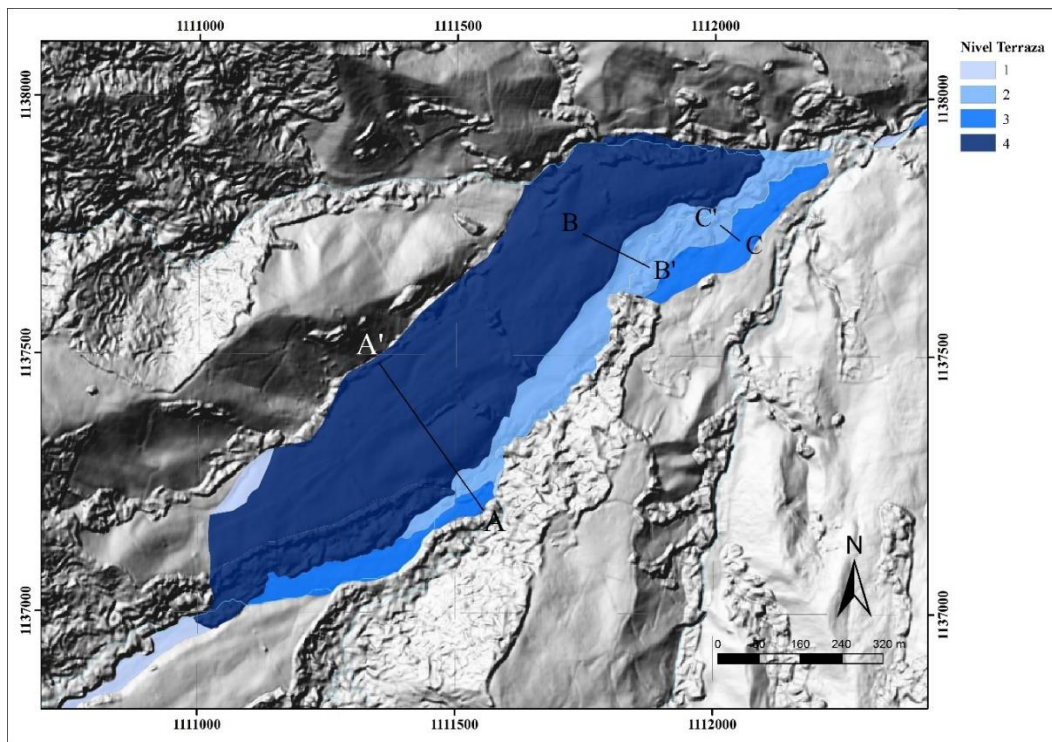


Figura 37. Tres sectores de terrazas torrenciales de la cuenca

### 12.1 Sector alto

Este sector se encuentra en la parte media de la cuenca (Figuras 37 y 38) adyacente a las laderas de la sierra desnuda, tiene una pendiente promedio de  $8^\circ$  y un valle amplio. Sus niveles torrenciales presentan abundantes bloques de roca.



*Figura 38. Sector torrencial Alto*

### 12.1.1 Nivel 1

En este nivel se encuentran los depósitos más recientes y los más cercanos a la quebrada. En la Figura 39, se observa que el nivel se diferencia por estar adyacente a un cauce tributario de la quebrada y por tener una superficie uniforme. Debido a la poca extensión de este nivel y la poca diferencia en altura con respecto al cauce, de aproximadamente 7 cm, el nivel no es visible en los mapas ni en los cortes realizados.



*Figura 39.* Nivel 1. La línea punteada muestra el límite con el nivel 2

### 12.1.2 Nivel 2

La altura de este nivel con respecto a la corriente es muy variable, en la Figura 43 se puede observar que la altura del nivel en este punto es muy similar a la del cauce, difiriendo por unos pocos centímetros, mientras que pocos metros corriente abajo la incisión del mismo cauce permite ver una altura con respecto a la quebrada de 2.1 m (Figura 45). Este nivel se extiende aprox. 900 m aguas abajo y su altura con respecto al cauce llega a ser de hasta 9 m.

**Morfología:** La superficie de este nivel se caracteriza por ser ondulada y tener bloques de roca que sobresalen de la vegetación (Figura 44), el depósito presenta una pendiente de  $7.9^\circ$ , (tomada en el corte A) en dirección paralela a la corriente y continúa constante, a la altura del corte B la inclinación es de  $7.85^\circ$ .

**Perfil de suelo:** Se observó un perfil del suelo (Figura 45) obtenido por el corte de la quebrada, donde se observó que el depósito está compuesto por una matriz arenosa con bloques que varían en tamaño hasta los 70cm, en general hay una pobre selección y la composición de los

clastos es predominantemente ígnea. La parte más alta de este nivel es muy propensa a flujos contemporáneos debido a la poca altura de diferencia con el cauce.

**Bloques superficiales:** Los bloques son predominantemente de composición ígnea, con presencia, en menor proporción, de bloques metasedimentarios, subangulares y en general de un tamaño similar. La mayoría de los bloques presentan un cubrimiento de 50 a 60% de líquenes y otros colonizadores vegetales.

Para este nivel se realizó un análisis de las dimensiones (largo y ancho) de 60 bloques, escogidos aleatoriamente. En un punto del cauce en el sector Alto se analizaron 20 bloques (Figura 40), los otros 40 fueron analizados sobre dos puntos del nivel 2 (Figura 41). Los bloques estudiados sobre la superficie del nivel 2 son, en general, mal clasificados, con anchos entre los 30 y 400 cm, mientras, que en el conteo del cauce los bloques tienen una mejor selección y la mayoría tienen un largo que varía entre los 20 y 120 cm de largo.

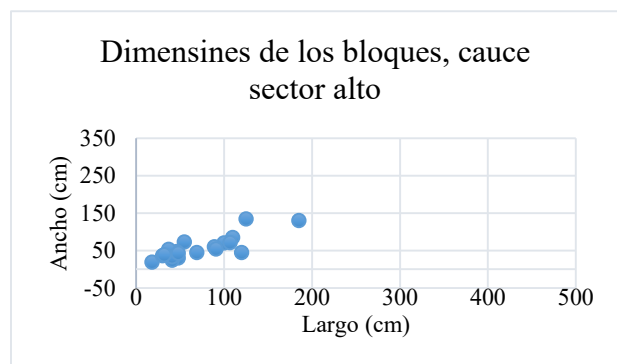


Figura 40. Relación de las dimensiones de los bloques en el cauce del sector Alto.

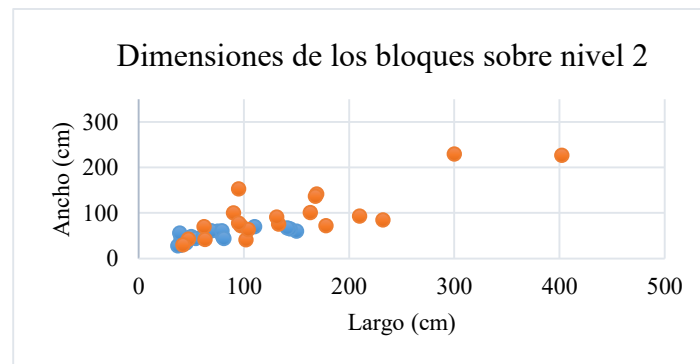
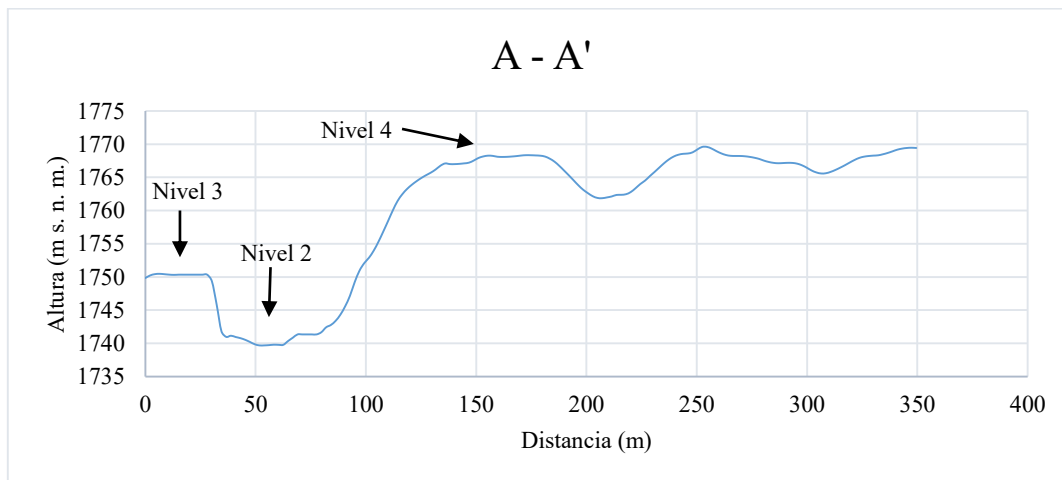


Figura 41. Relación de las dimensiones de los bloques sobre el nivel 2 del sector Alto. Cada color representa un punto de muestreo.



*Figura 42.* Corte A – A' del sector alto. Corte más representativo del sector 1, de izquierda a derecha se diferencian los niveles 3, 2 y 4, respectivamente. La poca altura del nivel 1 no permite que se diferencie en el corte, ver Figura 43.



*Figura 43.* Se observa el nivel 2 y la corta distancia vertical que tiene con el cauce de la quebrada en este punto



*Figura 44.* Superficie característica del nivel 2. En este punto la quebrada tiene una incisión más profunda que en la fotografía anterior



*Figura 45.* Perfil de suelo del nivel 2

### 12.1.3 Nivel 3

La altura de este nivel fue medida en varias partes, la primera medida es realizada en la parte alta del nivel, cerca al corte A - A', donde se obtuvo una altura con respecto al nivel 2 de 10 m, mientras que en el corte C - C' es de 9 m. El final del nivel es marcado por un bloque de roca de aproximadamente 3 metros (Figura 52).

**Morfología:** La superficie del nivel es ondulada con alta disección, tiene una inclinación que va desde  $9.19^\circ$  hasta  $7.12^\circ$ . Presenta abundantes bloques de roca que sobre salen de la

vegetación, muy similares a los encontrados en el nivel 2, diferenciándose principalmente por la altura respecto al cauce. La continuidad lateral del nivel aguas abajo tiene un tramo incierto (Figura 38) debido a la falta de información por la densa vegetación y el encañonamiento del cauce.

**Perfil del suelo:** Se analizaron dos perfiles de suelo de este nivel, el primero en la parte superior de la cuenca (Figuras 49 y 50), compuesto por bloques subredondeados de tamaños entre 70 a 120 cm dentro de una matriz arenosa. El segundo perfil de suelo más hacia la parte baja de la cuenca es bloque soportado (Figura 51), con clastos angulares más abundantes y bloques con tamaño que varían hasta los 90 cm, la composición de los clastos es predominantemente ígnea.

**Bloques superficiales:** La mayoría de los bloques son negros en su parte expuesta y tienen un cubrimiento de 40 a 50 % de líquenes y otros colonizadores vegetales. Los bloques son principalmente de composición ígnea, se encontraron solo cuatro bloques metasedimentarios.

Para este nivel se realizó un análisis de las dimensiones (largo y ancho) de 20 bloques, escogidos aleatoriamente (Figura 46). Los bloques mostraron tener una mala selección, alta dispersión y un rango de largo entre los 40 a 300 cm.

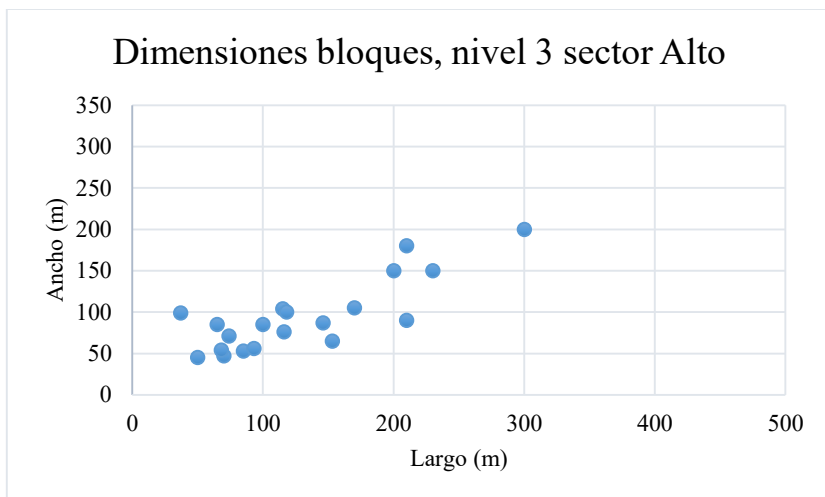


Figura 46. Relación de las dimensiones de bloques de roca en el nivel 3 del sector Alto

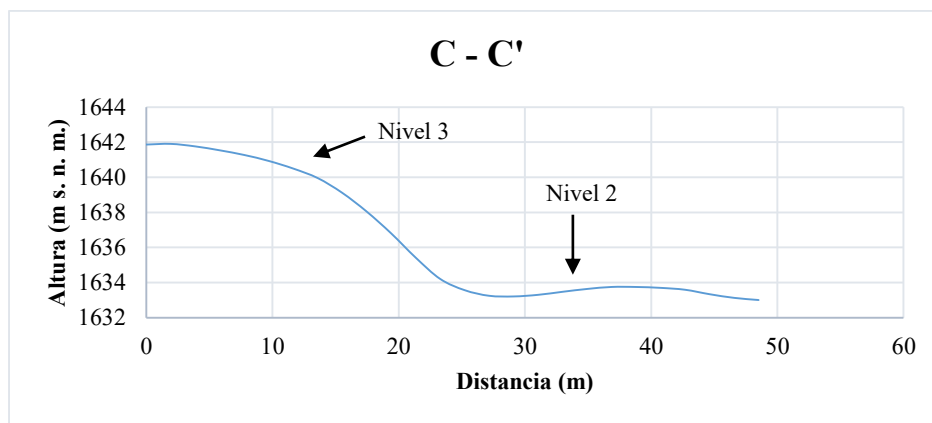


Figura 47. Corte C' - C. Diferencia entre los niveles 2 y 3



*Figura 48.* Diferencia entre los niveles 2 y 3. Representación del corte C' – C



*Figura 49.* Depósitos del nivel 3, ubicado en la parte superior del sistema



*Figura 50.* Perfil de suelos del nivel 3, ubicado en la parte superior del sistema



*Figura 51.* Perfil de suelos del nivel 3, ubicado en la parte baja del sistema



*Figura 52.* Bloque de roca de aproximadamente 3m de alto, marca el final del nivel 3

#### 12.1.4 Nivel 4

Nivel con mayor altura con respecto al cauce, en el corte A – A' y D – D' las alturas son de 30 y 25 m, respectivamente.

**Morfología:** La superficie del nivel es ondulada y presenta una alta disección con pendientes que van desde los 10.7 a los 7.06° (Figuras 54 y 55). Los bloques de roca superficiales son muy escasos, se encuentran dispersos aleatoriamente por el nivel. El bloque de roca de mayor tamaño que se encontró durante la salida de campo mide aproximadamente 5 metros (Figura 55); en las fotografías aéreas se observaron otros dos bloques de gran tamaño que sobresalen de la vegetación, con aprox. 9 y 6 m.

**Perfil del suelo:** En este nivel no se encontró un perfil de suelo que representara todo el espesor del depósito. Se analizó un perfil de suelo con un espesor de 70 cm compuesto de materia orgánica, seguida por el inicio de un horizonte compuesto por materiales arenosos de color naranja (Figura 56).

**Bloques superficiales:** Los bloques son de composición ígnea, negros en su parte expuesta y con un cubrimiento de 50 a 60% de líquenes y otros colonizadores vegetales.

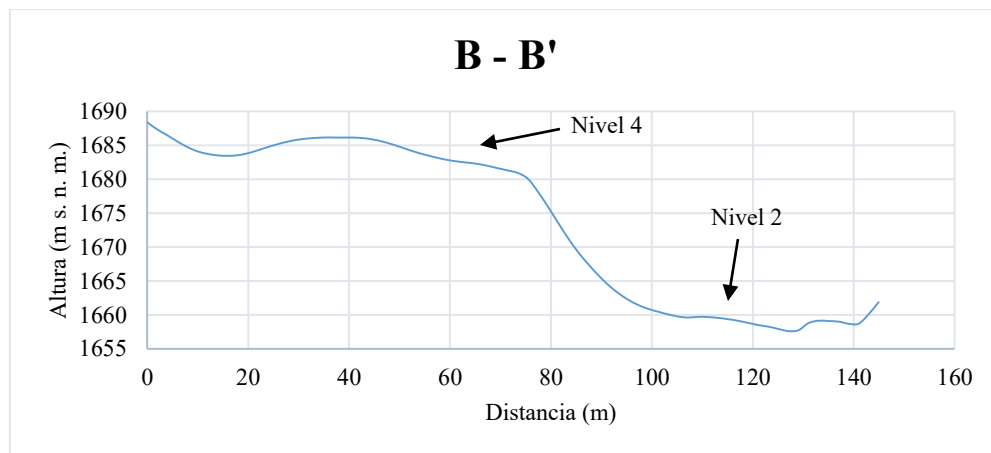


Figura 53. Perfil B – B' del sector Alto. Diferencias entre nivel 4 y 2.

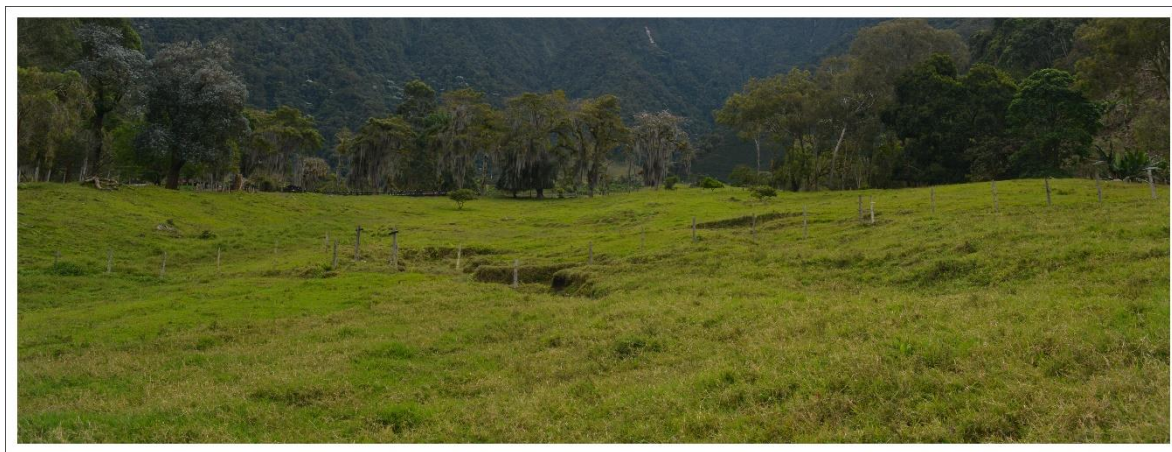


Figura 54. Superficie del nivel 4

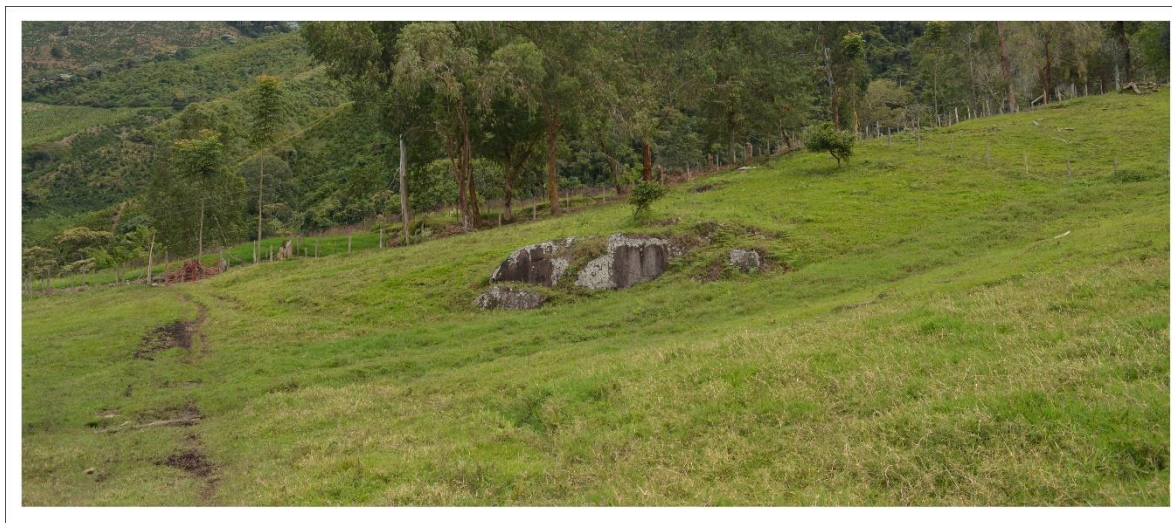


Figura 55. Bloque de aproximadamente 5 m aflorando en la superficie del nivel 4



*Figura 56.* Horizontes superiores del perfil de suelos del nivel 4



*Figura 57.* Al fondo se observa el nivel 2, con bloques que sobresalen de la vegetación y más cerca el nivel 4, con una superficie ondulada sin bloques

## 12.2 Sector medio

Este sector se encuentra en la parte media de la cuenca (Figura 58) y tiene una pendiente promedio de  $5^\circ$ . El valle presenta un angostamiento y los depósitos torrenciales son los menos extensos lateralmente de todos los tres sectores. A pesar de eso se encontraron niveles con abundantes bloques de roca que llegan a medir hasta 3 m.

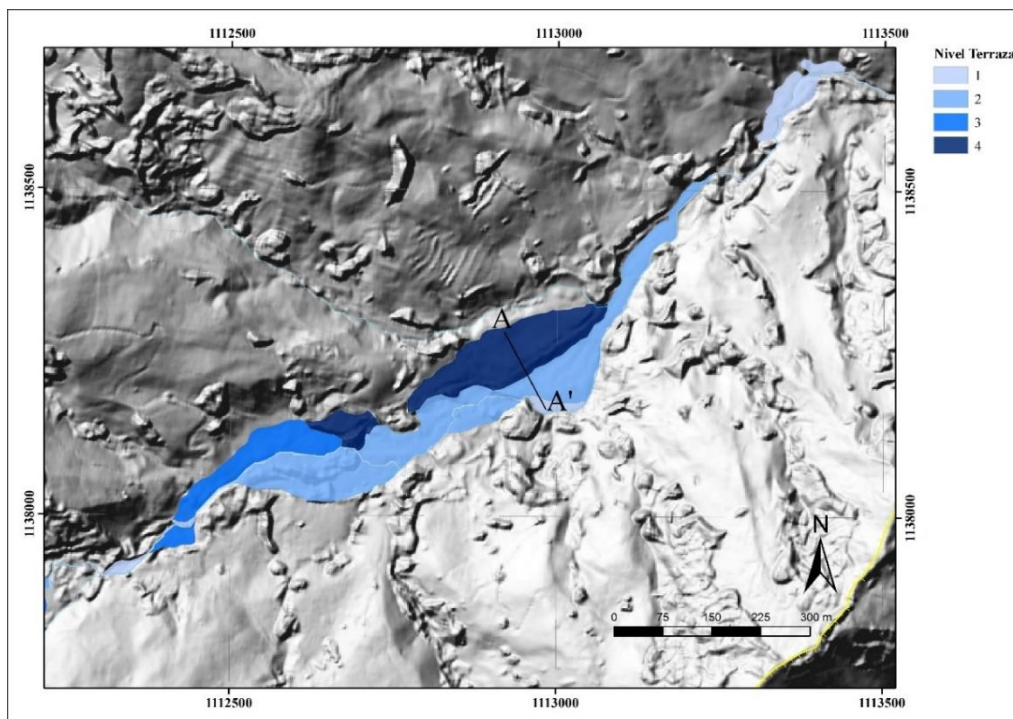


Figura 58. Sector torrencial Medio

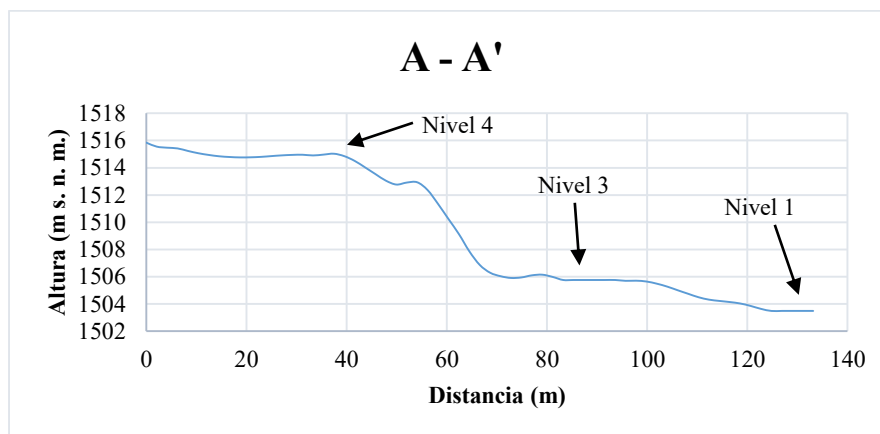


Figura 59. Perfil B – B'. De derecha a izquierda se puede observar los niveles 4, 3 y 1

### 12.2.1 Nivel 1

En este nivel se encuentran los depósitos más recientes y los más cercanos al cauce. Tiene una superficie levemente ondulada y presenta bloques superficiales de roca con un contenido de líquenes o colonizadores vegetales casi nulo. Además, se observaron troncos en la superficie del nivel (Figura 60).

La poca extensión y altura con respecto al cauce dificulta la representación en los mapas y en los cortes realizados.



*Figura 60.* Imagen del nivel 1, se puede observar su cercanía con el cauce y depósitos de troncos

### 12.2.2 Nivel 2

Este es el nivel con mayor extensión del sector medio, cuenta con una altura con respecto al cauce de 3 metros (Figura 59). De todos los niveles estudiados es el que tiene mayor cantidad de bloques de roca en la superficie.

**Morfología:** La superficie del nivel es ondulada y altamente disectada, tiene una inclinación de  $7.33^\circ$  paralela al cauce. Se caracteriza por tener abundantes bloques de roca superficiales (Figuras 62 y 63).

**Perfil del suelo:** En este nivel no se encontró un perfil de suelo representativo.

**Bloques superficiales:** Los bloques varían de tamaño, llegando a medir hasta 1.5 m de diámetro, son negros en su parte expuesta y tienen un cubrimiento de 40 a 50% de líquenes y otros colonizadores vegetales. La mayoría de los bloques son de composición ígnea.

Para este nivel se realizó un análisis de las dimensiones (largo y ancho) de 60 bloques en tres partes diferentes del nivel, 20 en cada uno, escogidos aleatoriamente (Figura 61). Los bloques mostraron tener una mala selección, alta dispersión y un largo entre los 40 a 300 cm.

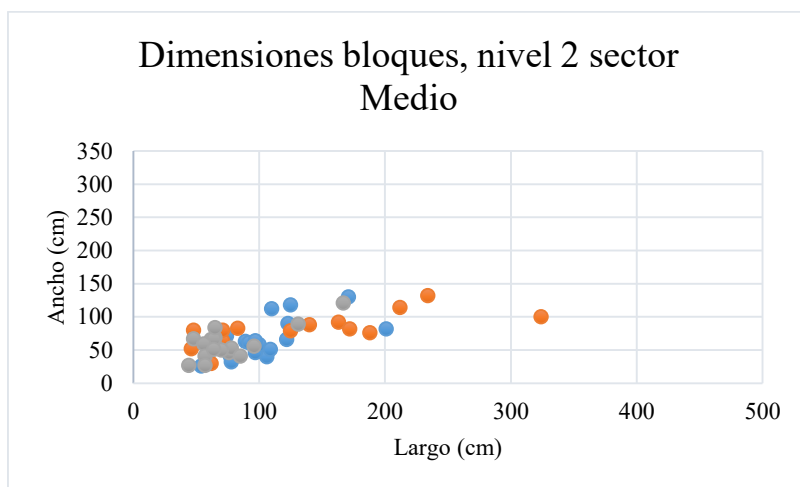
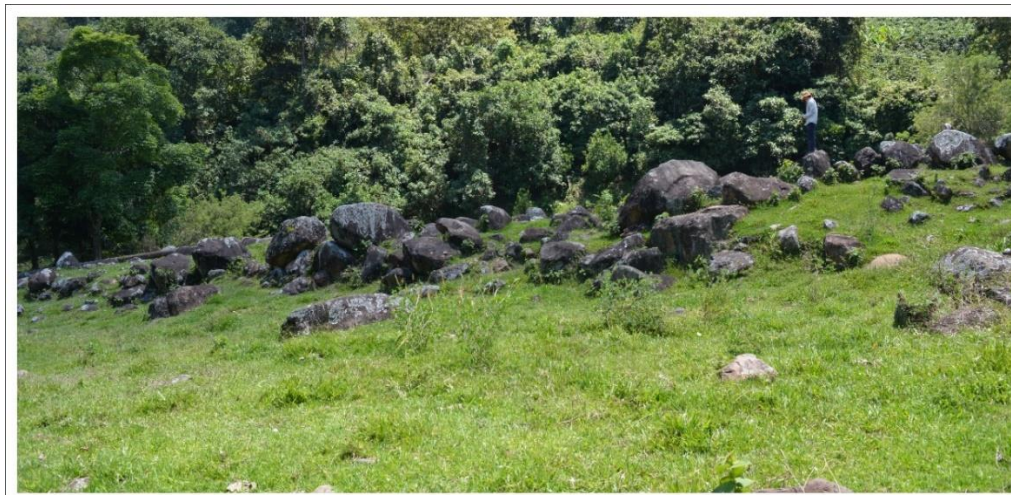


Figura 61. Relación de las dimensiones de los bloques de roca en el nivel 2 del sector Medio. Cada color representa un punto de muestreo sobre el nivel.



Figura 62. Superficie del nivel 2 del sector medio



*Figura 63.* Bloques de roca superficiales del nivel 2 del sector medio

### 12.2.3 Nivel 3

Este nivel se encuentra principalmente en la margen izquierda de la quebrada y tiene una altura de 5 metros sobre el nivel de la quebrada.

**Morfología:** Presenta una morfología plana a ondulada y los bloques de roca superficiales son escasos (Figuras 64 y 65). La pendiente es de aproximadamente 9°.

**Bloques superficiales:** se observaron cuatro bloques ígneos a lo largo de todo el nivel con tamaños entre los 40 a 70 cm.

**Perfil del suelo:** En este nivel no se encontró un perfil de suelo representativo.



*Figura 64.* Superficie del nivel 2



*Figura 65. Superficie del nivel 2*

#### **12.2.4 Nivel 4**

Este nivel tiene una altura de 10 m con respecto al nivel 3, ver corte A-A' (Figura 59). En la zona Oeste del nivel se encontraron depósitos locales de bloques de roca ígnea, siendo estos los más grandes de todo el sector, llegando a mediar hasta 3 m de alto (Figura 66). Hacia el Este el nivel continúa con bloques de menor tamaño (Figura 67).

**Morfología:** La superficie de este nivel es levemente ondulada y tiene una pendiente de  $6.6^\circ$  paralela a la corriente.

**Bloques superficiales:** Los bloques de la zona Oeste varían en tamaño, llegando a medir hasta 3 m, son de litología ígnea, negros en su parte expuesta y tienen un cubrimiento de 30 a 40% de líquenes y otros colonizadores vegetales. En la zona Este del nivel se encontraron bloques distribuidos aleatoriamente con tamaños menores a 50 cm.

**Perfil del suelo:** No se encontró un perfil de suelos representativo, aunque se pudo observar en los depósitos de bloques (Figura 66) una matriz arenosa y mala selección.



*Figura 66.* Bloques de roca ubicados en la zona Oeste del nivel 4



*Figura 67.* Zona Este del nivel 4

### **12.3 Sector bajo**

Este sector se encuentra en la parte baja de la cuenca y cuenta con una pendiente promedio de  $6.81^\circ$ . Este empieza desde los 1450 m s. n. m. y termina a los 1200 m s. n. m. en la

desembocadura al Río Bolívar. A diferencia de los otros sectores, este se caracteriza por tener un valle más amplio y solo tener tres niveles de terrazas torrenciales (Figura 68).

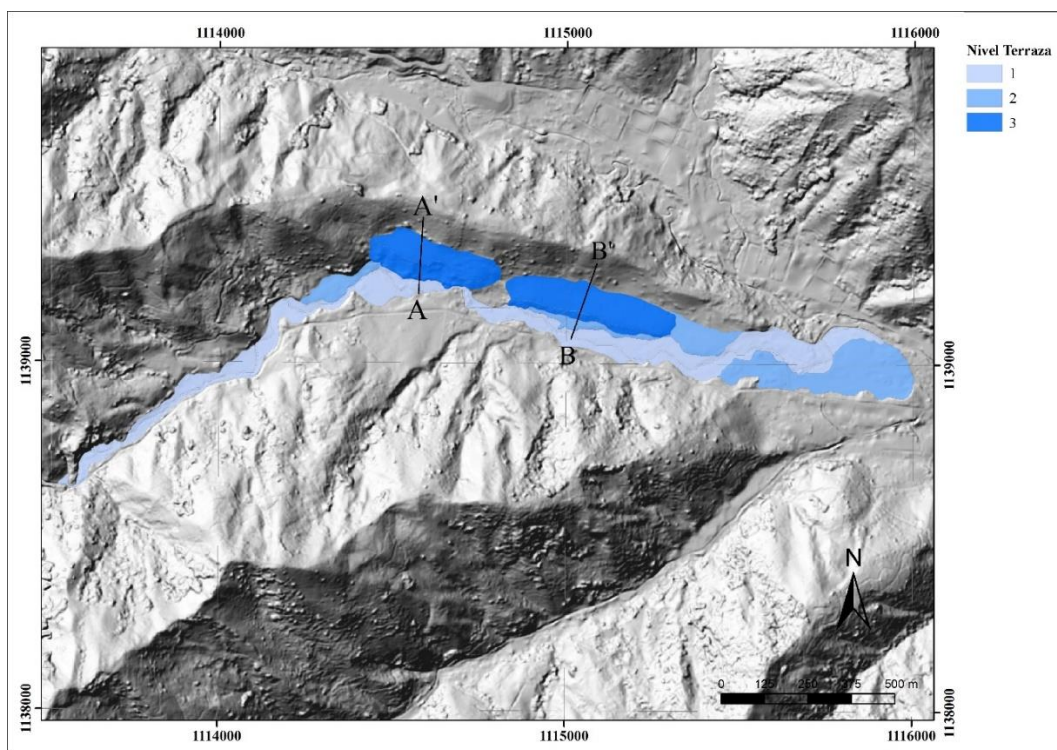


Figura 68. Sector torrencial bajo

### 12.3.1 Nivel 1

La altura de este nivel con respecto al cauce generalmente difiere por unos pocos centímetros, llegando a ser en algunos puntos hasta de un metro. Este es el nivel con mayor distribución espacial de todo el sector bajo, con una distancia de aproximadamente 2.5 km.

**Morfología:** La superficie de este nivel es muy plana, en algunas partes presenta leves ondulaciones. El nivel tiene una pendiente constante de aproximadamente  $5^\circ$  medida en paralelamente a la corriente (Figuras 70 y 71).

**Perfil de suelo:** No se encontró un perfil de suelo del nivel.

**Bloques superficiales:** En este nivel los bloques se encuentran de manera aleatoria y sus tamaños son muy variados, se pudo observar un bloque de aproximadamente 9 metros, aunque

por lo general todos los bloques son menores a 2 m. Generalmente los líquenes y colonizadores vegetales no son muy abundantes en los bloques de roca este nivel, con algunas excepción en bloques de mayor tamaño donde se observó un recubrimiento de 40 a 50 % de líquenes y colonizadores vegetales.

Para este nivel se realizó un análisis de las dimensiones (largo y ancho) de 20 bloques, escogidos aleatoriamente en cercanías al cauce (Figura 69). La grafica refleja una primera concentración de tamaños entre los 20 y 80 cm de largo y los 20 y 70 cm de ancho, estos bloques representan una buena selección e indican un origen depositacional fluvial. A parte, se encontró otra concentración de bloques con mayores dimensiones llegando a tener un largo hasta de 190 cm. Es probable que esta segunda concentración tenga un origen depositacional más torrencial, puesto que la capacidad de arrastre de la quebrada tuvo que ser mayor para poder movilizar dichos bloques.

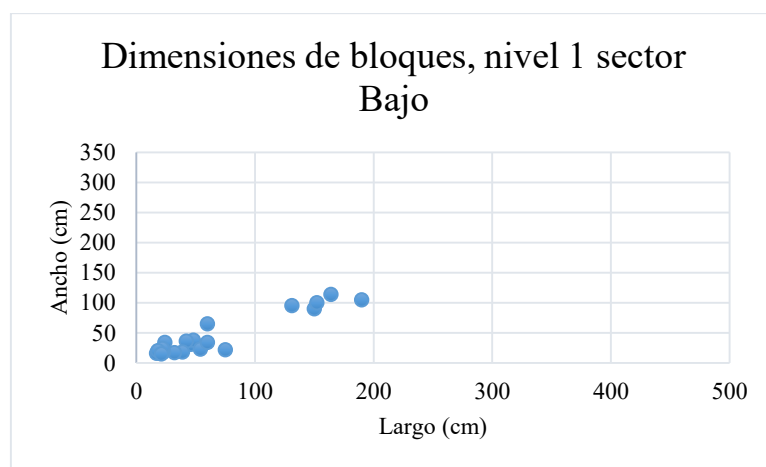


Figura 69. Relación de las dimensiones de bloques de roca en el nivel 2 del sector Medio



*Figura 70. Superficie del nivel 1.*



*Figura 71. Superficie del nivel 1*

### **12.3.2 Nivel 2**

Este nivel no tiene una distribución espacial constante a lo largo del cauce. Su altura con respecto al nivel 1 es de aproximadamente 5 metros (Figuras 72 y 73).

**Morfología:** La superficie de este nivel es plana a levemente ondulada, presenta una pendiente de  $3.5^\circ$  en dirección paralela a la corriente.

**Perfil de suelo:** No se encontró un perfil de suelo del nivel.

**Bloques superficiales:** Los bloques son muy escasos en este nivel, se observó un bloque de aproximadamente 55 cm de largo con un recubrimiento de 50 a 60 % de líquenes y colonizadores vegetales.



Figura 72. Imagen representativa del corte B - B' donde se puede observar los niveles 1, 2 y 3. La terraza del nivel 3 que se muestra en la imagen corresponde a la terraza ubicada en la parte más cercana a la desembocadura de la quebrada

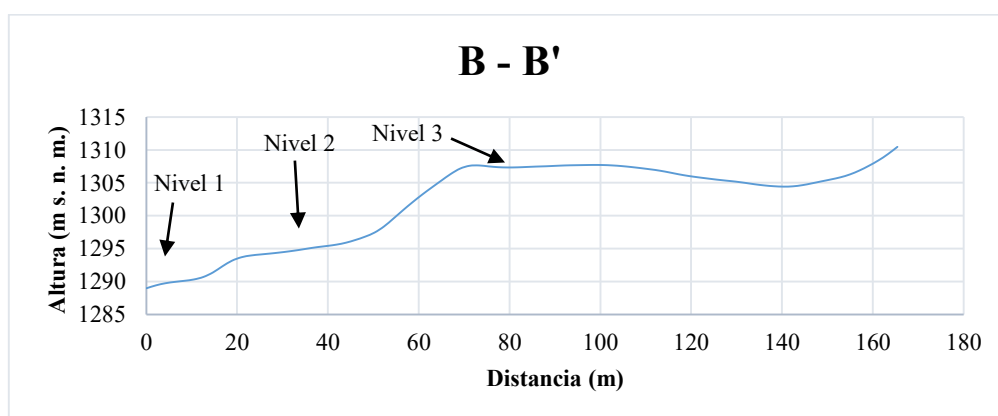


Figura 73. Corte B - B'. De izquierda a derecha se diferencian los niveles 1, 2 y 3

### 12.3.3 Nivel 3

Este es el nivel con menor distribución espacial del sector bajo, presente solo en dos terrazas con alturas aproximadas de 35 y 25 m con referencia al cauce (Figuras 74 y 75).

**Morfología:** La superficie de este nivel es levemente ondulada con pendiente que varían en cada terraza, la terraza más alejada de la desembocadura del cauce tiene una pendiente de  $4.6^\circ$ , mientras que la terraza más cercana a la desembocadura tiene una pendiente casi horizontal, aproximadamente  $2^\circ$ . Estas dos terrazas parecen ser continuas pero están separadas por un depósito coluvial (Figura 68).

No se encontraron bloques superficiales en este nivel ni un perfil de suelo representativo.



Figura 74. Imagen representativa del corte A - A', se puede observar los niveles 1 y 3. La terraza del nivel 3 que se muestra en esta imagen corresponde a la terraza más alejada de la desembocadura de la quebrada

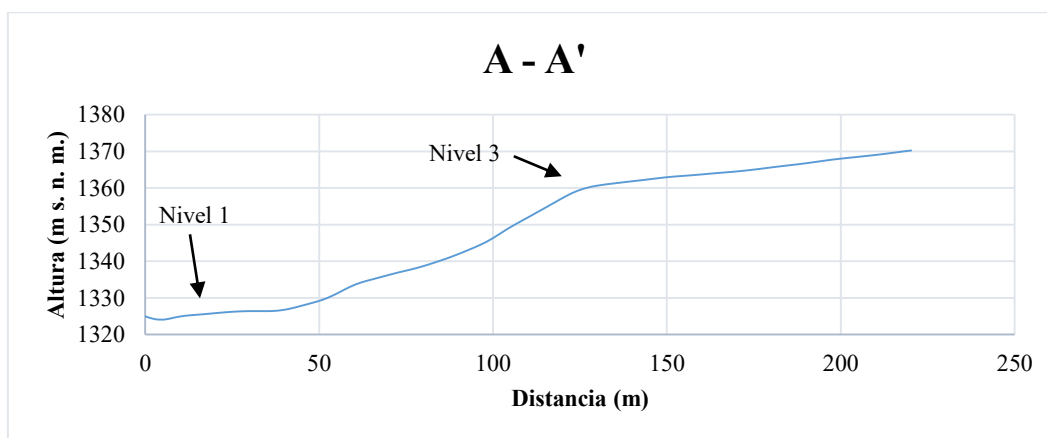


Figura 75. Corte A - A'. De izquierda a derecha se diferencian los niveles 1 y 3

### 13. EVALUACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR EVENTOS TORRENCIALES

La susceptibilidad puede ser vista como la probabilidad espacial de ocurrencia dada una combinación de variables condicionantes, sin considerar el factor detonante dentro del análisis (Guzzetti et al., 2006 y Van Westen et al., 2005).

La clasificación de la susceptibilidad por avenidas torrenciales en la microcuenca se realizó usando la metodología geomorfológica directa, conocida como “método geomorfológico subjetivo”, que se basa según el PMA: GCA (2007) en la interpretación subjetiva del mapa por un geocientífico experimentado. Este método se conoce como “método directo” puesto que la susceptibilidad se determina directamente en el campo por los expertos, basándose en la experiencia individual y el uso de razonamiento por analogía (*reasoning analogy*) (SGC, 2013). La escala de susceptibilidad siempre es subjetiva y se debe indicar en una leyenda especial en el mapa de terreno (PMA: GCA, 2007).

La delimitación de las zonas susceptibles a avenidas torrenciales se realizó con bases geomorfológicas y bajo la premisa de que las avenidas torrenciales futuras acontecerán bajo condiciones similares a las que se produjeron en el pasado. Por ende, la caracterización geomorfológica de las terrazas torrenciales permite dar una idea de la magnitud y el alcance espacial relativo que puedan tener eventos torrenciales futuros. Entre las características geomorfológicas observadas en los niveles torrenciales que más peso tuvieron al momento de asignar los niveles de susceptibilidad están la altura y distancia de las terrazas al cauce, la presencia o ausencia de bloques superficiales y la edad relativa de los niveles, evidenciado en su altura, morfología de la superficie y el estado superficial y contenido de líquenes en los bloques.

El mapa de susceptibilidad (Figura 76) está delimitado al área adyacente de la quebrada Los Monos, primariamente a la zona aluviotorrencial, ya que los flujos torrenciales se desplazan

principalmente por el lecho fluvial. Como cada sector torrencial demostró tener una configuración torrencial independiente la clasificación de la susceptibilidad fue analizada y propuesta individualmente para cada sector, dividiéndose en tres categorías: baja, media y alta.

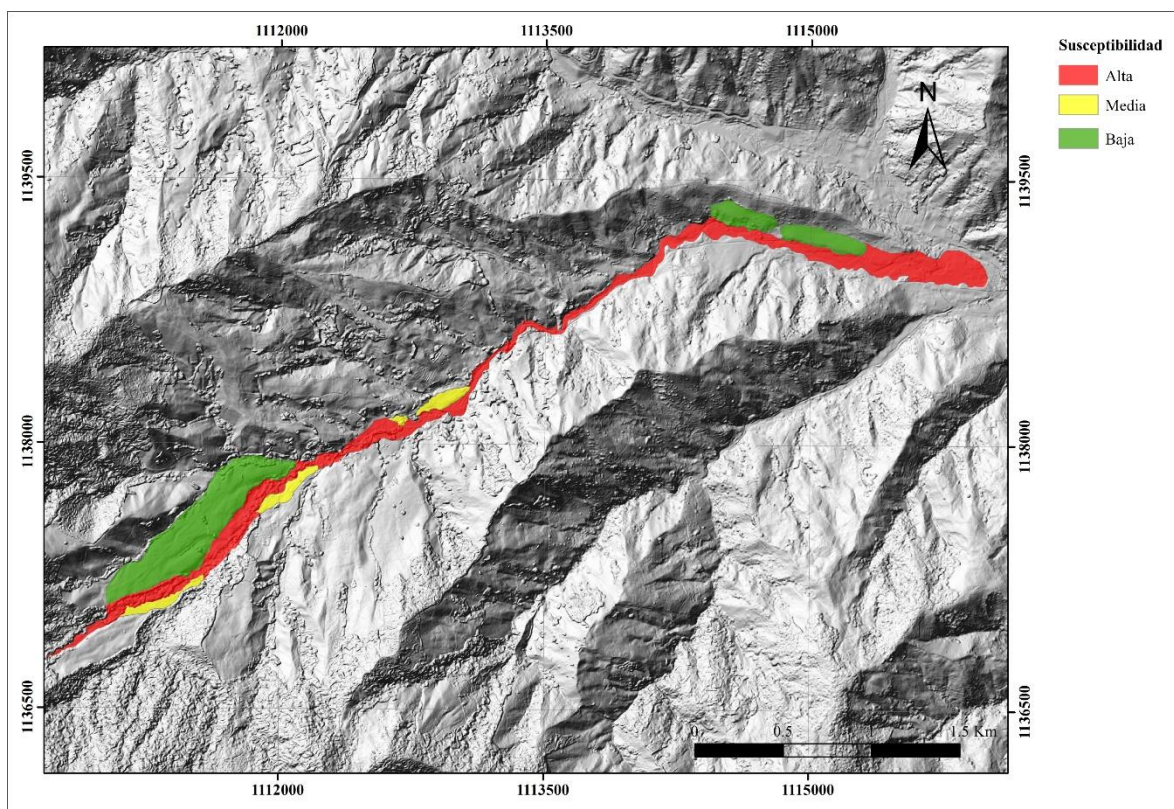


Figura 76. Mapa de susceptibilidad frente a avenidas torrenciales de la microcuenca de la quebrada Los Monos

### 13.1 Susceptibilidad baja o nula

Área sobre la cual es muy improbable que un flujo torrencial pueda pasar o depositarse debido a su altura o lejanía al cauce.

Las zonas con susceptibilidad baja o nula en la microcuenca corresponden a la superficie de los niveles torrenciales más alejados verticalmente del cauce de la quebrada y que han mostrado ser los más antiguos de la microcuenca. Este nivel de susceptibilidad está presente en los sectores torrenciales “alto” y “bajo”. En el sector “alto” corresponde a la superficie del nivel 4, que tiene

una altura aproximada de 28 m sobre el nivel de la quebrada (Figura 77); en el sector “bajo” corresponde a la superficie de dos terrazas del nivel 3, con alturas de 35 y 25 m.

La alta incisión de la quebrada en estos puntos hace muy improbable que un flujo torrencial que se desplace por el cauce principal alcance las superficies de estos niveles.



*Figura 77.* Superficies con susceptibilidad baja. En la imagen superior se observa la superficie del nivel 4 del sector Alto. La imagen inferior muestra la diferencia entre altura del nivel 4 y 3 del sector alto

### **13.2 Susceptibilidad media**

Lugares en los que en presencia de condiciones detonantes excepcionales el flujo torrencial podría pasar o depositarse.

En el sector torrencial “alto” la zona clasificada con susceptibilidad media corresponde a la superficie del nivel 3, donde la altura con respecto al cauce es de 10 m, mientras que en el sector torrencial “medio” corresponde a la superficie del nivel 4, con una altura con respecto al cauce de 15 m (Figura 78). Estos niveles mostraron ser relativamente antiguos, la mayoría tienen depósitos de bloques de roca totalmente negros en su parte expuesta y un alto recubrimiento de líquenes y colonizadores vegetales, además, se observó un alto grado de incisión en la superficie de los niveles.



*Figura 78.* Superficies con susceptibilidad media, en ambas imágenes se observan la diferencia altitudinal entre los niveles 3 y 2 del sector alto. El nivel 3, siendo el de mayor altura, representa la superficie con susceptibilidad media

### **13.3 Susceptibilidad alta**

Lugares donde es muy probable que un flujo torrencial pueda fluir o depositarse.

Es la categoría de susceptibilidad con mayor extensión de la cuenca, durante todo el trayecto de la quebrada se observó sobre los niveles torrenciales más cercanos al cauce bloques de roca de gran tamaño, aunque varios mostraron un alto porcentaje de recubrimiento de líquenes y una coloración negra en la parte expuesta, indicando, ser relativamente antiguos, la misma presencia de los bloques da una idea de la alta competencia de transporte de la quebrada en condiciones anormales de descarga. Por esto, a pesar de la antigüedad relativa que muestran los depósitos, la superficie de los niveles torrenciales 1 y 2, niveles más cercanos a la quebrada, es clasificada como altamente susceptible a flujos torrenciales. El nivel 3 del sector torrencial “medio” también obtuvo este nivel de susceptibilidad debido a la poca altura con respecto al cauce y su cercanía con el mismo (Figuras 79 y 80).

Dentro de este nivel de alta susceptibilidad se encuentra un lleno antrópico que se realizó sobre el cono de deyección de la quebrada Los Monos, este lleno modifica en cierta parte la forma inicial del trazado de la quebrada, haciéndola más rectilínea, acelerando el paso del agua y aumentando la susceptibilidad de las zonas más bajas.



*Figura 79.* Superficies con susceptibilidad alta. Las imágenes superiores representan el nivel 2 del sector alto, las inferiores el nivel 1 del sector bajo



*Figura 80.* Llano antrópico sobre lóbulo aluviotorrencial, representa un nivel de susceptibilidad alta

## 14. DISCUSIÓN

Durante el desarrollo del trabajo se hallaron parámetros morfométricos para la cuenca como el índice de gravelius, la relación de elongación y el factor de forma, que relacionan las características geométricas de la cuenca con las de una circunferencia, e indican, en cierto modo, que tan alargada o que tan alejada está la cuenca de esta forma circular. Dichos parámetros mostraron que la microcuenca de la quebrada Los Monos tiene una forma alargada y en general, una baja tendencia a generar avenidas torrenciales, ya que se ha demostrado que cuencas circulares tienen mayor probabilidad a generar avenidas torrenciales debido a que las líneas de flujo de la escorrentía son más cortas y más sincrónicas, lo que genera que el agua se concentre más rápido y simultáneamente en un solo punto sobre el lecho (Vásquez, 1994). Otros parámetros morfométricos hallados concordaron con estos resultados, como la pendiente de la cuenca y el orden de la red hídrica. Cabe resaltar que la interpretación que sugieren estos parámetros, quizás están orientados a definir una susceptibilidad a crecientes torrenciales o crecientes rápidas, eventos que implican en mayor proporción el contenido de agua y en menor proporción el contenido de sedimentos y escombros que el concepto de avenida torrencial adoptada en este estudio, que se caracteriza por tener un alto contenido de sedimentos y escombros, entre un 50 y 90%.

En el estudio realizado con el modelo de elevación digital y el trabajo de campo se hallaron a lo largo de la quebrada diferentes terrazas con características geomorfológicas y sedimentológicas que indican un origen torrencial. Estas observaciones discrepan en gran modo con la interpretación que sugieren los parámetros morfométricos y evidencian problemas en la aplicación de esta metodología, ya que existen diversos factores que intervienen en la evolución

morfológica de la cuenca y en su capacidad de generar avenidas torrenciales y esta metodología no refleja exactamente la realidad de los procesos estructurales y litológicos de la microcuenca.

## 15. CONCLUSIONES

- El cuerpo ígneo Batolito de Farallones, aflora en la parte alta de la cuenca y constituye la fuente primaria de material transportado por los flujos torrenciales, evidenciado a lo largo de la vertiente de la quebrada Los Monos donde la mayoría de los bloques de roca y sedimentos pertenecen a esta formación.
- La caracterización de las unidades geomorfológicas demostró que el ambiente estructural ha sido el que más influencia ha tenido en la formación y evolución de la cuenca, evidenciado en la presencia de lomos de falla, lomos de presión y espolones, unidades que se originan por procesos relacionados con la dinámica interna de la tierra, principalmente, fallamiento. Además, el estudio estructural de la cuenca mostró fallas asociadas a estas unidades, específicamente, dos fallas paralelas al cauce de la quebrada, con una dirección preferencial NE-SW.
- Los procesos morfodinámicos fueron separados en dos grupos principales, movimientos en masa y procesos erosivos. De los movimientos en masa se caracterizó: 1 deslizamiento rotacional, 66 deslizamientos traslacionales y 13 flujos de tierra. Los procesos erosivos encontrados fueron terracetas generadas por el sobrepastoreo y socavación lateral generada por la acción erosiva de la quebrada.
- El análisis geomorfológico y sedimentológico de las terrazas torrenciales permitió dividir la microcuenca en 3 sectores torrenciales (alto, medio y bajo). El sector alto, con 4 niveles torrenciales, cuenta con una alta presencia de bloques de roca en todos sus niveles y tiene, posiblemente, el nivel más antiguo de toda la microcuenca, el nivel 4, evidenciado en su gran altura con respecto al cauce y la alta disección de la superficie. El sector medio también tiene 4 niveles, cuenta con una extensión lateral más angosta que los otros dos sectores y los

depósitos de bloques de roca son abundantes. Para finalizar, el sector bajo, que cuenta con un valle más amplio, tiene 3 niveles torrenciales y los bloques de roca son menos abundantes a comparación de los otros sectores.

- La susceptibilidad se dividió en tres grupos, baja o nula, media y alta. La susceptibilidad baja o nula corresponde a los lugares donde es muy improbable que un flujo torrencial pueda llegar, es decir, terrazas de más de 25 metros de alto con respecto al cauce; la susceptibilidad media corresponde a las zonas en las que en presencia de condiciones detonantes excepcionales un flujo torrencial podría pasar o depositarse, siendo estas terrazas entre los 10 y 15 metros de altura con respecto al cauce. Por último se encuentra la susceptibilidad alta, compuesta por el cauce y terrazas generalmente menores a 10 metros.
- En el análisis morfométrico se hallaron varios parámetros que dan una idea de la tendencia que puede tener la microcuenca a generar avenidas torrenciales, como el coeficiente de compacidad, factor de forma y el índice de torrencialidad propuesto por el IDEAM (2013). Estos parámetros indicaron un nivel torrencial bajo para la microcuenca, lo que discrepa con el análisis geomorfológico de las terrazas torrenciales, donde se observaron diferentes niveles de depositación, todas con evidencias sedimentológicas y geomorfológicas de haber sido generados por flujos torrenciales.
- Es posible que la discrepancia entre lo que indican los parámetros morfométricos y el estudio geomorfológico y sedimentológico realizado pueda ser debido a que dichos parámetros están orientados a definir una susceptibilidad a crecientes torrenciales o crecientes rápidas, no al concepto de avenida torrencial adoptado en este estudio. También, está la posibilidad que la metodología que usa el análisis morfométrico no refleja exactamente la realidad de los procesos geológicos en la microcuenca.

## REFERENCIAS

- Álvarez, A. J. y González H. (1979). Geología y geoquímica del cuadrángulo I-7, Urrao. Informe 1761. INGEOMINAS, Bogotá, Colombia.
- Aguirre, N. (2007). Manual para el manejo sustentable de cuencas hidrográficas. (Manual de enseñanza). Universidad Nacional de Loja.
- Bloom, A. L. (1991) *Geomorphology: A Systematic Analysis of Late Cenozoic Landforms*. (2nd ed.). New Jersey, United States of America: Prentice Hall.
- Calle, B. y González, H. (1980). Geología y geoquímica de la plancha 166 Jericó. Informe 1822. INGEOMINAS. Medellín.
- Calle, B. y Salinas, R., (1984). Mapa geológico de la plancha 165 – Carmen de Atrato (Escala 1:100.000). INGEOMINAS. Medellín.
- Calle, B. y Salinas, R. (1986). Geología y geoquímica de la plancha 165 Carme de Atrato. Memoria explicativa. INGEOMINAS. Medellín.
- CORANTIOQUIA, Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química, INGEOMINAS. (2002). Mapa geomorfológico, de amenazas y de áreas degradadas de la jurisdicción de CORANTIOQUIA a escala 1:100.000. Informe Final. Medellín. 1-143.
- Coussot, P. y Meunier, M. (1996). Recognition, classification and mechanical description of debris flows. *Earth – Science Reviews*, (40), 209-227.
- Dearman, W. R. (1974). Weathering Classification in the Characterization of Rock for Engineering Purposes in British Practice. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, (9), 33-42.

- Díaz, C., Mamadou, K., Iturbe, A., Esteller, M. V. y Reyna, F. (1999). Estimación de las características fisiográficas de una cuenca con la ayuda de SIG y MEDT: caso del curso alto del río Lerma, Estado de México. *Ciencias exactas y aplicadas*, 6 (2), 124 -134.
- Evert, Klaus-Jürgen (Ed.). (2010). *Encyclopedic Dictionary of Landscape and Urban Planning: Multilingual Reference Book in English, Spanish, French and German. Springer Science & Business Media*. ISBN 9783540764557. Consultado el 2018-02-15.
- Guerrero, O. Capítulo 4. Geomorfología de cuencas. Universidad de los Andes. Venezuela. (En línea). (Consultado: Marzo 12 de 2018). Disponible en:  
[http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/oguerre/4\\_Geomorfologia.pdf](http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/oguerre/4_Geomorfologia.pdf).
- Guzzetti, F., Reichenbach, P., Ardizzone, F., Cardinali, M. y Galli, M. (2006). Estimating the quality of landslide susceptibility models. *Geomorphology*, 81 (1-2), 166–184.  
Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X06001371>  
194
- Horton R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins. *Geological Society of America Bulletin*, 56, 275-370.
- IDEAM. (2013). Lineamientos conceptuales y metodológicos para la evaluación regional del agua (ERA). Bogotá, D. C. 276 p.
- Montoya, L. J., Silva S. M. y González, J. E. (2009). Evaluación de zona de amenaza por avenidas torrenciales utilizando metodologías cualitativas. Caso de aplicación a la quebrada Doña María. *Revista ingenierías Universidad de Medellín*, 8 (15), 11-29.

- O'Leary, D. W., Freidman, J. D., y Pohn, H. A. (1976). Lineament, linear, lineation: Some proposed new definitions for old terms. *Geological Society of America Bulletin*. (87), 1463-1469.
- Pérez, S. M. (2002). Diagnóstico ambiental de la microcuenca de la quebrada Los Monos - Parte alta – Bocatoma – Ciudad Bolívar – Antioquia. CORANTIOQUIA, Medellín.
- Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas (PMA: GCA). (2007). Movimientos en masa en la Región Andina: una guía para la evaluación de amenazas. Servicio Nacional de Geología y Minería, publicación Geológica Multinacional, (4), 1- 432.
- SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO (SGC). 2012. Propuestas sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000. Bogotá, D.C. 88 p.
- Van Westen, C. J., Van Asch, T. W. J. y Soeters, R. (2005). Landslide hazard and risk zonation- why is it still so difficult?. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 65 (2), 167–184. Available: <http://link.springer.com/10.1007/s10064-005-0023-0>
- 194
- Vásquez, G. (1994). Reconsideración de la efectividad de la vegetación boscosa para el control de eventos hidrológicos torrenciales. Memorias del Seminario Nacional de Políticas, Silvicultura y Protección Forestal. Medellín. 1-12.
- Velásquez, A. y Rosales, C. (1999). Escudriñando en los desastres a todas las escalas. Concepción, metodología y análisis de desastres en América Latina utilizando Desinventar. OSSO / ITDG / LA RED. Cali, Colombia.